

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

2. Salud pública y demografía humana

- Salud Pública
 - Conceptos de Salud Pública
 - Características de las enfermedades
 - Efectos de los tóxicos sobre los seres vivos
 - Enfermedades ambientales
- Demografía humana
 - Evolución histórica de la población
 - Estimación de la población futura
- Dotaciones y periodos de proyecto



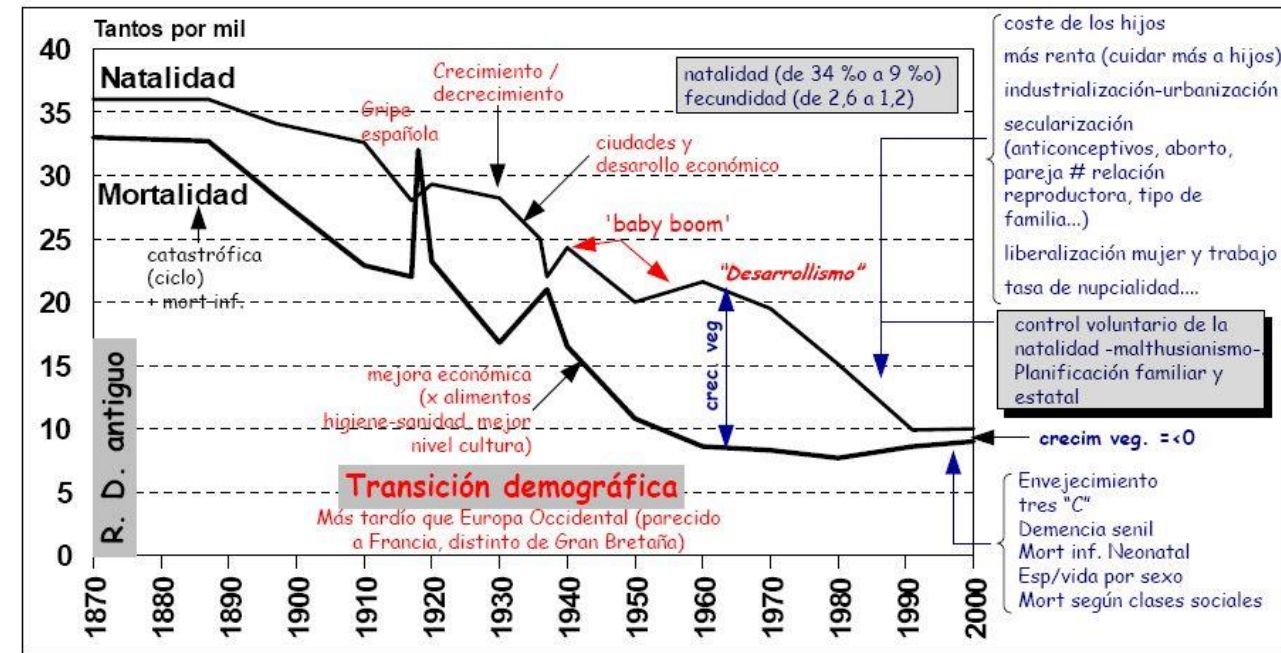
- Ing. Sanitaria muy ligada a la **Salud Pública**
→ higiene urbana, enfermedades asociadas a problemas higiénicos, etc.
 - Correlación entre las **condiciones higiénicas** en servicios urbanos y grado de **morbilidad** de enfermedades contagiosas (proporción de personas que enferman en un sitio y tiempo determinado)

Comprobado en 1854 durante una epidemia de cólera en Londres → fuentes públicas de agua eran los focos de la enfermedad (**agua contaminada** como medio de transmisión de enfermedades)

- Movimiento por la mejora de la **calidad de vida** en las ciudades desde mediados s. XIX (clases trabajadoras)
- Estudios sobre **gérmenes microbianos** que producían enfermedades: tuberculosis (1883), cólera (1884), rabia (1885)

Ciudad	Tasa de mortalidad (‰)
Barcelona (Cerdá, 1856)	32,5
Cádiz (1900)	33,5
Salamanca (1900)	38,3

Tasa de mortalidad como indicador de calidad de vida → su reducción era el principal objetivo de los primeros “Ing. Sanitarios” (indicador de mejora de las condiciones higiénicas)

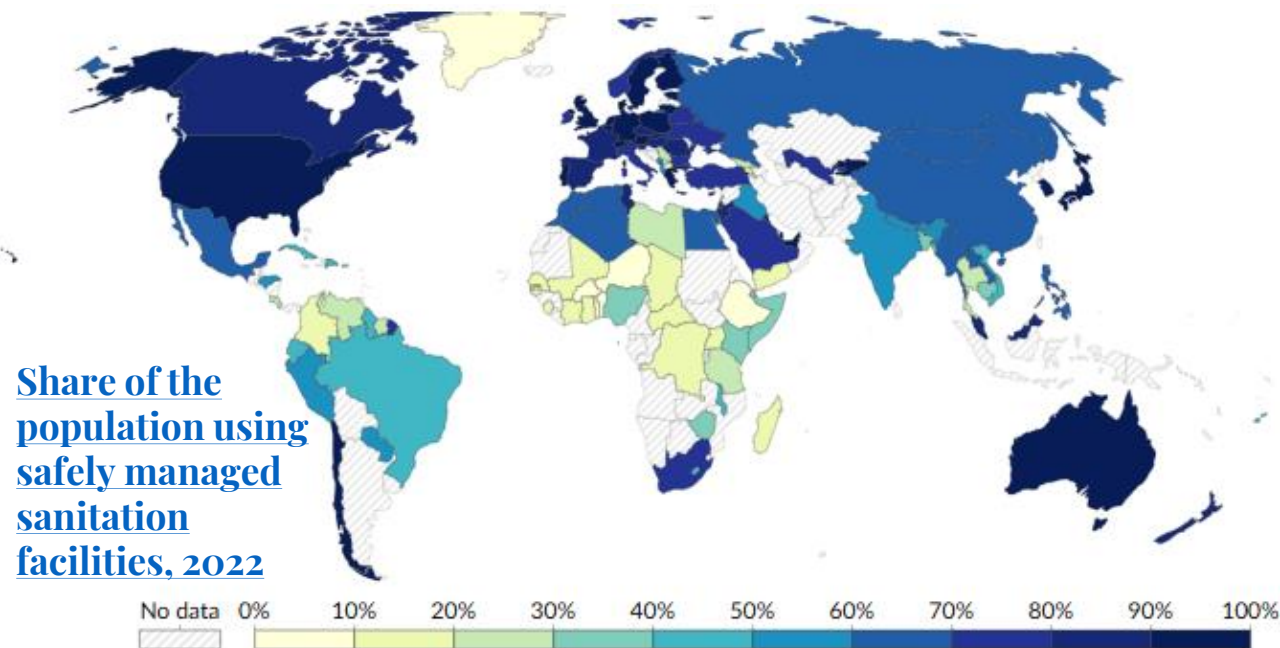
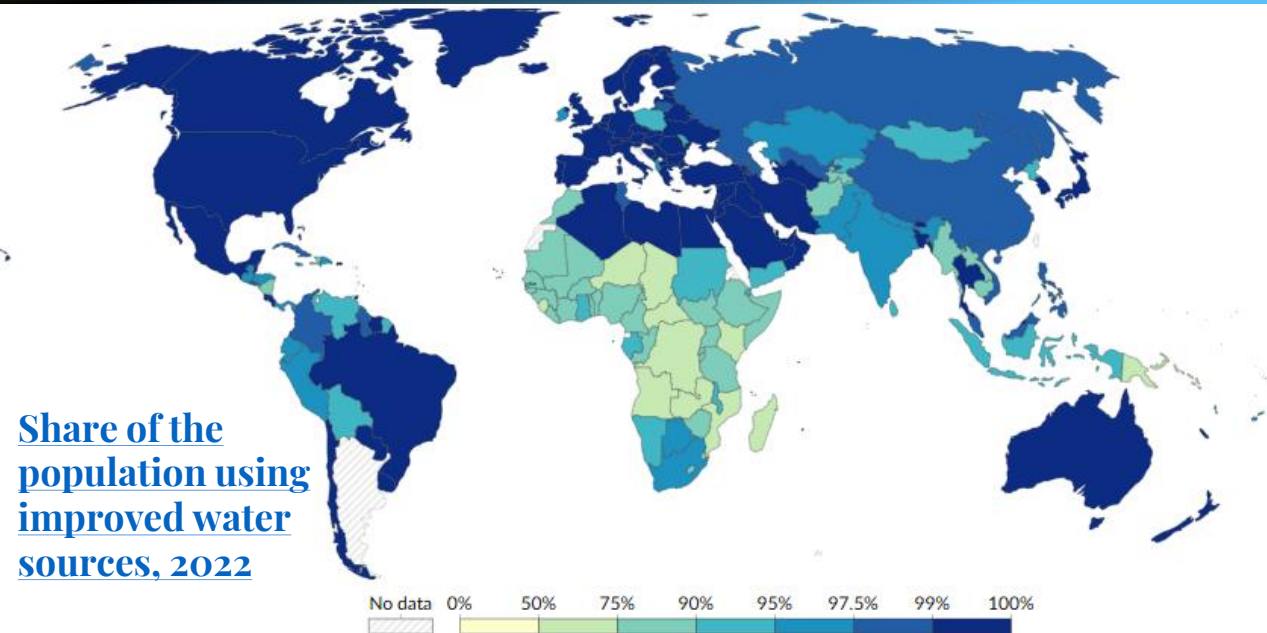


- Importancia del **agua** como principal medio de **transmisión**
 - Muy susceptible de verse **contaminada** por la actividad humana
 - Gran potencial para transmitir una amplia variedad de enfermedades
 - **Enfermedades hídricas** → prácticamente erradicadas en el mundo desarrollado (sistemas de abastecimiento y saneamiento)

En países menos desarrollados, sigue siendo un problema básico y un **limitante al desarrollo** (paludismo, fiebre tifoidea...)



