

INGENIERÍA AMBIENTAL

- a) Conceptos generales
 1. **Ingeniería Ambiental y Sanitaria: Origen, evolución y concepto**
 2. Salud pública y demografía humana
 3. Conceptos básicos de microbiología y ecología
 4. Conceptos básicos de química ambiental
- b) Residuos Sólidos y contaminación atmosférica
- c) Calidad de las aguas
- d) Potabilización de aguas
- e) Tratamiento de aguas residuales



INGENIERÍA AMBIENTAL

1. Ingeniería Ambiental y Sanitaria: Origen, evolución y concepto

- Introducción
- Evolución histórica
 - Edad Antigua
 - Edad Media
 - Edad Moderna
 - Revolución Industrial
- Evolución del concepto y contenidos de la Ingeniería Sanitaria y Ambiental



- Ingeniería Ambiental (o Ingeniería Sanitaria y Ambiental, ISA) → aplicar la ingeniería para abordar los **desafíos ambientales** que enfrenta el planeta
 - **Contaminación de aire, agua y suelo**
 - **Cambio climático**
 - Gestión de **recursos naturales**
 - Gestión de **residuos**
 - Búsqueda de **soluciones sostenibles**
 - Evaluación y mitigación del **impacto ambiental**
- Evolución de la ISA muy ligada a la de las necesidades y usos del **agua** por el ser humano → aplicación de la ingeniería a la **prevención de enfermedades**, especialmente epidemias
 - Ingeniería + **Salud pública** e Higiene
 - Transmisión hídrica de muchas enfermedades → importancia de la **Ing. Hidráulica** dentro de la ISA
 - Aspectos limitativos: i) **capacidades técnicas** (ingeniería), ii) **conocimiento** de las causas de las enfermedades (sanidad)

Avance de la ISA dependiente de la evolución de los conocimientos sobre **biomedicina** y (posteriormente) sobre **ecosistemas**

- Pueblos primitivos **nómadas** (cazadores – recolectores)
 - Interpretación primitiva de las **causas** de enfermedad, explicaciones de tipo mágico o sobrenatural:
 - Hechizos
 - Posesión por espíritus malignos
 - Pérdida del alma



- Métodos de **curación** igualmente rudimentarios, sin base científica
 - Prácticas rituales, sacrificios, ofrendas, amuletos...
 - Plantas medicinales
 - “Chamán”: curanderos especializados, se les supone una relación privilegiada con el mundo sobrenatural

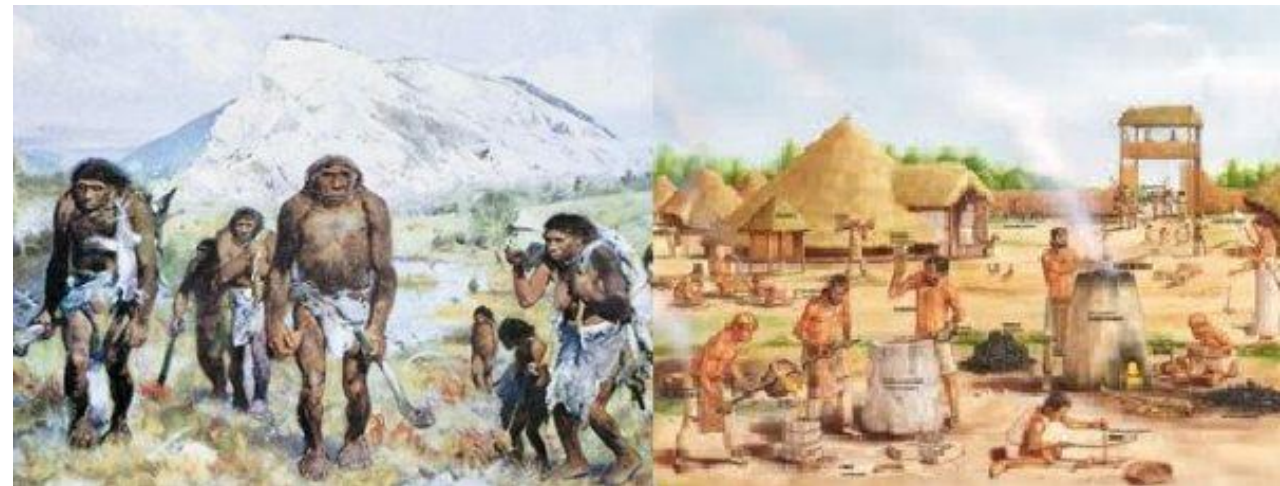
- **Sedentarismo**

- Agricultura y domesticación de animales → alejamiento de las condiciones ambientales y **ruptura** de los **equilibrios ecosistémicos**
- Formación de **aglomeraciones** → requieren servicios urbanos (el más básico: abastecimiento de aguas)
- Mayor producción y concentración de **residuos** → necesidad de eliminarlos / retirarlos / tratarlos
- En aglomeraciones urbanas, la **capacidad de asimilación** del medio suele verse superada

La concentración de población produce condiciones más **insalubres**

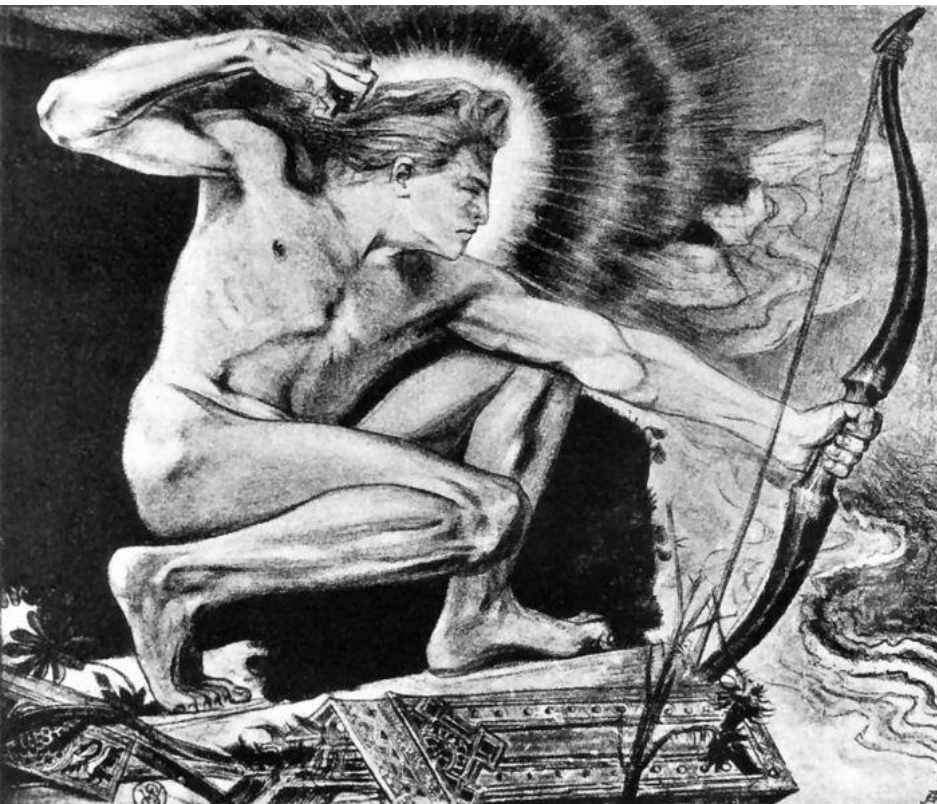
→ enfermedades

→ epidemias



1.1. EDAD ANTIGUA (*desde 4º milenio a.C.*)

- Culturas antiguas (Antiguo Egipto, Mesopotamia, Grecia clásica...) → posibles **causas de enfermedad**: Azar (lesiones, heridas...) / Castigo divino
 - Analogía: *suciedad* → *impureza física* → *enfermedad* → *impureza moral*



