

**NUCLIO DIGITAL SCHOOL**

**MÁSTER EN DATA ANALYTICS**

**PROYECTO “HEALTH ANALYTICS PARA EL ESTUDIO  
DE LA SALUD PÚBLICA”**

Autores:

Rocío Romero Sánchez  
Javier Piña Munera  
Guillermo González  
Javier Valls López  
Alberto Saavedra Aguilar

Tutor: Miguel Ángel Fernández

Fecha de presentación: 13 de noviembre de 2025



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS .....</b>	<b>4</b>
<b>3. DESARROLLO.....</b>	<b>11</b>
Analisis de Gasto Sanitatio (%del PIB) y renta per capita	12
Analisis de Covertura vacunal	14
Analisis de indicadores de pobreza	28
Análisis de causas de muerte	37
Análisis de tasa de homicidios	44
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>47</b>
<b>5. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>48</b>
<b>6. DASHBOARD .....</b>	<b>49</b>
<b>7. MODELO DE PREDICCIÓN DE ESPERANZA DE VIDA.....</b>	<b>51</b>
Resultados	53
Conclusiones del Modelo	57

## **1. INTRODUCCIÓN**

Análisis en países desarrollados y subdesarrollados de la relación entre la esperanza de vida, las principales causas de muerte, el gasto en salud, el PIB per cápita, tasas de vacunación, niveles de pobreza, y las tasas de homicidios y suicidios en diferentes países. Este proyecto busca entender cómo los factores socioeconómicos y de salud pública influyen en la calidad y expectativa de vida a nivel global. Además, los resultados del análisis se complementarán con la implementación de un modelo simple que ayude a entender los factores que impactan en la esperanza de vida de un país, y diseñar un dashboard para la WHO con los principales resultados del análisis.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

Todos los datos han sido obtenidos de Our World in Data. Our World in Data es un proyecto de publicación de datos online que publica de manera regular estadísticas y datos de investigación sobre el cambio global en una amplia gama de temas, unificando distintas fuentes. Está asociado con la Universidad de Oxford en Inglaterra y es apoyado por el Global Change Data Lab, una organización sin fines de lucro.

Contamos con 8 datasets para hacer nuestro análisis:

- Número anual de muertes por causa
- Esperanza de vida
- Cobertura global de vacunación
- Ratio de muertes según suicidios
- Ratio de muertes según homicidios
- PIB per capita
- Gasto en salud según el PIB
- Explorador de pobreza

1. **Número anual de muertes por causa.** El conjunto de datos “Annual number of deaths by cause” recopila información sobre el número anual de muertes en el mundo desagregado por causa. El dataset está compuesto por 6.840 registros y 34 variables, abarcando el período comprendido entre los años 1990 y 2019. Cada observación representa un país o región en un año determinado, mientras que las variables cuantitativas recogen el número absoluto de muertes atribuidas a diferentes causas.

Variables principales

- Entity: identifica la unidad geográfica de referencia, que puede corresponder tanto a un país individual como a una región agregada.
- Code: código ISO de tres letras correspondiente al país (cuando procede).
- Year: año del registro (con valores comprendidos entre 1990 y 2019).
- Variables de causa de muerte: las 31 columnas restantes recogen el número de fallecimientos por distintas causas, tales como:
  - *Meningitis*
  - *Alzheimer y otras demencias*
  - *Parkinson*
  - *Deficiencias nutricionales*
  - *Malaria*
  - *Trastornos por consumo de drogas o alcohol*
  - *VIH/SIDA*
  - *Tuberculosis*
  - *Enfermedades cardiovasculares*

- *Neoplasias (cánceres)*
- *Diabetes mellitus*
- *Trastornos respiratorios crónicos*, entre otras hasta un total de 31 categorías de causa.

## Clasificación de entidades

En la variable Entity se identifican dos tipos de unidades geográficas:

- Países individuales (217 entidades), como por ejemplo España, Afganistán o Canadá.
- Regiones agregadas (11 entidades), que agrupan varios países o zonas geográficas, tales como *World*, *High-income countries*, *Sub-Saharan Africa* o *South Asia*.

Consideraciones generales. Este conjunto de datos constituye una fuente de información relevante para el análisis de la mortalidad global y su evolución a lo largo del tiempo. Su estructura permite estudiar las variaciones temporales y espaciales en las causas de muerte, así como establecer comparaciones entre países y regiones de diferentes niveles de desarrollo. Además, ofrece la posibilidad de relacionar estas tendencias con indicadores socioeconómicos, sanitarios o demográficos, lo que lo convierte en una herramienta útil para la investigación en salud pública y desarrollo internacional.