1. SALUD PÚBLICA



- ≈2200 millones hab. sin acceso a fuentes mejoradas de **agua potable**
- ≈4200 millones hab. sin acceso a **saneamiento** mejorado
- ≈2 millones hab. **mueren** al año por enfermedades hídricas

Source: [OurWorldinData.org](https://ourworldindata.org)

Data source: WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply, Sanitation and Hygiene (JMP) (2024)

1.1. CONCEPTOS DE SALUD PÚBLICA

- **Salud pública** = completo bienestar físico, mental y social de la población, no sólo la ausencia de enfermedades (OMS, 1948)
 - **Epidemiología**: ciencia que estudia los **factores** que determinan la frecuencia y la distribución de enfermedades en la población humana (principalmente las **causas** de las enfermedades)
 - **Diagnóstico** de enfermedades → requiere un examen clínico, ya que algunas enfermedades tienen la misma **sintomatología** y distinto **agente causal**

Síntomas del Coronavirus vs Resfriado vs Gripe

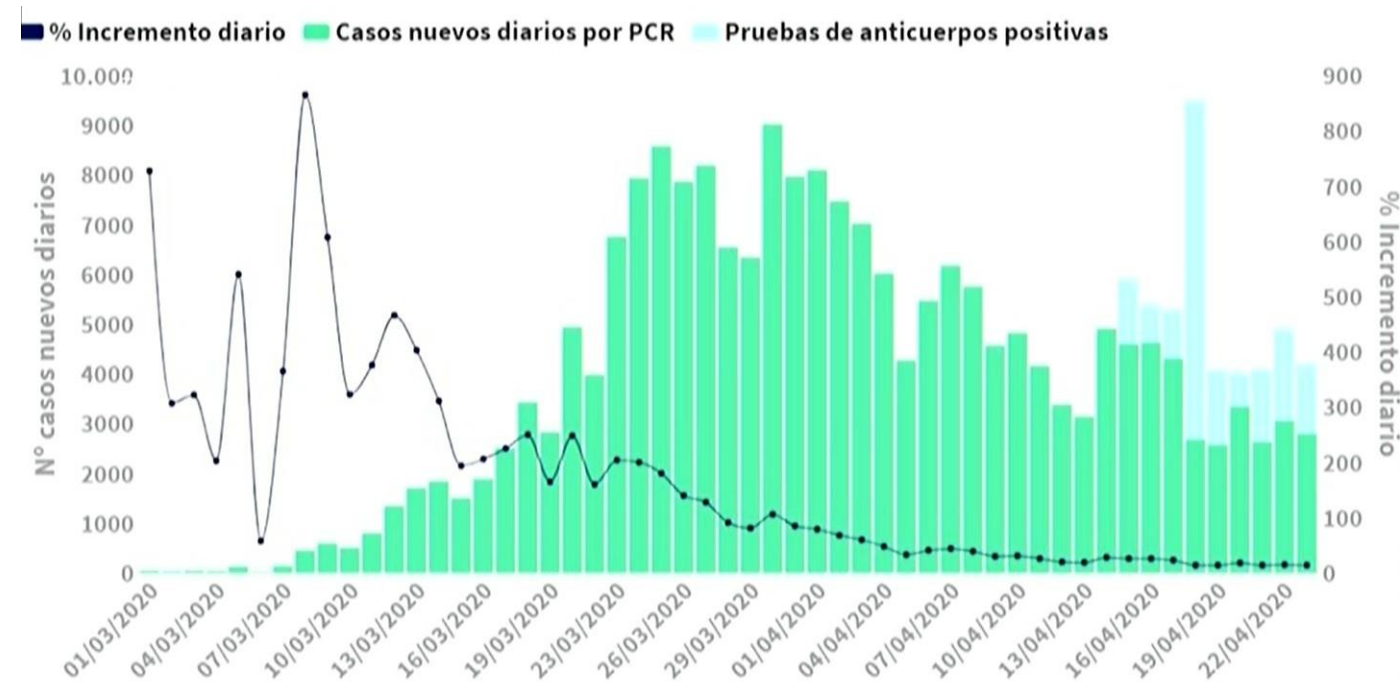
FUENTE: OMS /CDC

SÍNTOMAS	COVID-19	RESFRIADO	GRIPE
 FIEBRE	FRECUENTE	INFRECUENTE	FRECUENTE
 FATIGA	A VECES	A VECES	FRECUENTE
 TOS	FRECUENTE (seca)	SUAVE	FRECUENTE (seca)
 ESTORNUDOS	NO	FRECUENTE	NO
 DOLOR MUSCULAR	A VECES	FRECUENTE	FRECUENTE
 MOCOS O CONGESTIÓN	INFRECUENTE	FRECUENTE	A VECES
 DOLOR DE GARGANTA	A VECES	FRECUENTE	A VECES
 DIARREA	INFRECUENTE	NO	A VECES (niños)
 DOLOR DE CABEZA	A VECES	INFRECUENTE	FRECUENTE
 DIFICULTAD PARA RESPIRAR	A VECES	NO	NO

La confirmación de casos de enfermedad requiere la ratificación mediante pruebas de laboratorio (**microbiología**)

1.1. CONCEPTOS DE SALUD PÚBLICA

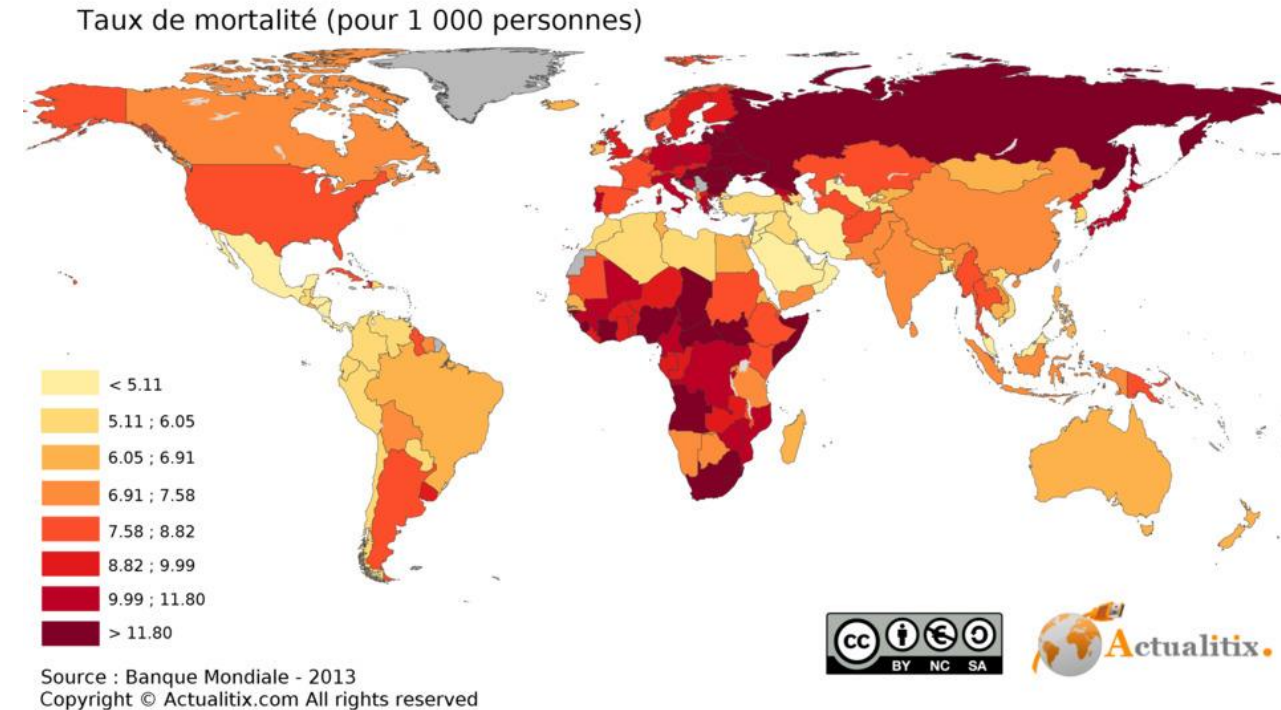
- **Indicadores epidemiológicos:** variables que se utilizan para conocer y estudiar el estado de salud de la población
 - **Casos:** nº de personas afectadas por una patología determinada
 - **Prevalencia:** % de individuos en una población definida que padece la enfermedad en un momento dado
 - **Incidencia:** casos nuevos por unidad de tiempo



- **Tasa:** frecuencia de aparición de nuevos casos
- **Riesgo:** probabilidad de una nueva aparición de enfermedad entre individuos en una población inicialmente libre de enfermedad durante un período de tiempo definido (n° casos nuevos entre población en riesgo al comienzo del período)

1.1. CONCEPTOS DE SALUD PÚBLICA

- Indicadores epidemiológicos
 - Tasa de **mortalidad**: nº muertes respecto a la población total, en un periodo de tiempo concreto
 - Tasa de **morbilidad**: nº personas que padecen una enfermedad respecto a la población total, en un periodo de tiempo concreto
 - Tasa de **morbimortalidad**: nº de personas afectadas y/o fallecidas por una enfermedad en un periodo de tiempo concreto
- Enfermedad **endémica** (endemia): cuando está presente en una población a un nivel bajo de incidencia (sin gran variación del nº de afectados) → malaria, fiebre amarilla
- Enfermedad con niveles de incidencia variables:
 - Niveles pico → **Epidemias** (cólera, ébola)
 - Brotes mundiales → **Pandemias** (COVID-19, gripe aviar, gripe A)