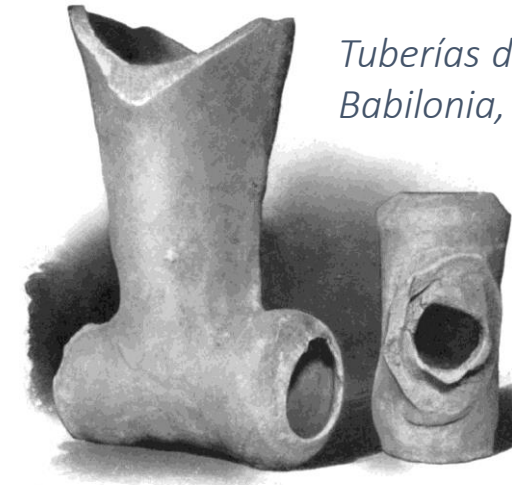
- Limpieza corporal para limpiar la culpa moral (**terapia** de enfermedades)
- Desarrollo de **principios higiénicos**
- **Aislamiento** de enfermos y períodos de **cuarentena** (entendimiento del concepto **contagio**)

Apolo disparando flechas infectadas de peste contra el campamento griego que asediaba Troya (mitología griega descrita en la Ilíada de Homero)

1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

1.1. EDAD ANTIGUA (desde 4º milenio a.C.)

- Primeras obras sanitarias “básicas”
 - Abastecimiento → **Pozos** de captación de agua
 - **Aljibes** de recogida y almacenamiento de agua de lluvia
 - **Canalizaciones** de suministro y de desagüe de aguas

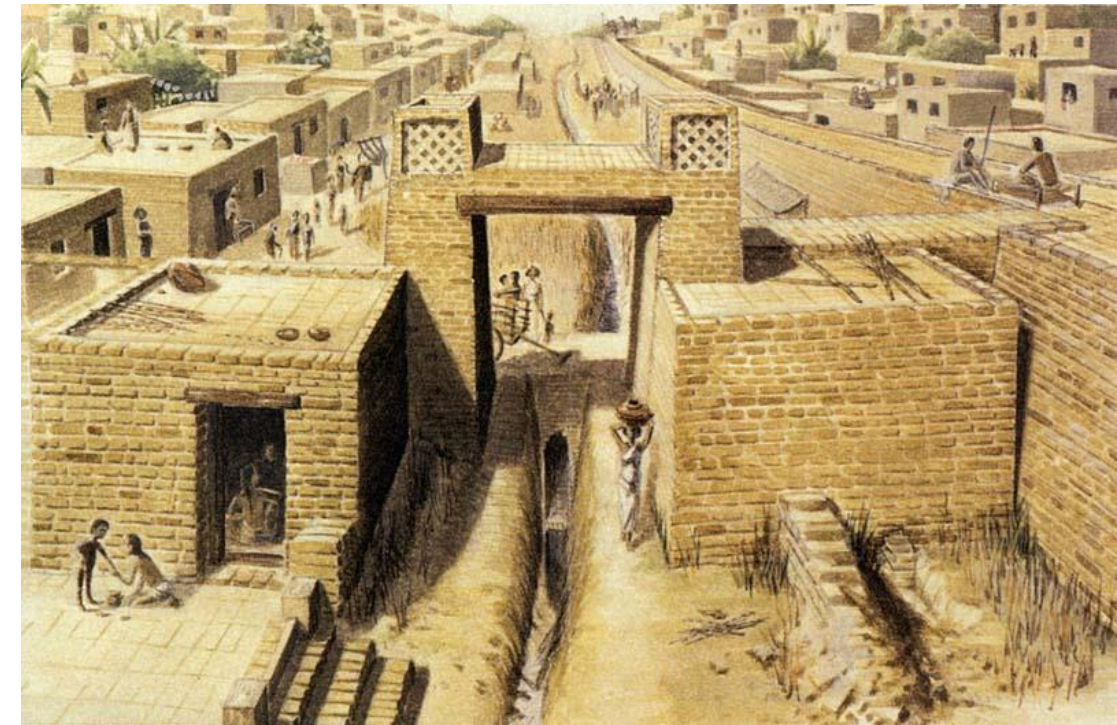


Tuberías de arcilla cocida usadas en Babilonia, Mesopotamia (~4000 a.C.)

Urbe de Harappa, valle del Indo (~3000 a.C.)



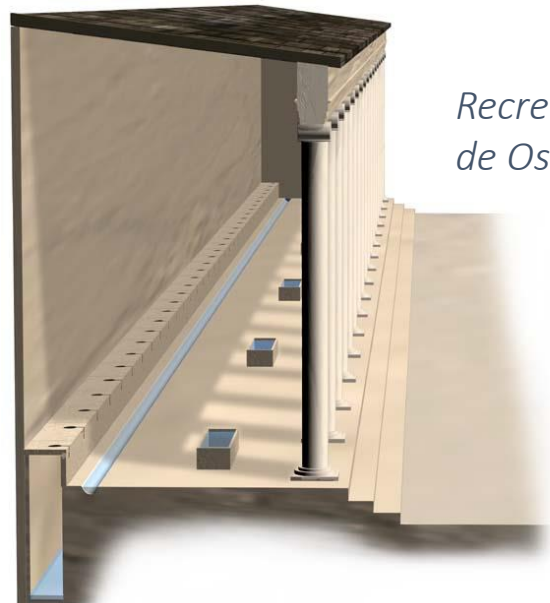
Canal de drenaje de piedra en Knossos, Creta (~3000 a.C.)



1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

1.1. EDAD ANTIGUA

- Primeras grandes **obras sanitarias** (Grecia y Roma)
 - Variedad de materiales para **tuberías**: madera, plomo, cobre, latón, bronce, plata...
 - Conducciones a **presión** (desde el s. II a.C.)
 - Grandes **baños públicos, termas, balnearios** (hidroterapia)
 - Avances en **hidráulica** → válvulas, ruedas de impulsión, medida de caudales (s. II a.C.), técnicas de búsqueda de agua subterránea
 - **Saneamiento** → letrinas, cloacas, desagües...



Recreación de las letrinas públicas de Ostia, Italia (s. III a.C.)



Cloaca Máxima, Roma, Italia (s. VI a.C.)