**2. Esperanza de vida.** El conjunto de datos “Life Expectancy” recopila información sobre la esperanza de vida al nacer a lo largo de diferentes períodos históricos y para la mayoría de los países del mundo. Está compuesto por 20.755 registros y 4 variables, abarcando un extenso periodo que va desde el año 1543 hasta 2021. Cada observación representa la esperanza de vida media al nacer en un país o región durante un año determinado, considerando ambos sexos.

Variables principales

- Entity: identifica la unidad geográfica correspondiente (país o región).
- Code: código ISO de tres letras para los países (cuando aplica).
- Year: año del registro (rango entre 1543 y 2021).
- Period life expectancy at birth - Sex: all - Age: 0: valor de la esperanza de vida al nacer expresado en años, calculado para ambos sexos y todas las edades.

## Tipos de entidades

En la variable Entity se incluyen países individuales (250 entidades) y regiones agregadas (11 entidades), entre ellas *World*, *Europe*, *Sub-Saharan Africa*, *Low-income countries* y *High-income countries*.

Consideraciones generales. Este conjunto de datos ofrece una visión histórica y comparativa de la evolución de la esperanza de vida en el mundo, permitiendo analizar los avances en salud pública, desarrollo económico y condiciones de vida. Su cobertura temporal excepcionalmente amplia (casi cinco siglos) posibilita la identificación de tendencias a largo plazo y el impacto de acontecimientos históricos como epidemias, guerras o transformaciones socioeconómicas.

**3. Cobertura global de vacunación.** El conjunto de datos “Global Vaccination Coverage” recoge información sobre la cobertura vacunal mundial en la población infantil menor de un año, desglosada por tipo de vacuna, país y año. Está compuesto por 7.897 registros y 14 variables, abarcando el periodo comprendido entre 1980 y 2021.

Cada observación corresponde a un país o región en un año determinado, e indica el porcentaje de niños y niñas de un año inmunizados frente a distintas enfermedades prevenibles.

## Variables principales

- Entity: identifica el país o región correspondiente a la observación.
- Code: código ISO del país (cuando aplica).
- Year: año del registro (rango entre 1980 y 2021).
- Variables de cobertura vacunal (% de niños de un año inmunizados):
  - BCG: vacuna contra la tuberculosis.
  - HepB3: tercera dosis de la vacuna contra la hepatitis B.
  - Hib3: tercera dosis de la vacuna contra *Haemophilus influenzae* tipo B.
  - IPV1: primera dosis de la vacuna antipoliomielítica inactivada.
  - MCV1: primera dosis de la vacuna antisarampionosa (sarampión).
  - PCV3: tercera dosis de la vacuna antineumocócica conjugada.
  - Pol3: tercera dosis de la vacuna antipoliomielítica oral.
  - RCV1: primera dosis de la vacuna contra la rubéola.
  - RotaC: serie completa de la vacuna contra el rotavirus.
  - YFV: vacuna contra la fiebre amarilla.
  - DTP3: tercera dosis de la vacuna contra difteria, tétanos y tos ferina.

## Tipos de entidades

En la variable Entity se incluyen tanto países individuales (195 entidades) como regiones agregadas (7 entidades), entre ellas *World*, *Sub-Saharan Africa*, *Low-income countries* y *High-income countries*.

## Valores ausentes

Se observa una presencia considerable de valores nulos, especialmente en vacunas introducidas más recientemente o con cobertura desigual entre países:

- YFV: 89,6 % de valores nulos.
- RotaC: 86,8 %.
- IPV1: 83,6 %.
- PCV3: 81,0 %.
- Hib3: 54,0 %.

En cambio, vacunas con mayor trayectoria global, como MCV1 (sarampión) o DTP3, presentan una cobertura más completa y menor proporción de datos faltantes.

Consideraciones generales. Este conjunto de datos permite analizar la evolución histórica de las tasas de inmunización infantil y comparar la cobertura vacunal entre países y regiones. Su rango

temporal amplio (1980–2021) ofrece una visión global de los avances y desigualdades en materia de vacunación, lo que resulta de especial relevancia para evaluar políticas de salud pública y su impacto en la reducción de la mortalidad infantil.

**4. Ratio de muertes según suicidios.** El conjunto de datos “Death rate from suicides (GHO)” presenta información sobre la tasa estandarizada de mortalidad por suicidio en distintos países y regiones del mundo. Está compuesto por 3.880 registros y 4 variables, abarcando el periodo comprendido entre los años 2000 y 2019.

Cada observación representa un país o región en un año determinado e indica la tasa de muertes por suicidio por cada 100.000 habitantes, ajustada por edad y sexo.

#### Variables principales

- Entity: identifica la unidad geográfica a la que corresponde el dato (país o región).
- Code: código ISO de tres letras correspondiente al país (cuando procede).
- Year: año del registro (rango entre 2000 y 2019).
- Age-standardized suicide rate - Sex: both sexes: tasa estandarizada de suicidios por cada 100.000 habitantes, considerando ambos sexos y todas las edades.