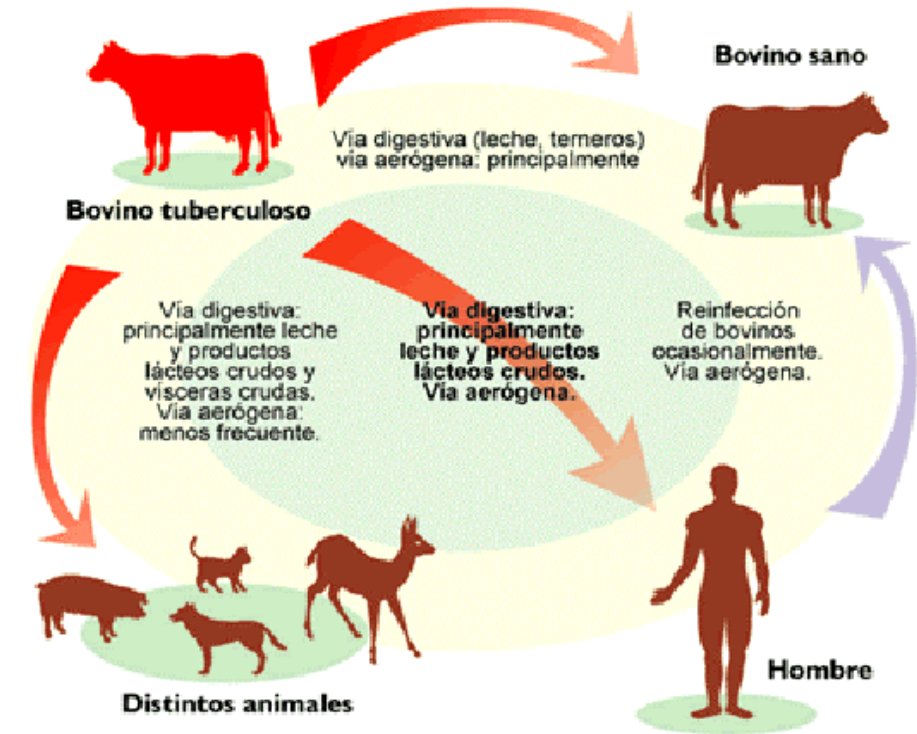


1.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS ENFERMEDADES

- **Diseminación** de una enfermedad → elementos:
 - **Foco** de infección
 - **Ruta** de transmisión
 - **Exposición** de un organismo vivo susceptible a la enfermedad
- **Control** de la enfermedad
 - Descontaminar el foco de infección (*curar a los enfermos portadores*)
 - Romper la ruta de transmisión
 - Proteger a la población

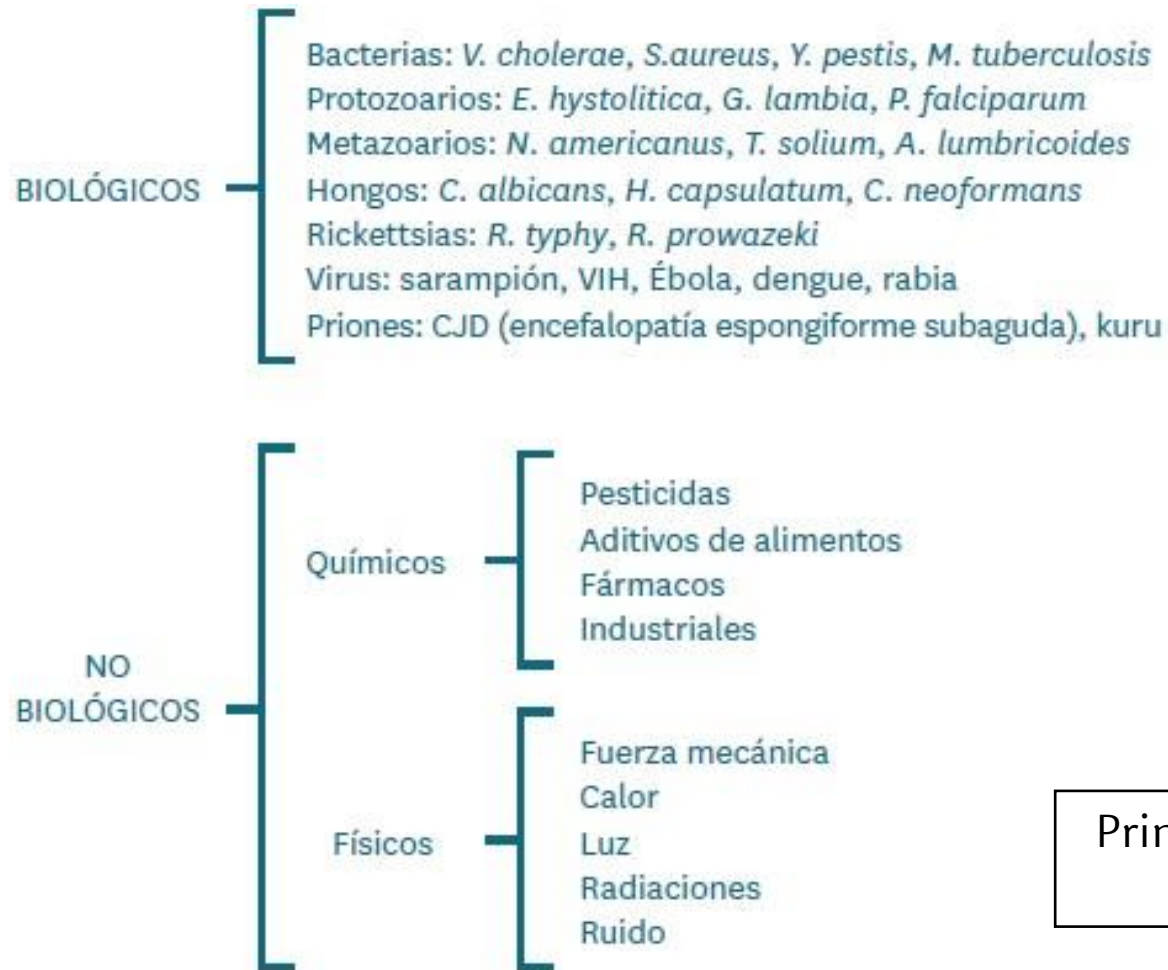
Medidas de
ingeniería

Medidas
médicas



1.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS ENFERMEDADES

- **Agente causal:** elemento que produce la enfermedad



- Causa **necesaria** → la presencia del A.C. es imprescindible para provocar la enfermedad, aunque no necesariamente la provoca
 - Bacilo de Koch → su presencia es necesaria para que un individuo enferme de tuberculosis, pero sólo el 5-6% de individuos que entran en contacto con él enferman
- Causa **suficiente** → la exposición al A.C. provoca la enfermedad necesariamente
 - Virus rábico → su presencia causa la hidrofobia

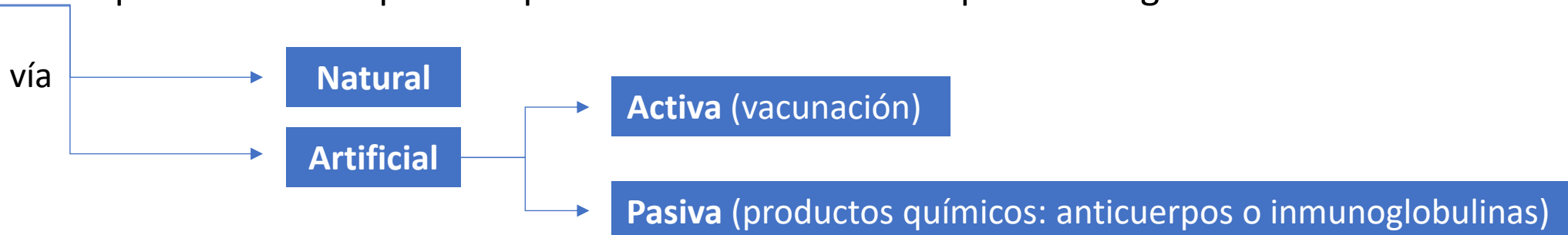
Principio de **multicausalidad**: cuando una enfermedad puede estar provocada por distintos agentes causales

1.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS ENFERMEDADES

- **Infectividad:** rendimiento del agente causal para producir la enfermedad una vez la persona ha sido expuesta a él
 - Depende del **tiempo** de exposición al agente y la **dosis** (concentración del agente a la que se está expuesto)

La **radioactividad** que supuso la bomba de Hiroshima (1945) provocó numerosos casos de leucemia, con una incidencia inversamente proporcional a la distancia al punto de explosión (menor intensidad de radiación → menor dosis)

- **Inmunidad:** capacidad de una persona para no enfermar al ser expuesta al agente causal