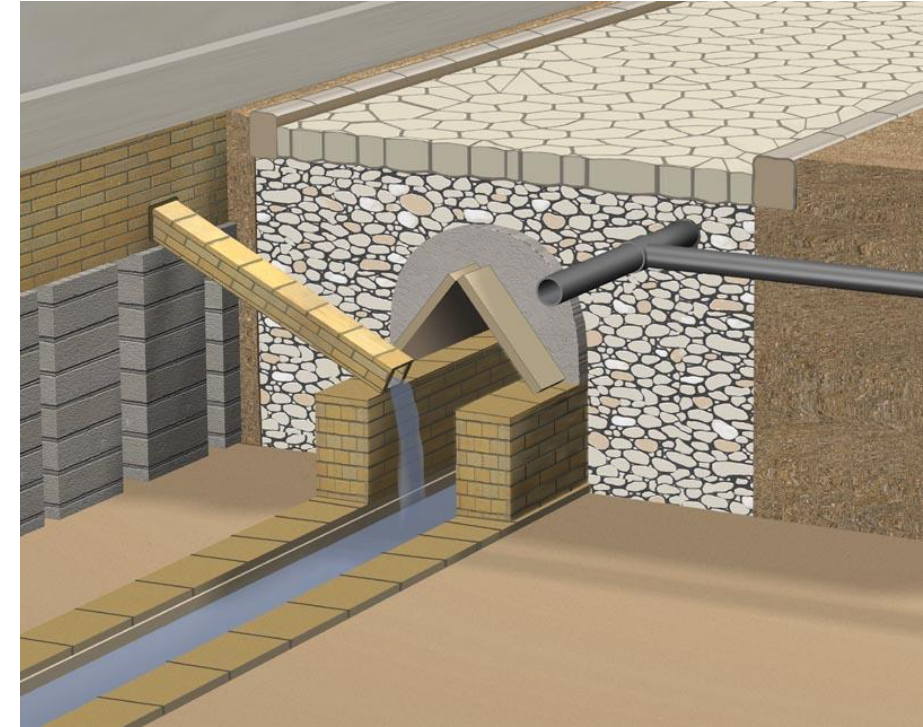
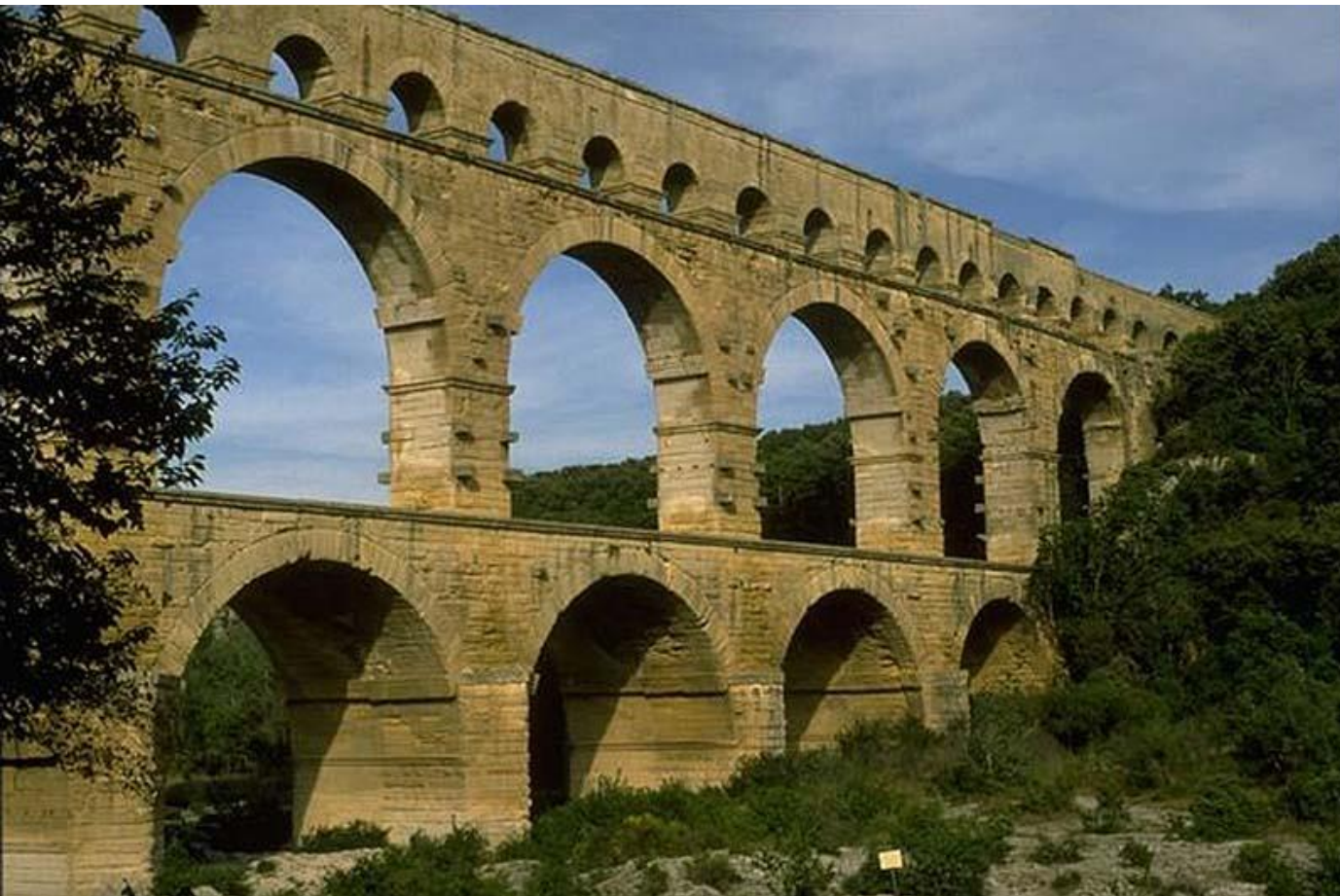


Baños públicos de Caracalla, Roma (212-216 d.C.)



1.1. EDAD ANTIGUA

- Primeras grandes **obras sanitarias** (Grecia y Roma)
 - **Acueductos** romanos
 - **Distribución** de agua con tuberías a presión y acometidas por toberas



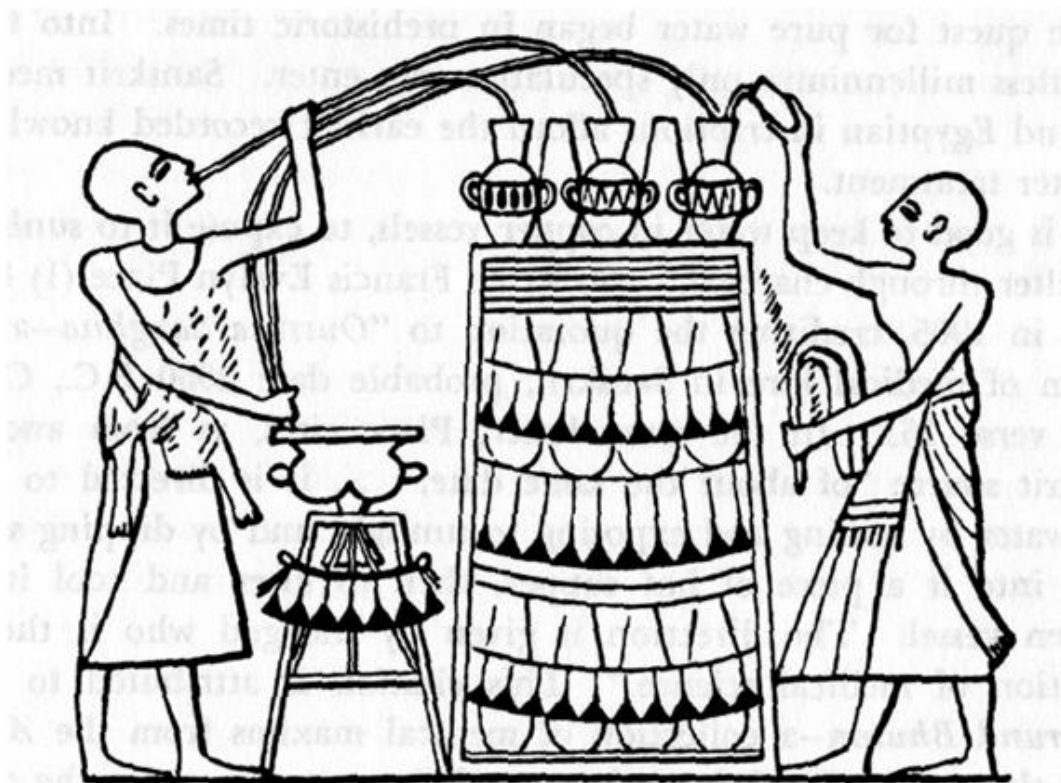
Recreación del corte transversal de una calle romana