#### Tipos de entidades

En la variable Entity se distinguen dos tipos de unidades geográficas:

- Países individuales (189 entidades), como España, Brasil o Japón.
- Regiones agregadas (5 entidades), que agrupan varios países o zonas, entre ellas *World, High-income countries, Low-income countries, Sub-Saharan Africa y South Asia*.

**Consideraciones generales.** Este conjunto de datos constituye una fuente relevante para el estudio de los patrones de mortalidad asociados al suicidio a escala global. La estandarización por edad permite realizar comparaciones precisas entre países y regiones con diferentes estructuras demográficas, facilitando el análisis de tendencias temporales, diferencias por nivel de renta y la identificación de regiones con mayores tasas de suicidio.

**5. Ratio de muertes según homicidios.** El conjunto de datos “Homicide rate (UNODC)” recoge información sobre la tasa de homicidios a nivel mundial, expresada como el número de muertes por homicidio por cada 100.000 habitantes. Está compuesto por 4.204 registros y 4 variables, abarcando el periodo comprendido entre los años 1990 y 2021.

Cada observación corresponde a un país o región en un año determinado, e indica la tasa estandarizada de homicidios para ambos sexos y todas las edades, según los registros de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC).

#### Variables principales

- Entity: identifica la unidad geográfica (país o región).
- Code: código ISO de tres letras correspondiente al país (cuando aplica).
- Year: año del registro (rango entre 1990 y 2021).

- Homicide rate per 100,000 population - Both sexes - All ages: tasa de homicidios por cada 100.000 habitantes, considerando ambos sexos y todas las edades.

#### Tipos de entidades

En la variable Entity se diferencian dos tipos de unidades geográficas:

- Países individuales (208 entidades), como España, México, Sudáfrica o Japón.
- Regiones agregadas (1 entidad), correspondiente a la categoría *World*, que representa el promedio mundial de homicidios.

Consideraciones generales. Este conjunto de datos permite analizar la evolución temporal y las diferencias geográficas en las tasas de homicidio, constituyendo una herramienta fundamental para el estudio de la violencia y la seguridad pública a nivel global. Su rango temporal de más de tres décadas (1990–2021) posibilita identificar tendencias y evaluar el impacto de las políticas de prevención y control del delito en diferentes regiones del mundo. Además, su estructura comparable con otros indicadores de mortalidad —como los asociados al suicidio o las causas de muerte— facilita su integración en análisis multivariados sobre salud pública, violencia y desarrollo socioeconómico.

**6. PIB per capita.** El indicador “PIB per capita” (Producto Interior Bruto per cápita) mide el valor total de los bienes y servicios producidos en un país durante un año, dividido entre su población, y representa la producción económica promedio por habitante. Aunque a menudo se asocia con el nivel de bienestar, difiere de la renta per cápita, que refleja los ingresos medios reales de los ciudadanos y se ve más directamente afectada por impuestos, transferencias y desigualdades en la distribución del ingreso. El conjunto de datos “GDP per capita (Penn World Table)” proporciona información sobre la evolución del producto interior bruto (PIB) per cápita de diferentes países a lo largo del tiempo, expresado en términos ajustados por paridad de poder adquisitivo (PPA). Está compuesto por 10.108 registros y 4 variables, abarcando el periodo comprendido entre los años 1950 y 2019.

Cada observación representa el valor del PIB per cápita de un país en un año concreto, permitiendo analizar el crecimiento económico comparativo entre naciones y su evolución a largo plazo.

#### Variables principales

- Entity: identifica la unidad geográfica correspondiente (país o región).
- Code: código ISO de tres letras que identifica el país (cuando procede).
- Year: año del registro (rango entre 1950 y 2019).
- GDP per capita (output, multiple price benchmarks): valor del PIB per cápita ajustado por PPA, expresado en dólares internacionales constantes.

#### Tipos de entidades

La variable Entity incluye únicamente países individuales (182 entidades), sin presencia de regiones agregadas en este conjunto de datos.

#### Consideraciones generales

Este conjunto de datos constituye una fuente fundamental para el estudio del desarrollo económico y la comparación del bienestar material entre países. Su amplio rango temporal (1950–2019) permite analizar tendencias de crecimiento, identificar períodos de crisis o expansión, y establecer relaciones con otros indicadores como la esperanza de vida, la cobertura vacunal o las tasas de mortalidad. Además, la metodología de la Penn World Table garantiza la comparabilidad internacional de los datos al emplear ajustes por diferencias en los niveles de precios entre países.