1.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS ENFERMEDADES

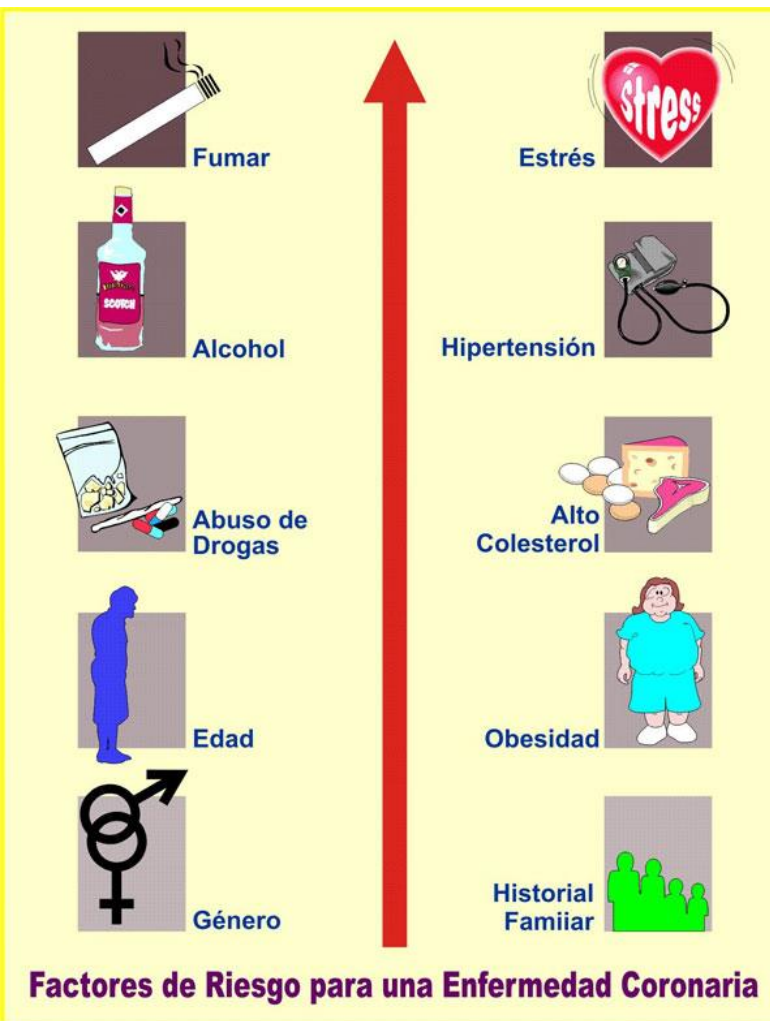
- **Periodo de incubación:** tiempo transcurrido entre que la persona se ha expuesto al agente causal y se manifiesta la enfermedad (cuando aparecen los primeros síntomas)
 - Puede oscilar entre pocos minutos (venenos) y varios años (SIDA)



Fuentes:
The Incubation Period of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) From Publicly Reported Confirmed Cases: Estimation and Application - Stephen A. Lauer *et al.*, 2020.
Viral dynamics in mild and severe cases of COVID-19 - Yang Liu *et al.*, 2020
Worldometers - Coronavirus incubation period
Cerahgeneve, COVID-19 Scientific Resources

1.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS ENFERMEDADES

- **Factor de riesgo:** factor que puede ser controlado y precede al inicio de la enfermedad



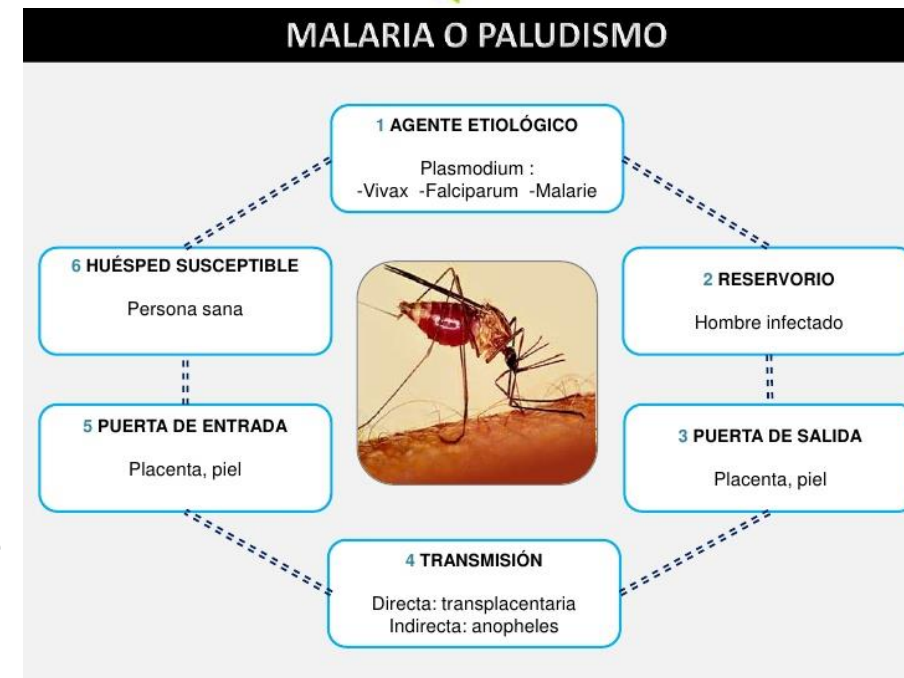
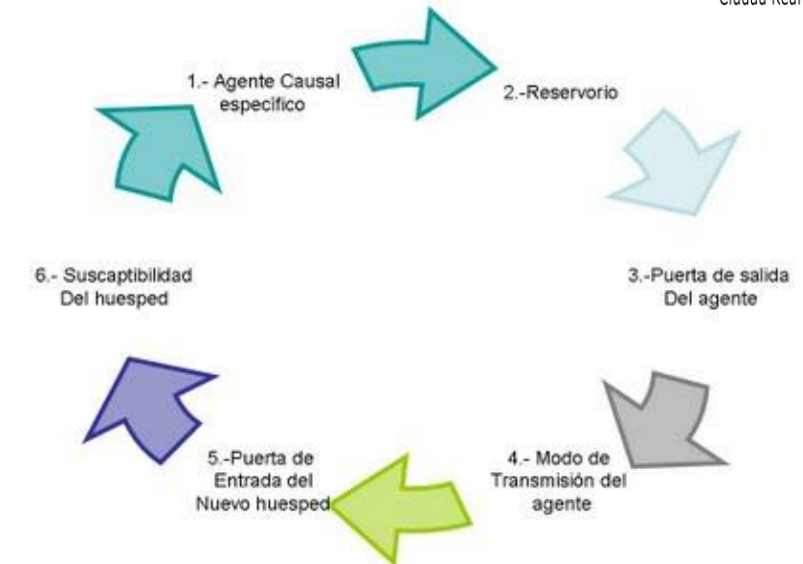
- Supone un incremento de la probabilidad de incidencia de una enfermedad (puede ser responsable de su desarrollo)
- Puede ser **endógeno** (obesidad → infarto) o **exógeno** (tabaco → bronquitis crónica)

Marcador de riesgo: factor endógeno no controlable, que supone un aumento del riesgo de padecer la enfermedad (edad, género...)

1.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS ENFERMEDADES

• **Diseminación** de una enfermedad

- Fuente o **medio de transmisión**: medio a través del cual entra en contacto el agente causal con el individuo (aire, agua, suelo, alimentos...)
- **Vía** de infección: camino por el que entra el agente en el individuo (respiratoria, digestiva, por contacto...)
- **Vectores** sanitarios: animales capaces de transmitir enfermedades al hombre (mosquitos, ratas...)
- **Reservorio**: lugar o ser vivo en el que se mantiene y reproduce un germen patógeno (agua, mosquitos, ratas...)
- **Portador**: individuo que lleva dentro el agente causal de una enfermedad y que lo evacua al medio ambiente (de modo constante o intermitente) → reservorio
 - Toda persona que padece una enfermedad pasa por un periodo de **infectividad** en el que es portador
 - Una persona puede estar aparentemente sana y ser **portador crónico** o durante mucho tiempo (mucho después de haber padecido la enfermedad)



1.3. EFECTOS DE LOS TÓXICOS SOBRE LOS SERES VIVOS

Sinérgico

- El efecto de un tóxico se ve potenciado por la presencia y acción de otro tóxico

Antagónico

- Efecto disminuido por la presencia y acción de otro tóxico (veneno y su antídoto)

Cancerígeno

- El tóxico provoca cáncer en el individuo (tabaco)

Mutagénico

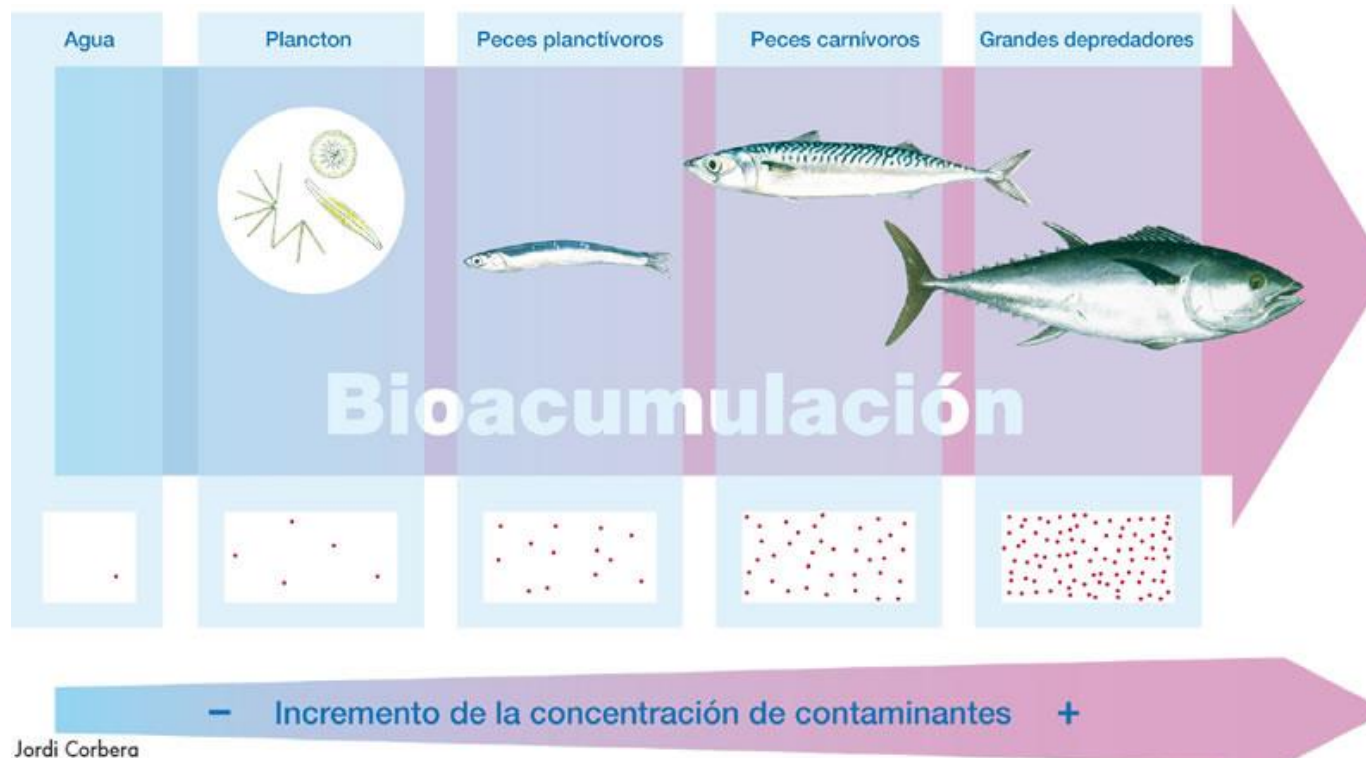
- El tóxico afecta a la información genética del individuo, pudiendo producir mutaciones de la especie