Acueducto de Pont du Gard, Nimes (19 a.C.)

1.1. EDAD ANTIGUA

- Primeros **tratamientos de agua**

- Problemas de calidad de agua de carácter **organoléptico** (que se puede percibir por los sentidos) → métodos de mejora del sabor y olor desde ~4000 a.C.
- Tratamientos de **sedimentación**, **ebullición**, exposición a **rayos solares**



- **Desalación** de agua de mar por filtración (Aristóteles de Estagira, s. IV a.C.)
- **Filtración** a través de carbón o lana (Plinio el Mayor, 77 d.C.)

Recreación del tratamiento de agua en el Antiguo Egipto mediante decantación y adición de sustancias minerales o vegetales (~1500 a.C.)

1.2. EDAD MEDIA *(desde el s. V)*

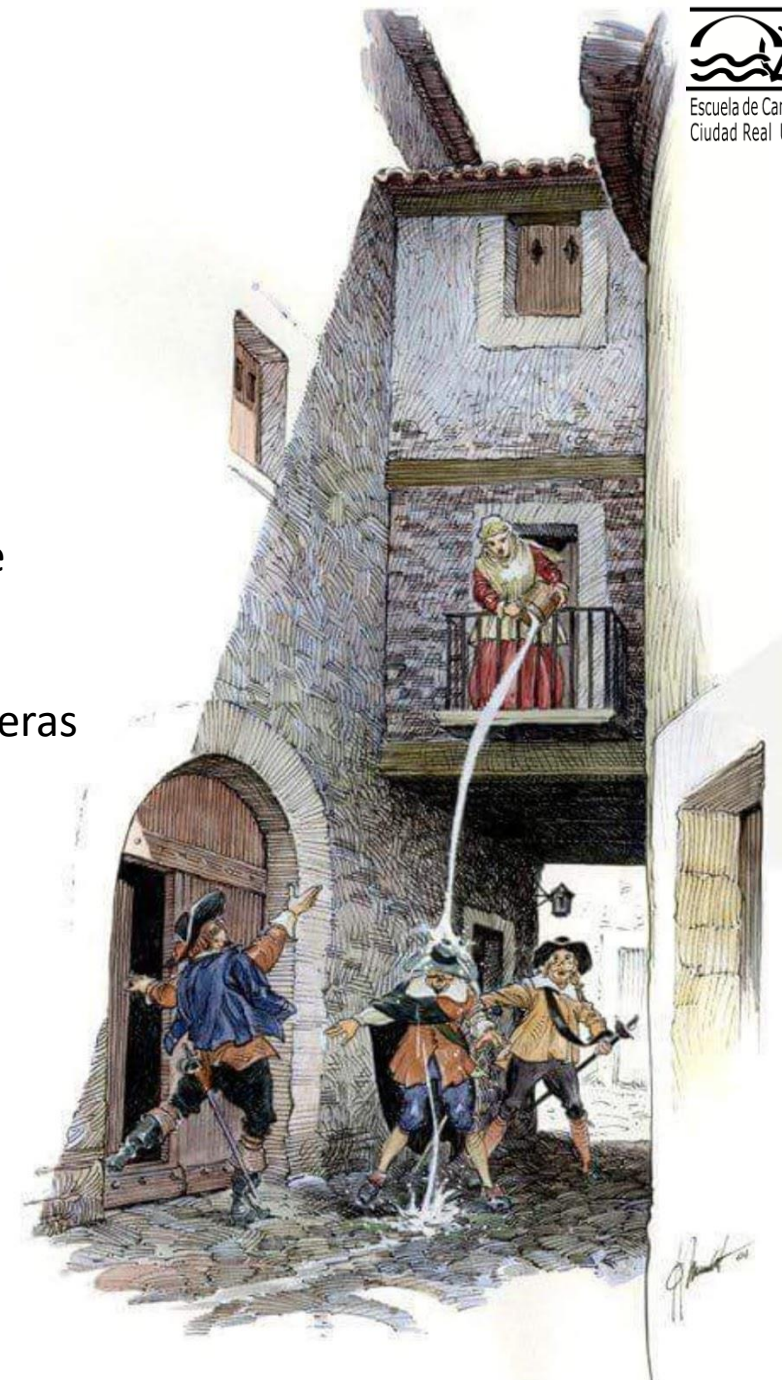
- Grecia clásica e Imperio Romano → gran desarrollo de conocimientos y realizaciones sanitarias
- **Estancamiento** (o incluso retroceso) posterior
 - Propagación del Cristianismo por el Mediterráneo (religión oficial del Imperio Romano desde s. IV)
 - Invasión de los pueblos germánicos al Imperio Romano Occidental (s. V)
 - Nacimiento y expansión de la cultura islámica por el Norte de África y Península Ibérica (desde s. VII)



La cultura islámica será la principal continuadora de la greco-romana en cuanto a conocimientos, técnica, hábitos higiénicos...

1.2. EDAD MEDIA

- **Suciedad y empeoramiento** de las condiciones higiénicas
 - Cristianismo medieval → mayor cuidado por el alma espiritual, despreocupación por la higiene corporal
 - Crecimiento de las ciudades, condiciones de **insalubridad** → propagación de **enfermedades y epidemias**
 - La **suciedad y contaminación** empiezan a plantear serios problemas → primeras **normativas** municipales sanitarias
 - París (s. XIV): prohibición de arrojar desperdicios por la ventana
 - Nuremberg (s. XIV): prohibición de ensuciar las aguas del río



1.2. EDAD MEDIA

- Se frena el desarrollo de **obras sanitarias**
 - Las antiguas construcciones hidráulicas romanas se destruyen o quedan en desuso (algunas se reutilizan o reconstruyen al final de la Edad Media)