Teratogénico

- El tóxico afecta al desarrollo embrionario, pudiendo producir malformaciones en el feto (talidomida)

1.3. EFECTOS DE LOS TÓXICOS SOBRE LOS SERES VIVOS

- **Sustancias bioacumulables:** se acumulan en los tejidos de los seres vivos y no son metabolizadas por ellos (o sólo escasamente), siendo difícilmente excretables
 - Su concentración en el organismo va aumentando, pudiendo llegar a niveles **tóxicos**
 - Su efecto de acumulación es aún mayor a través de la **cadena trófica**



Jordi Corbera

1.4. ENFERMEDADES AMBIENTALES

- Enfermedades ambientales en función del **medio de transmisión, actividad humana o factores ambientales**

AIRE	Agentes biológicos Agentes químicos Agentes físicos	Polen, ácaros Contaminantes atmosféricos Ruidos
SUELO	Contacto	Playas: micosis Campo: tétanos
ALIMENTOS/FÁRMACOS	Ingestión	Salmonelosis Drogodependencias Efectos 2º de fármacos
INSECTOS/ROEDORES		Fiebre amarilla, paludismo, tifus
VIVIENDA	Aire acondicionado	Legionella
TRABAJO	Minas	Silicosis
CLIMA		Viento Sur
TRANSPORTE	Carreteras	Accidente de tráfico
VIDA MODERNA		Stress

1.4. ENFERMEDADES AMBIENTALES

- Enfermedades ambientales de tipo **hídrico** – clasificación según **agentes causales**

A. BIOLÓGICOS	Bacterias (vibrio colerico)	cólera
	(shigella)	disentería
	(salmonella)	fiebre tifoidea y paratífica
		gastroenteritis diarreas
	Virus	hepatitis A poliomielitis
	Parásitos	amibiasis helmintos (lombrices)
A. QUÍMICOS carencia / exceso	Iodo (carencia)	bocio
	Nitrato (exceso)	metahemoglobinemia
	Flúor (carencia)	caries
	(exceso)	fluorosis
	Plomo (exceso)	saturnismo
	Mercurio (exceso)	enf. de Minamata
	Compuestos orgánicos (pesticidas, herbicidas, organoclorados, organofosforados)	toxicidad

1.4. ENFERMEDADES AMBIENTALES

- Enfermedades ambientales de tipo **hídrico** – clasificación según vías de infección y fuentes o medios de transmisión (Bradley, 1997)

Transmitidas por **ingesta** de agua

- Gastroenteritis, cólera, hepatitis infecciosa, tifoidea, disentería...

Causadas por **contacto** con el agua

- Conjuntivitis, enfermedades diarreicas, lepra, sarna, tiña, tracoma...

Propagadas por **vectores** relacionados con el agua

- Malaria o paludismo, fiebre amarilla, enfermedad del sueño...

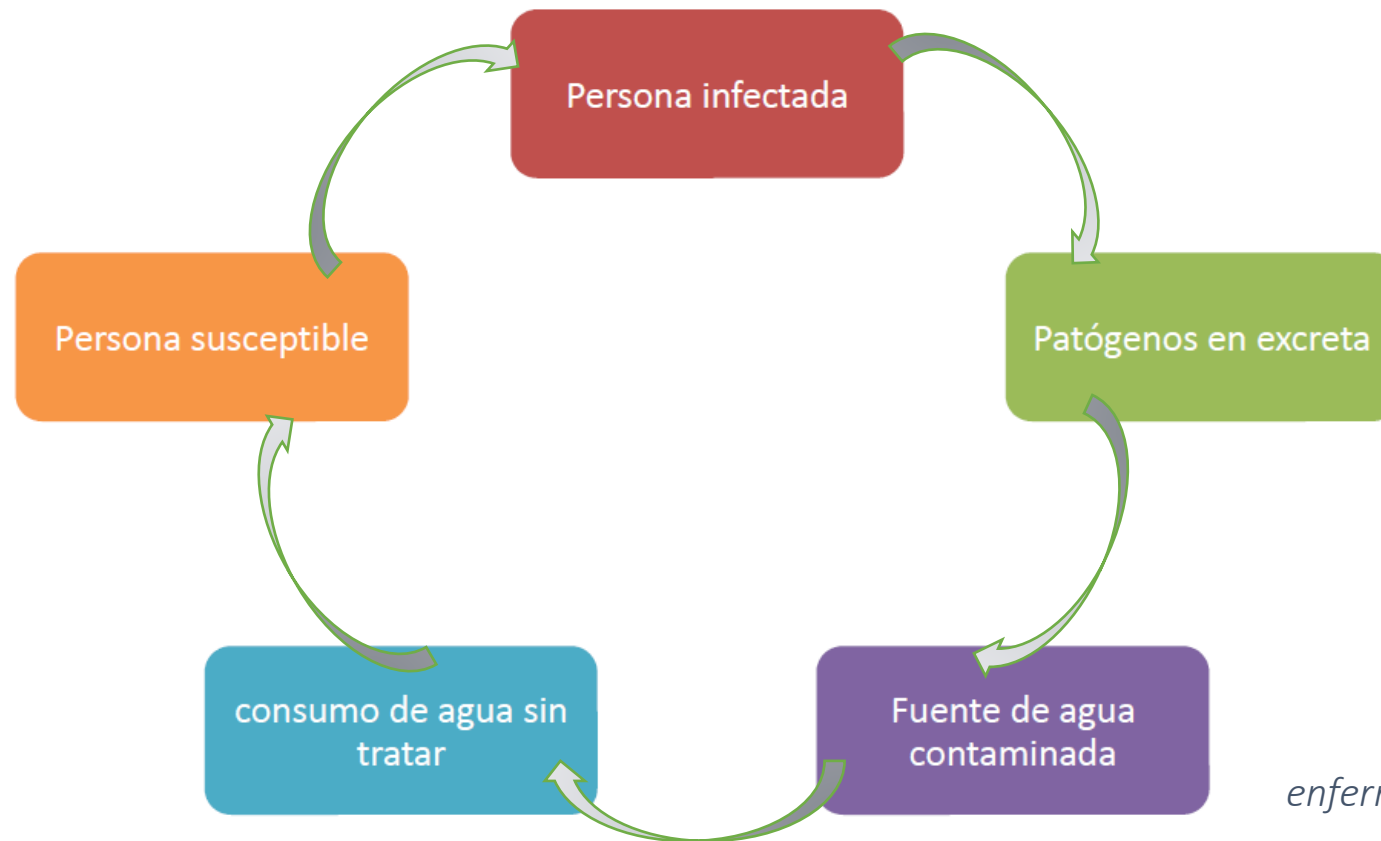
Desarrolladas en el agua, generadas por patógenos que pasan parte de su ciclo de vida en el agua o en un huésped intermediario que vive en ella

- Esquistosomiasis...

1.4. ENFERMEDADES AMBIENTALES

- Enfermedades ambientales de tipo **hídrico**

- Transmitidas por **ingesta** de agua: gastroenteritis, cólera, hepatitis infecciosa, tifoidea, disentería...