ABASTECIMIENTO DE ROMA

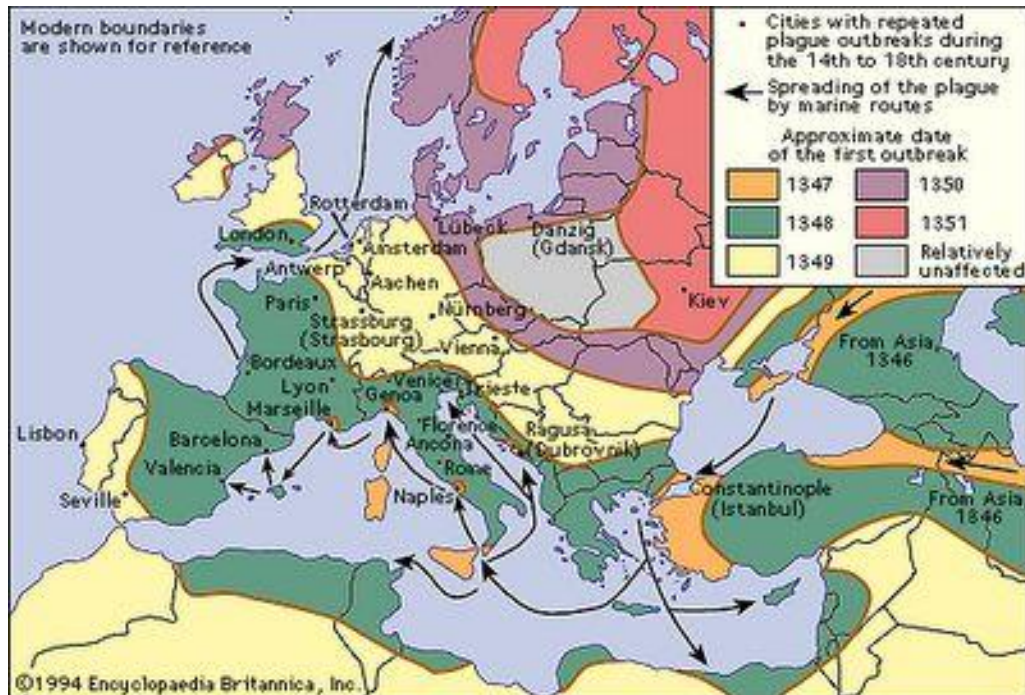
- Hasta s. IV a.C. → agua de manantiales y pozos
- 312 a.C. → Acueducto Acqua Appia
- 144 a.C. → Acueducto Acqua Marcia (99 km, 16 km elevados, 140.000 m³/día)
- S. I d.C. → 9 acueductos, 1.500.000 m³/día
- 410 d.C. → 11 acueductos, 1.200 fuentes públicas, 937 baños públicos, 11 termas imperiales...
- Edad Media → vuelta al abastecimiento con aguas contaminadas del río Tíber → problemas de salud
- Renacimiento → reconstrucción de algunos acueductos

1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

1.2. EDAD MEDIA

- Epidemia de **peste** en Europa (“muerte negra”), 1348-1351
 - 20-25 millones de muertos
 - Persecución de los judíos, acusados de envenenar fuentes de agua
 - Interpretaciones diversas sobre la causa de epidemias:
 - Corrupción del aire + influencias astrales (Arnau de Vilanova, s. XIV)

“El triunfo de la muerte”, Pieter Brueghel (s. XVI)



1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

1.2. EDAD MEDIA

- Tratados para la prevención de enfermedades y la conservación de la salud
 - Continuadores de los **Tratados hipocráticos** y los trabajos de Galeno
 - *Regimen Sanitatis Salernitanum* (S. XII)
 - *De conservanda inventute et retardanda senectute* (s. XIV)
 - *Compendium de Epidemia* (s. XIV) → tratados sobre la peste

No consiguieron gran cosa, ya que no aciertan con las **causas** de las enfermedades

Regimen Sanitatis Salernitanum

REGIMEN SA:

NITATIS CVM EXPOSITIONE MAGI
STRI ARNALDI DE VILLA NO
VA CATHELLANO NOVI
TER IMPRESSVS.



1.3. EDAD MODERNA *(desde finales del s. XV)*

- Paso de sociedad feudal a **sociedad burguesa** → proceso de **urbanización**
 - **Concentración** de población en ciudades → acumulación de miseria y pobreza en las clases bajas
 - Bajo nivel de **saneamiento** → casas sin letrinas, sin alcantarillado, calles sin pavimentar y con desperdicios...
 - Esperanza de vida ≈30 años

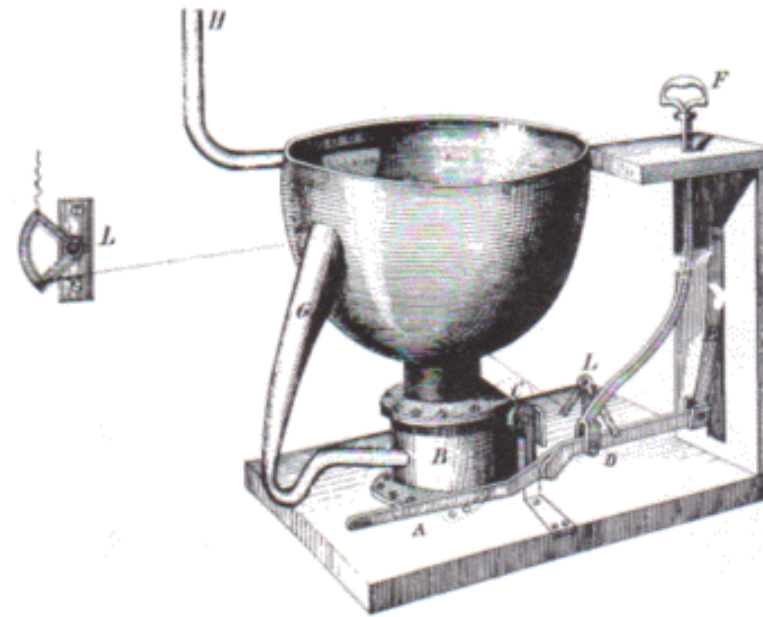
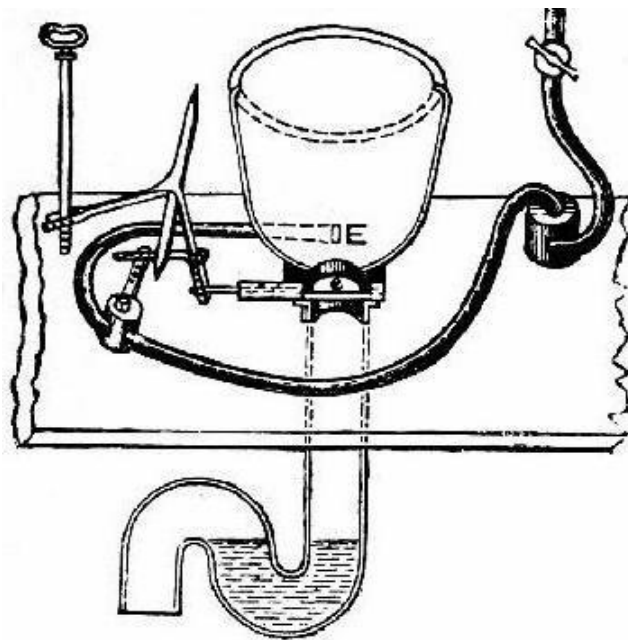


1.3. EDAD MODERNA

- Avances en Salud Pública
 - Paracelso (s. XVI) → estudios sobre las enfermedades de las **minas**: intoxicaciones crónicas y profesionales por mercurio, arsénico, antimonio y cobre
 - Fracastoro (s. XVI) → teoría del “**contagio animado**”: las **epidemias** se propagan por gérmenes vivos invisibles que pasan de un individuo a otro
 - Johann Peter Frank (s. XVIII) → reclama la realización de **reformas sanitarias**, sociales y económicas
 - Guyton de Morveau (s. XVIII) → **desinfección** química de objetos contaminados mediante fumigación de vapores de cloro
 - Jenner (s. XVIII) → **vacuna** contra la viruela

1.3. EDAD MODERNA

- Obras sanitarias
 - Reinención del “**Water closet** (w.c.)” → John Harrington (1596), poca difusión
 - Mejorado y patentado en el s. XVIII por Joseph Bramah y Alexander Cummings
 - *Public Health Act* de Reino Unido (1848) → toda casa nueva debía tener uno

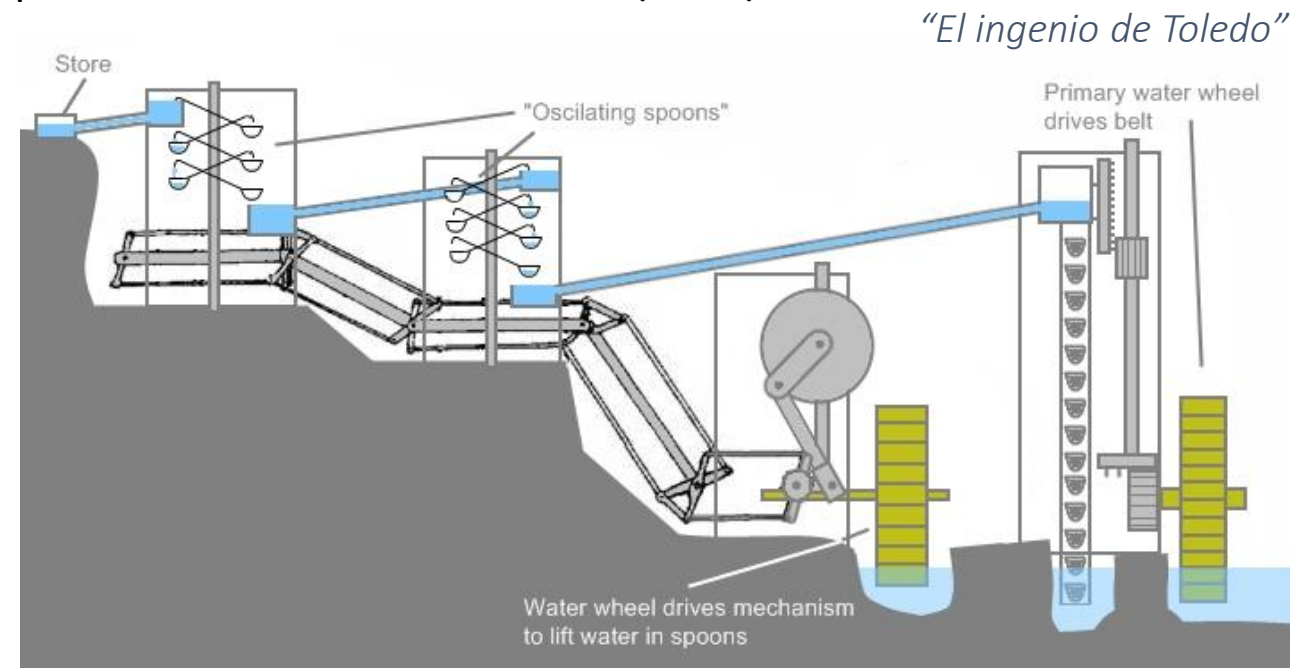
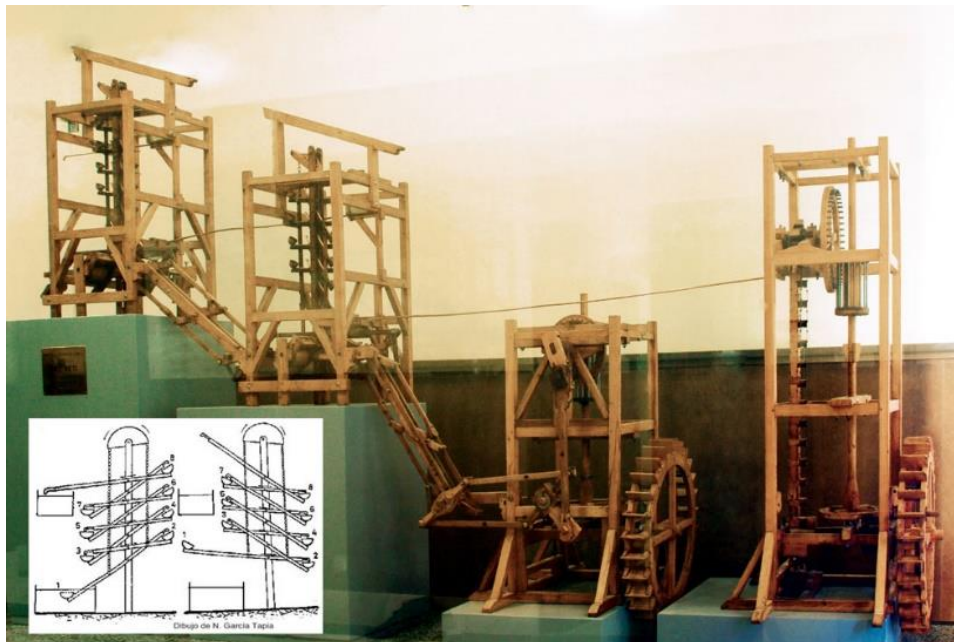


“Water closet” diseñados por Harrington (izquierda) y Bramah (derecha)

1.3. EDAD MODERNA

- Obras sanitarias – **máquinas hidráulicas**

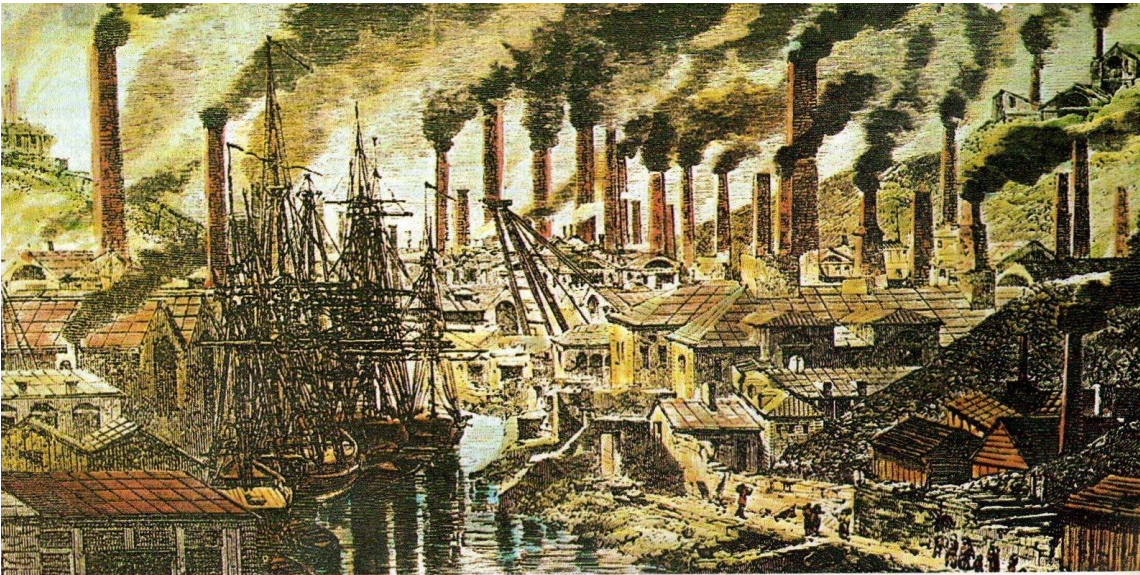
- “El ingenio de Toledo” (Juanelo Turriano, s. XVI): abastecimiento de agua al Alcázar de Toledo mediante un complejo mecanismo de elevación de agua desde el Tajo
- Abastecimiento de agua a Londres (s. XVI) por bombeo desde el Támesis, y a los jardines de Versalles (s. XVII) con 221 bombas
- Invención de la **máquina de vapor** (1766) → uso para el abastecimiento de París (1781)