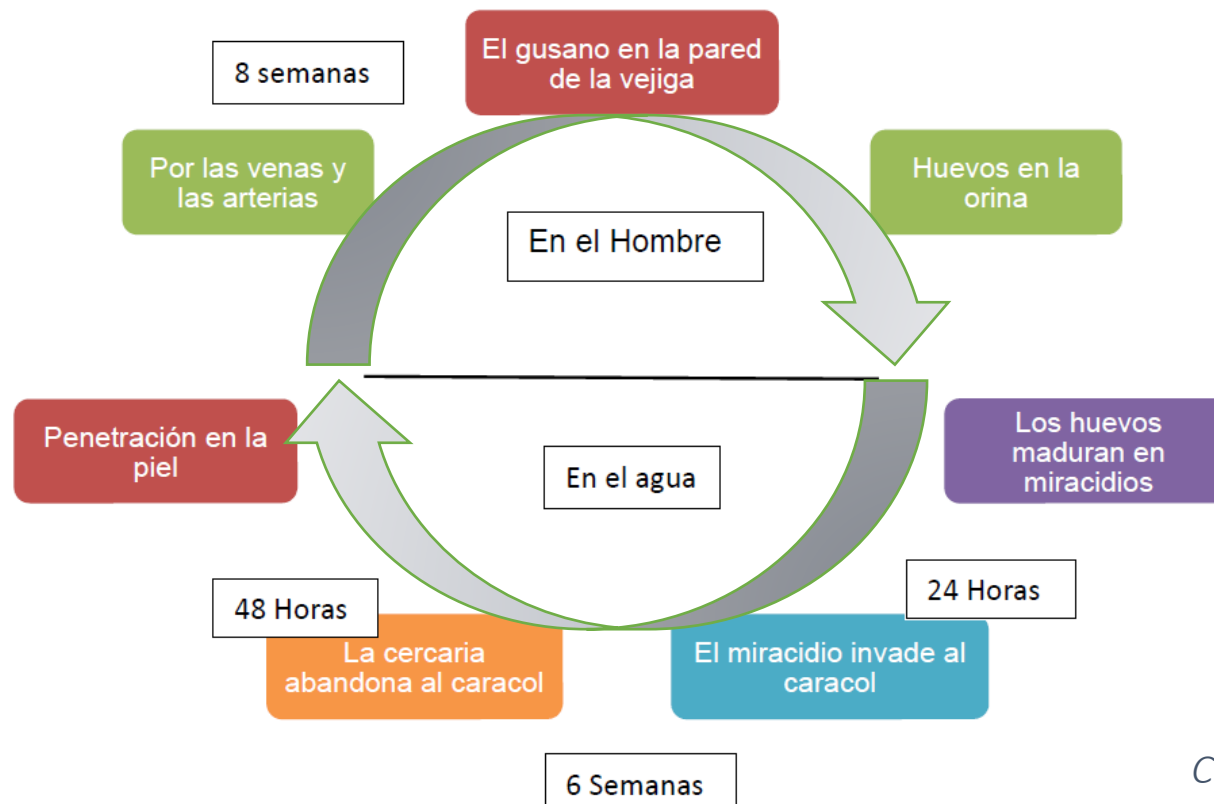


Ciclo clásico de infección de enfermedad transmitida por el agua

1.4. ENFERMEDADES AMBIENTALES

- Enfermedades ambientales de tipo **hídrico**

- Desarrolladas** en el agua, generadas por patógenos que pasan parte de su ciclo de agua en el agua o en un huésped intermediario que vive en ella: esquistosomiasis...

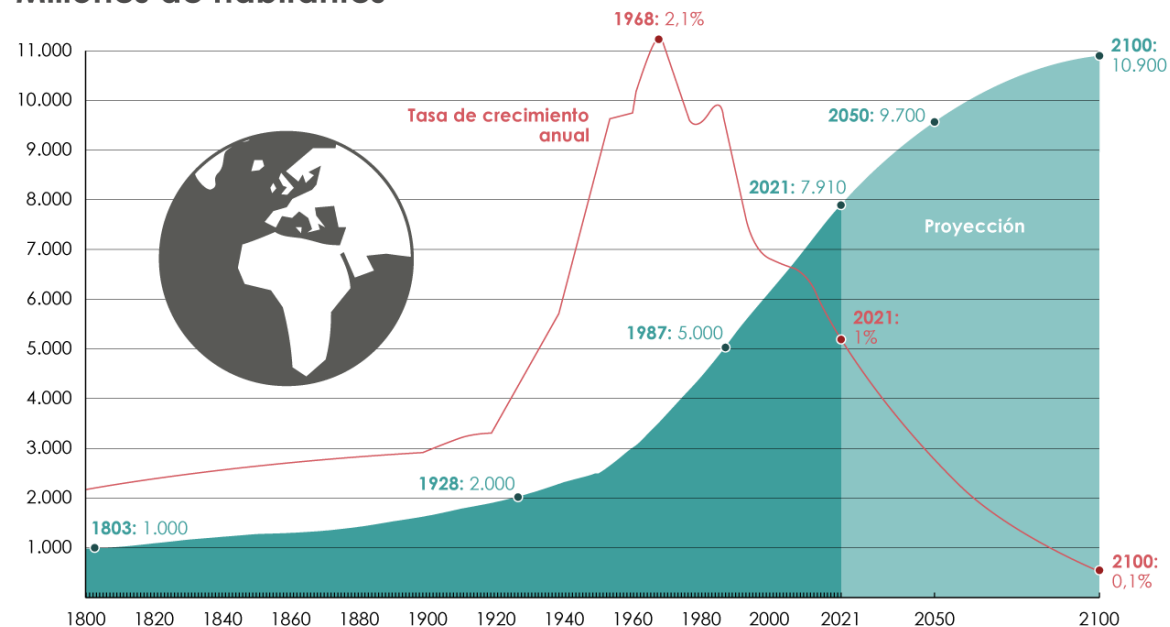


Ciclo de infección de la esquistosomiasis

- Definición: ciencia que estudia la población humana, en cuanto a estructura, dimensión, evolución, etc.
 - Busca conocer las características generales de una población, principalmente desde un punto de vista **cuantitativo**

La evolución de la población mundial

Millones de habitantes



- Ing. Sanitaria y Ambiental → imprescindible conocer el nº de habitantes actual (y estimar el nº futuro) de la **población objetivo** para la cual se diseña una infraestructura o servicio
 - La actuación sanitaria debe ser útil tanto para la población actual como para la futura (**vida útil**)
 - Estimación de la evolución → además del cálculo matemático es necesario conocer cómo se desarrollan las poblaciones y de qué factores depende

Autor:
Álvaro Merino (2022)
Fuente:
OurWorldInData a partir de datos de la ONU y HYDE (2022)

EOM
elordenmundial.com

Información adicional: <https://worldpopulationhistory.org/>

2.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA POBLACIÓN

- Análisis demográfico → para poder proyectar hacia el futuro es necesario conocer la evolución pasada
 - **Revisión histórica** de las cifras de población (censos, padrones...) y de los factores principales que condicionan la evolución
 - **Factores biológicos:** natalidad (N) y mortalidad (M)
 - **Movimientos migratorios** (Mig): inmigración y emigración

Fórmula demográfica básica:

$$\Delta P = N - M \pm Mig \pm Pf + T$$

ΔP : incremento de población

Pf : población flotante (no inscritos en el censo, p.e. 2ª residencia)

T : turismo

2.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA POBLACIÓN

- Métodos de estimación de la evolución demográfica
 - Basados principalmente en **datos históricos** → extrapolación a futuro de la tendencia de evolución del pasado (se supone que la población mantendrá una evolución similar)
 - Debe hacerse con ciertas **cautelas**, entendiendo que pueden darse cambios de tendencia por numerosos factores
 - Hay que tener en cuenta las **variaciones estacionales** (turismo...)

Métodos más utilizados:

- Método aritmético
- Método geométrico
 - Método de las *Normas para la Redacción de proyectos de Abastecimiento y Saneamiento de Poblaciones*
- Método de la tasa de crecimiento decreciente
- Método de la curva logística
- Método de semejanza de poblaciones

2.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA POBLACIÓN

- Método **aritmético**

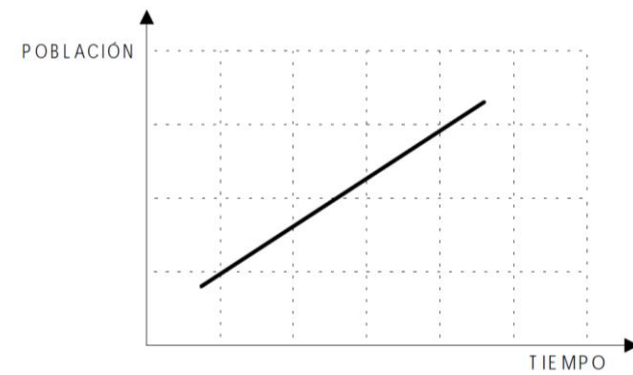
- *Incremento* de población por unidad temporal constante (velocidad de *crecimiento* constante) → evolución lineal de la población

$$dP/dt = K_a = \text{cte}$$

$$P_f = P_0 + K_a \cdot t$$

- Obtención de K_a a través del ajuste de una recta por mínimos cuadrados, o mediante varios registros de población:

$$K_a = (P_1 - P_2) / \Delta t$$

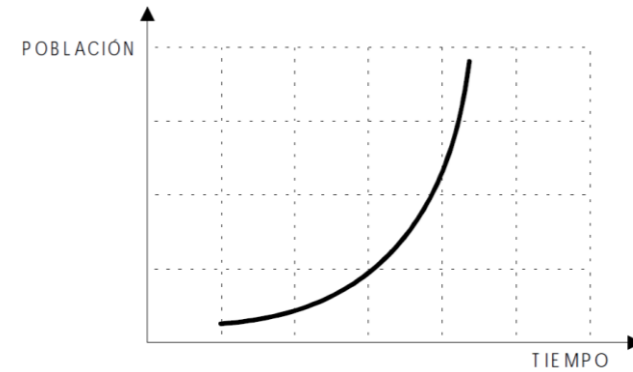


P : población
 t : período de tiempo
 K_a : tasa de crecimiento aritmético
 P_0 : población actual
 P_f : población futura

2.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA POBLACIÓN

- Método **geométrico** o de tasa de crecimiento acumulativo

- Velocidad de crecimiento proporcional a la población → progresión geométrica de la población



$$\begin{aligned}dP/dt &= K_g \cdot P \\ \ln P_f &= \ln P_0 + K_g \cdot \Delta t \\ P_f &= P_0 \cdot e^{K_g t} = P_0 \cdot (e^{K_g})^t\end{aligned}$$

Si $e^{K_g} = 1 + r \rightarrow P_f = P_0 \cdot (1 + r)^t$

- Obtención de K_g (o r) a través de registros de población:

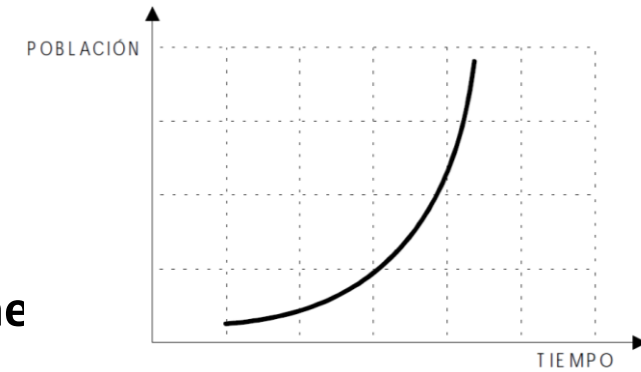
$$\begin{aligned}K_g &= (\ln P_1 - \ln P_2) / \Delta t \\ r &= (P_1 / P_2)^{1/\Delta t} - 1\end{aligned}$$

P : población
 t : período de tiempo
 K_g : tasa de crecimiento geométrico
 P_0 : población actual
 P_f : población futura
 r : tasa de crecimiento anual acumulativo (incremento anual de población en tanto por 1)

El método geométrico da crecimientos rápidos (**exponenciales**) → sólo válido para poblaciones en una dinámica de crecimiento con grandes posibilidades de desarrollo y horizontes libres

2.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA POBLACIÓN

- Método de las **Normas para la Redacción de proyectos de Abastecimiento y Sane Poblaciones (MOPU)**



- Basado en el método **geométrico**, con un modo específico de obtener la tasa de crecimiento r :

$$\left. \begin{array}{l} \triangleright P_0 \\ \triangleright P_{10} \\ \triangleright P_{20} \\ \triangleright P_{50} \end{array} \right\} r_1 \left. \right\} r_2 \left. \right\} r_3$$

P_0 : población actual
 P_i : población hace i años
 r_i : tasa de crecimiento anual acumulativo

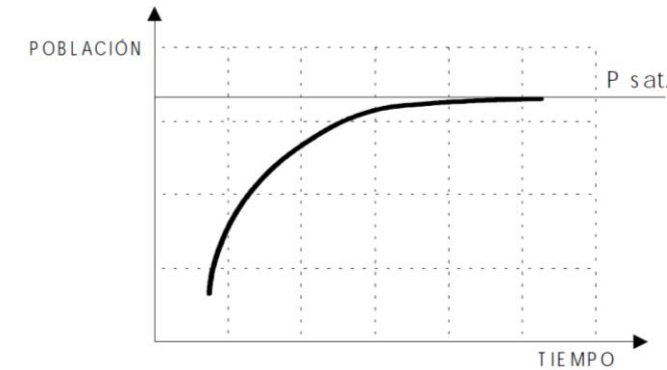
- Si no existe una gran dispersión de valores y $0\% < r_i < 3\% \rightarrow r = r_1$
- En caso contrario $\rightarrow r = (2 \cdot r_1 + r_2) / 3$

La elección de la tasa de crecimiento debe hacerse de forma crítica, especialmente si los valores de r_i obtenidos son dispersos y se observan distorsiones (proceso migratorio, cambio tendencia económica, etc.)

2.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA POBLACIÓN

- Método de la **tasa de crecimiento decreciente**

- Asume un techo al crecimiento (límite de saturación) → velocidad de crecimiento es función de la distancia al límite de saturación
- **Límite de saturación** → se estima cualitativamente según factores como: densidad de población, disponibilidad de terreno, situación económica



$$\frac{dP}{dt} = K_d \cdot (P_{sat} - P)$$
$$P_f = P_0 + (P_{sat} - P_0) \cdot (1 - e^{K_d \cdot t})$$

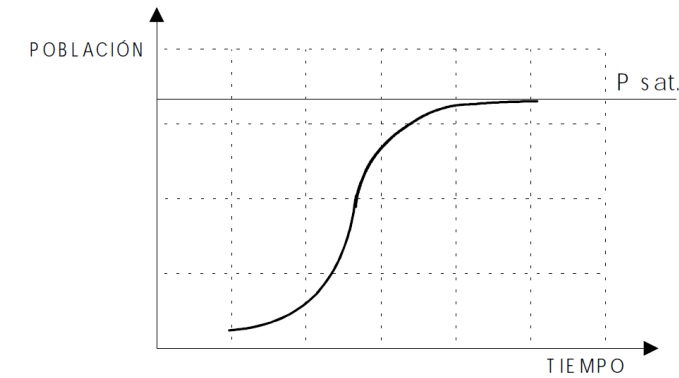
Cálculo de la tasa: $K_d = -\frac{1}{\Delta t} \cdot \ln \left(\frac{P_{sat} - P_1}{P_{sat} - P_0} \right)$

P : población
 t : período de tiempo
 K_d : tasa de crecimiento decreciente
 P_{sat} : población de saturación
 P_0 : población actual
 P_f : población futura
 Δt : periodo de tiempo entre P_1 y P_0

2.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA POBLACIÓN

- Método de la **curva logística** (curva en S)

- Simula un crecimiento muy variable, con periodos de crecimiento geométrico y otros con crecimiento decreciente



$$\frac{dP}{dt} = K_c \cdot P \cdot (P_{sat} - P)$$

$$P_f = \frac{P_{sat}}{1 + e^{a-b \cdot t}}$$

P_{sat} , a y b se calculan a través de 3 registros de población sucesivos:

$$P_{sat} = (2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)) / (P_0 \cdot P_2 - P_1^2)$$

$$a = \ln \left(\frac{P_{sat} - P_0}{P_0} \right)$$

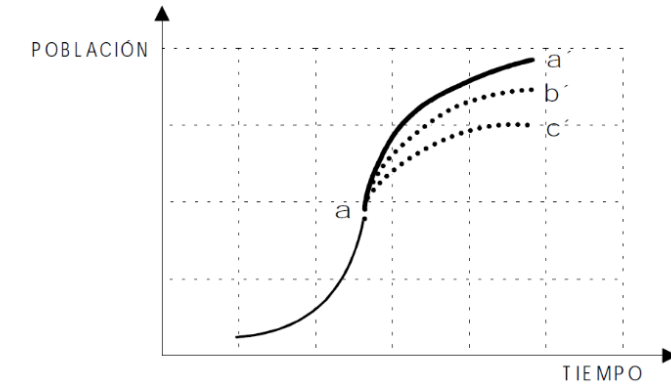
$$b = \frac{1}{\Delta t} \cdot \ln \left(\frac{P_0 \cdot (P_{sat} - P_1)}{P_1 \cdot (P_{sat} - P_0)} \right)$$

P : población
 t : período de tiempo
 K_c : tasa de crecimiento de la curva logística
 P_{sat} : población de saturación
 P_0 : población actual
 P_f : población futura
 a y b : constantes
 Δt : periodo de tiempo entre P_0 y P_1 , y entre P_1 y P_2

2.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA POBLACIÓN

- Método de **semejanza de poblaciones**

- Estimación de la evolución de una población basada en el análisis de la evolución de otras poblaciones semejantes
- El método suele aplicarse de forma gráfica
- Las poblaciones de referencia deben haber seguido un proceso de desarrollo similar, pero encontrarse en un momento más evolucionado
- Factores a considerar para elegir poblaciones de referencia:
 - Tamaño (en habitantes y en superficie)
 - Proximidad geográfica
 - Economía (actual y potencial)
 - Accesibilidad y sistemas de transporte
 - Planes urbanísticos



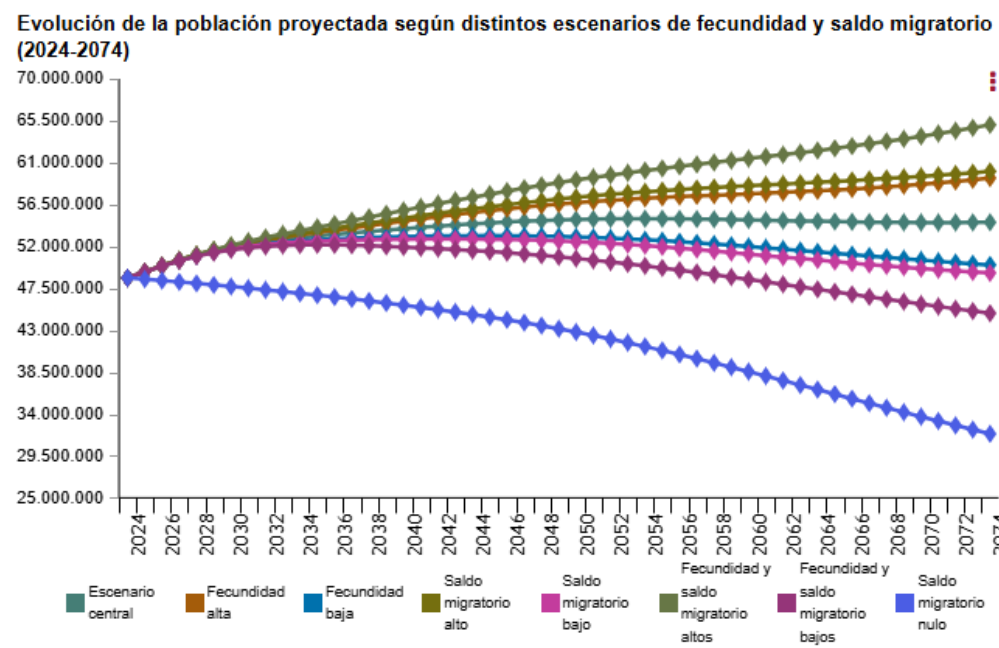
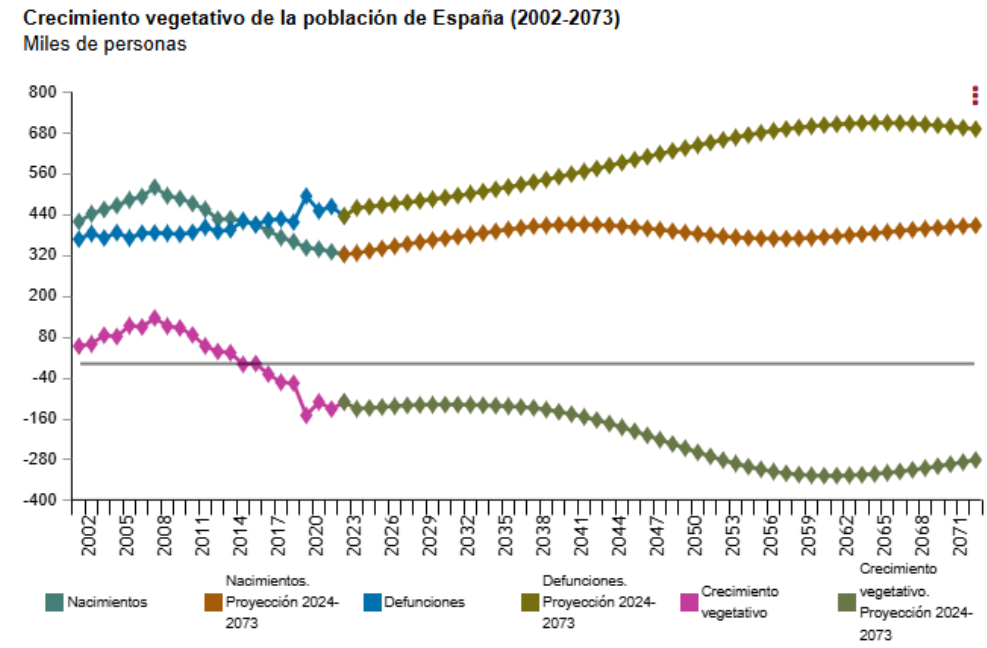
Poco recomendable para estimaciones de población para un proyecto de ingeniería