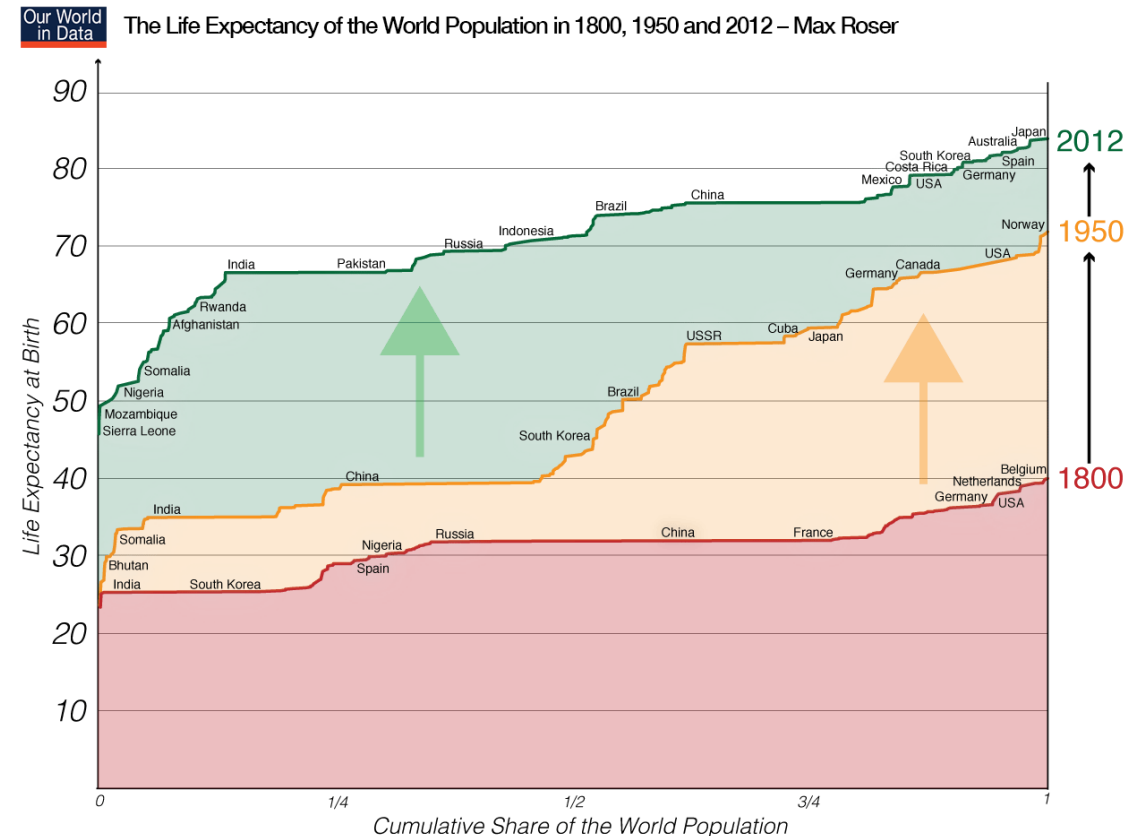
1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

1.4. REVOLUCIÓN INDUSTRIAL (*desde finales del s. XVIII*)

- Gran transformación de los procesos de producción y del trabajo
 - Atracción de población hacia las ciudades → aumento explosivo de la población urbana → mayor **insalubridad**, infraviviendas



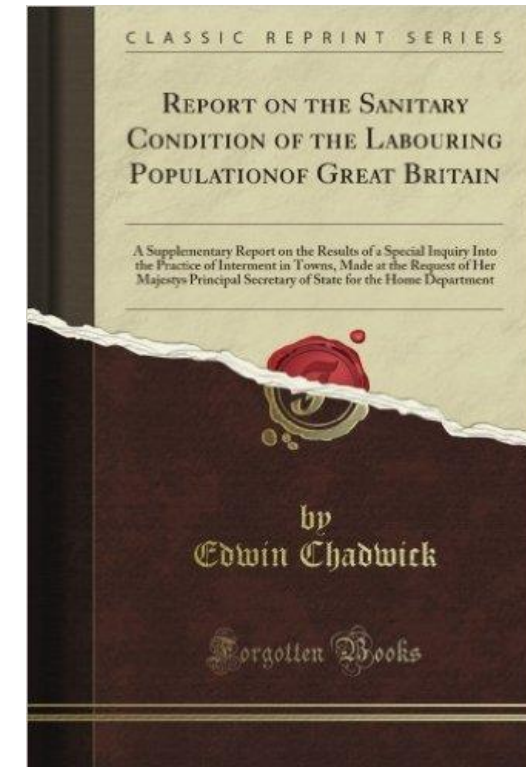
Clase	Esperanza de vida
Aristócratas	35-40 años
Artesanos y comerciantes	22-25 años
Obreros industriales	16-20 años



The author Max Roser licensed this visualisation under a CC BY-SA license. You are welcome to share but please refer to its source where you find more information: www.OurWorldinData.org/data/population-growth-vital-statistics/life-expectancy
Data source: Gapminder

1.4. REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

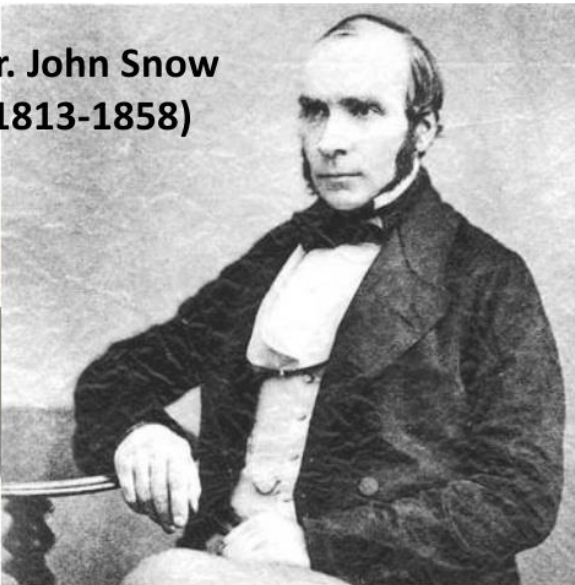
- Las enfermedades y epidemias cobran gran **atención social**
 - Se empieza a aplicar la **estadística** en los estudios de **salud pública** → aumenta el nivel de conocimiento sobre salubridad
 - Edwin Chadwick, *“Report on the Sanitary Condition of the Labouring Class”* (1842) → necesidad de transformar las **causas** económicas, sociales y físicas
 - Friedrich Engels → estudios sobre las **condiciones de vida** de la clase obrera inglesa (1845)
 - 1 baño/120 habitantes
 - 1 habitación/5,1 habitantes



1.4. REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

- Mejoras sanitarias
 - John Snow → estudios sobre las epidemias de **cólera** en Londres (1849-1854)

Dr. John Snow
(1813-1858)



Hipótesis:

- Considera una **vía de transmisión** entre personas, potenciada por la suciedad del ambiente; el germen sería capaz de reproducirse en el tubo digestivo
- **Fuente de infección:** alimentos contaminados, partículas de excretas coléricas, contaminación del agua por excretas de un enfermo → principal foco de expansión

Demostración:

- Análisis de los sistemas de **abastecimiento** de Londres (y puntos de captación del agua)
- Durante una epidemia, identificó la **fuente** de transmisión y el origen de la contaminación → cerró el pozo contaminado y remitió la epidemia

1.4. REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

- Mejoras sanitarias → Desarrollo de la **microbiología** y **bacteriología**



- Pasteur → estudios sobre enfermedades contagiosas, **vacunación preventiva**, “Teoría de los gérmenes” (1878)
- Koch → creación de medios de cultivo, esterilización por vapor, identificación del bacilo de la **tuberculosis** y del vibrión colérico, estudio sobre el cuidado de las aguas para la prevención del cólera y la fiebre tifoidea
- Ronald Ross → demostró que el **paludismo** se transmitía por el mosquito “*anopheles*”
- Carlos Finlay → demostró que la **fiebre amarilla** se transmitía por el mosquito “*stegomya*”



Gran resonancia y proyección social de estos descubrimientos
→ el Servicio de Salud del Estado americano de Massachusetts usó los servicios de ingenieros (1886) → **nacimiento de la Ingeniería Sanitaria**

1.4. REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

- Obras sanitarias
 - Aumento de la demanda de agua (crecimiento demográfico) → **captaciones** a mayor distancia (p.e., abastecimiento de Madrid desde el río Lozoya)
 - Construcción de redes de **alcantarillado** (p.e., en la reconstrucción de Hamburgo, 1843, tras un incendio)
 - **Tratamientos de agua** → inicialmente motivados por necesidades industriales u organolépticas, posteriormente como medida sanitaria de prevención de enfermedades
 - **Filtración**, uso de **cloro** para eliminar el olor de las alcantarillas (Londres, 1845), reactivos **químicos** para limpiar el agua de abastecimiento, **ozono**, aprovechamiento agrícola de aguas residuales...
 - Análisis **bacteriológico** de las aguas como control preventivo
 - Normalización en 1905 → *Standard Methods of Water Analysis*



Obras del Canal de Isabel II, 1855

- Ingeniería Sanitaria → inicialmente orientada a la **prevención de enfermedades**
 - Gran importancia del **agua**: abastecimiento, tratamiento, evacuación, depuración...
 - **Otras materias**: limpieza urbana, recogida y evacuación de basuras, lucha contra vectores de importancia sanitaria (insectos, roedores...), salubridad de la vivienda, higiene de los alimentos, higiene industrial y alimentaria...
- “**Ingeniero/a Sanitario/a**” → distinta formación según el país:
 - Especialista con formación en ingeniería y medicina
 - Competencias de ISA asumidas por otras profesiones (**ing. civiles**, arquitectos/as, ing. industriales...) → España

- Definición inicial de Ing. Sanitaria:
 - “arte de asegurar, por las técnicas de la ciudad, el **control** del hombre sobre su Medio Ambiente, con vistas a favorecer su salud” (Paz Maroto, 1968)
 - “uso de los principios y recursos de ingeniería para propósitos de **salud pública**” o “aplicación de principios de ingeniería a la solución de problemas planteados por las **enfermedades**” (Logan, 1970)

Inicialmente se enfrentaba a **enfermedades** humanas: epidemias, enfermedades laborales u ocupacionales

- **Evolución** → nuevos perjuicios debidos al desarrollo: contaminación atmosférica, acústica, radiaciones...
 - Algunas medidas de la Ing. Sanitaria suponen **efectos secundarios** que hay que reducir → contaminación atmosférica por incineración de residuos, contaminación de acuíferos por vertederos, etc.
 - También cambia el concepto de **Salud** → inicialmente: “ausencia de enfermedades”; Organización Mundial de la Salud (OMS), 1948: “estado de completo **bienestar físico, mental y social**”

- **Ingeniería de higiene del medio** (o de salud/sanidad ambiental)
 - Nuevo concepto basado en la Ing. Sanitaria tradicional (Comité de Expertos de la OMS, 1967)
 - “La aplicación, modificación o **adaptación** de los factores físicos, químicos y biológicos del **medio**, en beneficio de la **salud** del hombre y de su **bienestar** material y social”



Mantiene un carácter **antropocéntrico**: la naturaleza al servicio del ser humano

- Ingeniería de higiene del medio - **Campos de aplicación**



- Ingeniería de higiene del medio - **Evolución**

- Inicialmente → centrada en el **entorno próximo** del hombre (vivienda, trabajo, ciudad) para preservar su salud
 - Se trata de prever las consecuencias de la actividad humana para crear un ambiente artificialmente protegido

- Evolución de la sociedad → cambio de enfoque



- Alto nivel de **desarrollo** → ritmo alto de consumo de recursos y producción de residuos; superpoblación mundial; globalización; cambio climático
- Necesidad de considerar un Medioambiente de mayor **escala** (p.e., consideración de toda la cuenca hidrográfica para gestión de usos)
- Avance de los **conocimientos**: acumulación de tóxicos a través de las cadenas tróficas, nuevos agentes contaminantes...
- Nuevas **corrientes de pensamiento**: conservacionismo, ecologismo, ingeniería ecológica, decrecimiento...

- **Ingeniería Ambiental (o ISA)**

- Ampliación del campo de la Ing. Sanitaria, incorporando este nuevo enfoque con una **visión integral** del Medioambiente
- **Nuevos campos:** gestión ambiental, educación ambiental, restauración ambiental, análisis del ciclo de vida...
- Medioambiente global (físico, biológico, socioeconómico, cultural...) → necesidad de enfoque **transdisciplinar** para entender el complejo mecanismo ambiental
- Riesgo de degradación ambiental con el desarrollo → necesidad de realizar **Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)** de los proyectos y actividades humanas

Tiene en consideración las contrapartidas del desarrollo y los propios límites al crecimiento → visión crítica del modelo desarrollista, importancia de la **educación ambiental** para lograr un desarrollo sostenible en equilibrio con el ambiente

- ¿Qué es la Ingeniería Sanitaria (y Ambiental)?



- Disciplina en **evolución** de contenidos, enfoque, denominación... desde su aparición
- Inicialmente centrada en la prevención de **enfermedades**, con especial importancia del **agua**

Actualmente, mucho más **amplia** (y rica en contenidos) que en sus inicios → abarca no sólo las obras sanitarias, sino importantes aspectos ambientales relacionados