2.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA POBLACIÓN

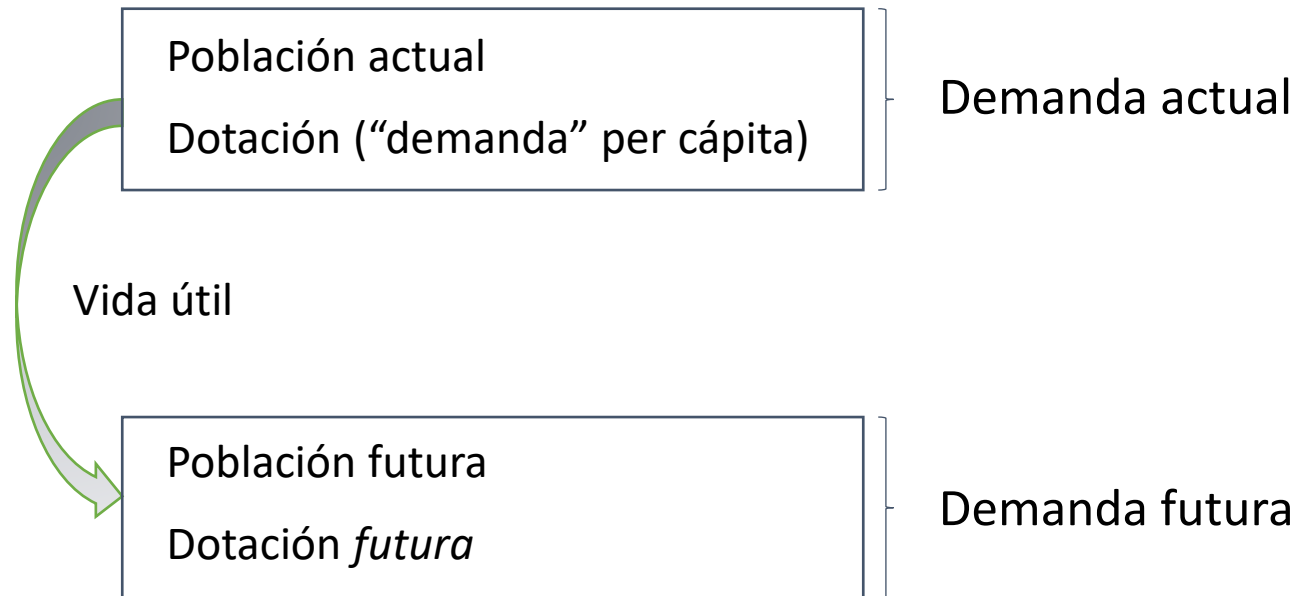
- Método del Instituto Nacional de Estadística (INE)
 - Proyecciones de población a corto y largo plazo (**10-50 años**) para España, por CC.AA. y por provincias
 - Hipótesis: se mantienen las tendencias demográficas de los últimos 10 años
 - Método de componentes demográficos clásicos, por observación retrospectiva: mortalidad (últimos 10 años), fecundidad (últimos 10 años) y movimientos migratorios (último año)

$$\Delta P = N - M \pm Mig$$

$$P_f = P_0 + N - M \pm Mig$$



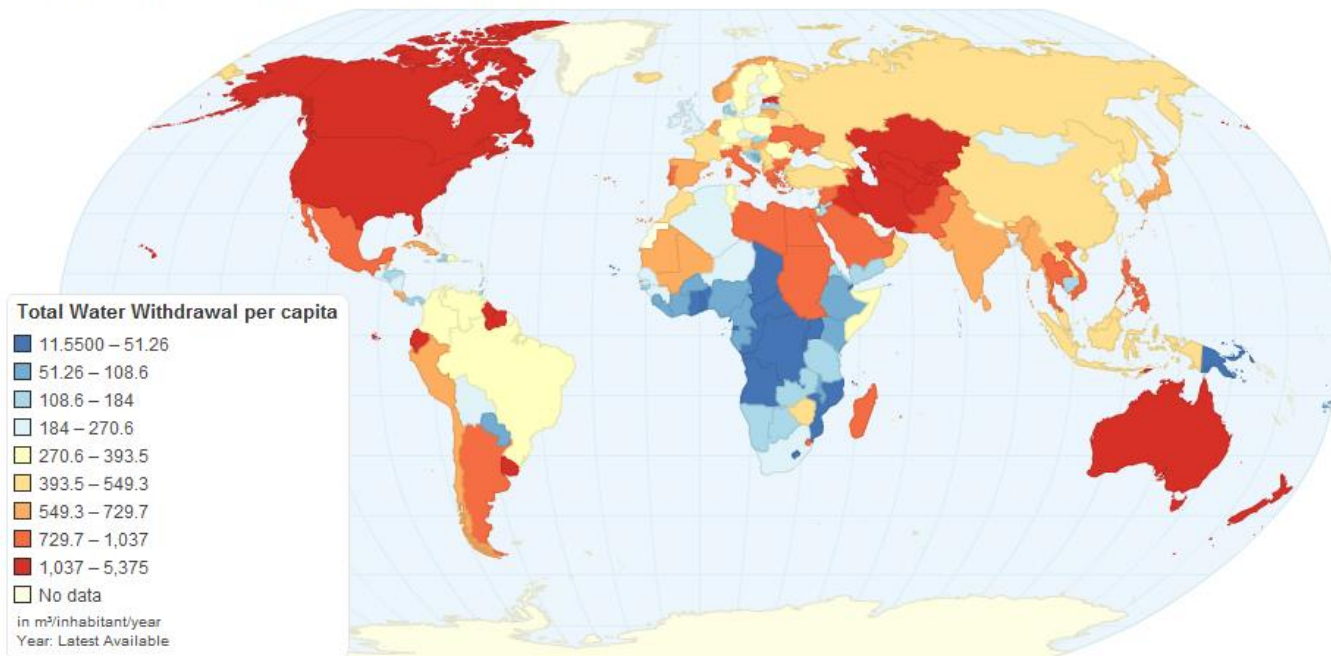
- Diseño de proyectos de Ing. Sanitaria y Ambiental → necesidad de predecir demandas actuales y futuras
 - Variables para el dimensionamiento:



3. DOTACIONES Y PERIODOS DE PROYECTO

- **Dotación:** consumo o uso unitario de un bien o servicio por parte de la población
 - P.e., abastecimiento de agua: 150-300 l/hab·d (litros por habitante y por día); saneamiento: 120-240 l/hab·d
 - Estimación de la **dotación futura** → gran incertidumbre, depende de muchos factores: nivel de desarrollo, nivel de vida, hábitos culturales, políticas de incentivo o de restricciones, tendencias urbanísticas
 - P.e., políticas de concienciación sobre el ahorro de agua, cambio del peso de los sectores de actividad (agricultura, industria, turismo...)

Utilización total de agua per cápita por país



Salvo que existan factores muy claros que puedan variar la dotación de forma considerable, se utiliza la dotación actual como dotación futura

- **Vida útil:** periodo de validez del proyecto
 - Depende de:

Factores políticos	Planificación de inversiones, prioridad en la solución de demandas sociales, etc.
---------------------------	---

Factores técnicos	Durabilidad o vida probable de las instalaciones, periodo de vigencia u obsolescencia, etc.
--------------------------	---



- Proyectos **acumulativos**: vertedero, humedal de tratamiento... → requieren prever el momento en el que dejan de ser efectivos, o planificar varias fases de desarrollo

Periodos de proyecto habituales en Ing. Sanitaria y Ambiental: **10-30 años**
> vida útil → > incertidumbre en las estimaciones de la evolución de la población y dotación → mayor riesgo de error en el dimensionamiento