**7. Gasto en salud según el PIB.** El indicador “Health expenditure (% of GDP)” representa el porcentaje del Producto Interior Bruto que un país destina al gasto sanitario total, incluyendo tanto el gasto público como el privado. Este valor refleja la prioridad económica otorgada a la salud dentro del conjunto de la economía nacional y permite comparar la eficiencia y el nivel de inversión en los sistemas sanitarios entre países. Un mayor gasto no siempre se traduce en mejores resultados en salud, por lo que su análisis debe realizarse junto con indicadores como la esperanza de vida o las tasas de mortalidad para evaluar la relación entre inversión y resultados en salud pública. El conjunto de datos “Public healthcare spending share of GDP” recoge información sobre la proporción del gasto sanitario público respecto al producto interior bruto (PIB) en diferentes países y regiones del mundo. Está compuesto por 4.014 registros y 4 variables, abarcando el periodo comprendido entre los años 2000 y 2019.

Cada observación representa el porcentaje del PIB nacional destinado al gasto sanitario público en un año determinado, lo que permite analizar las diferencias en la financiación pública de los sistemas de salud entre países y su evolución temporal.

#### Variables principales

- Entity: identifica la unidad geográfica correspondiente (país o región).
- Code: código ISO de tres letras del país (cuando aplica).
- Year: año del registro (rango entre 2000 y 2019).
- Domestic general government health expenditure (% of GDP): porcentaje del PIB destinado al gasto sanitario público nacional.

#### Tipos de entidades

En la variable Entity se incluyen tanto países individuales (198 entidades) como regiones agregadas (6 entidades), entre las que se encuentran *World, High-income countries, Low-income countries, Sub-Saharan Africa, East Asia & Pacific y Latin America & Caribbean*.

Consideraciones generales. Este conjunto de datos constituye una fuente relevante para el análisis comparativo del gasto sanitario público y su relación con otros indicadores de salud y desarrollo, como la esperanza de vida o las tasas de mortalidad. Su cobertura temporal de dos décadas (2000–2019) permite identificar tendencias en la inversión en salud pública, evidenciando las diferencias estructurales entre países de distintos niveles de renta y regiones del mundo.

**8. Explorador de pobreza.** El conjunto de datos “Poverty Explorer” recopila información detallada sobre los niveles de pobreza, desigualdad y distribución del ingreso a nivel mundial. Está compuesto por 2.602 registros y 109 variables, abarcando el periodo comprendido entre los años 1963 y 2022.

Cada observación corresponde a un país o región en un año determinado, e incluye una amplia gama de indicadores sobre proporciones de población bajo distintos umbrales de pobreza, ingresos medios y medianos, índices de desigualdad, distribución por deciles y brechas de pobreza.

### Variables principales

El conjunto de datos contiene un elevado número de variables, entre las que destacan:

- Country: identifica el país o región analizada.
- Year: año del registro (rango entre 1963 y 2022).
- Indicadores de pobreza internacional: proporción y número de personas que viven por debajo de diferentes umbrales de ingreso diario, tales como 1 \$, 2,15 \$, 3,65 \$, 6,85 \$, 10 \$, 20 \$, 30 \$ y 40 \$.
- Indicadores de pobreza relativa: proporción y número de personas con ingresos por debajo del 40 %, 50 % o 60 % de la mediana nacional.
- Medidas de ingreso y desigualdad:
  - *Mean income or consumption per day* y *Median income or consumption per day* (ingreso o consumo medio y mediano por día).
  - *Gini index* (índice de desigualdad de Gini).
  - *Palma ratio* y *S80/S20 ratio* (indicadores de concentración de ingresos).
- Distribución por deciles: participación en el ingreso total de cada decil (*decile1\_share*, *decile2\_share*, ..., *decile10\_share*), así como los ingresos medios y umbrales de cada grupo (*decileX\_avg*, *decileX\_thr*).
- Brechas de pobreza y ratios de ingreso: indicadores que miden la distancia promedio entre los ingresos de las personas pobres y el umbral de pobreza correspondiente (*income\_gap\_ratio*, *poverty\_gap\_index*, *avg\_shortfall*, *total\_shortfall*).

### Tipos de entidades

En la variable Country se identifican dos tipos de unidades geográficas:

- Países individuales (190 entidades), como España, India o Brasil.
- Regiones agregadas (2 entidades), entre ellas *World* y *High-income countries*.

Consideraciones generales. Este conjunto de datos constituye una fuente de referencia para el análisis de la pobreza y la desigualdad económica a escala global. Su amplitud de variables permite abordar el fenómeno desde múltiples perspectivas —absoluta, relativa y distributiva—, ofreciendo una visión integral sobre la evolución del bienestar económico y las disparidades entre países. Además, su cobertura temporal (1963–2022) posibilita examinar tendencias históricas y contrastarlas con otros indicadores socioeconómicos, como el PIB per cápita, la esperanza de vida o la inversión en salud pública.

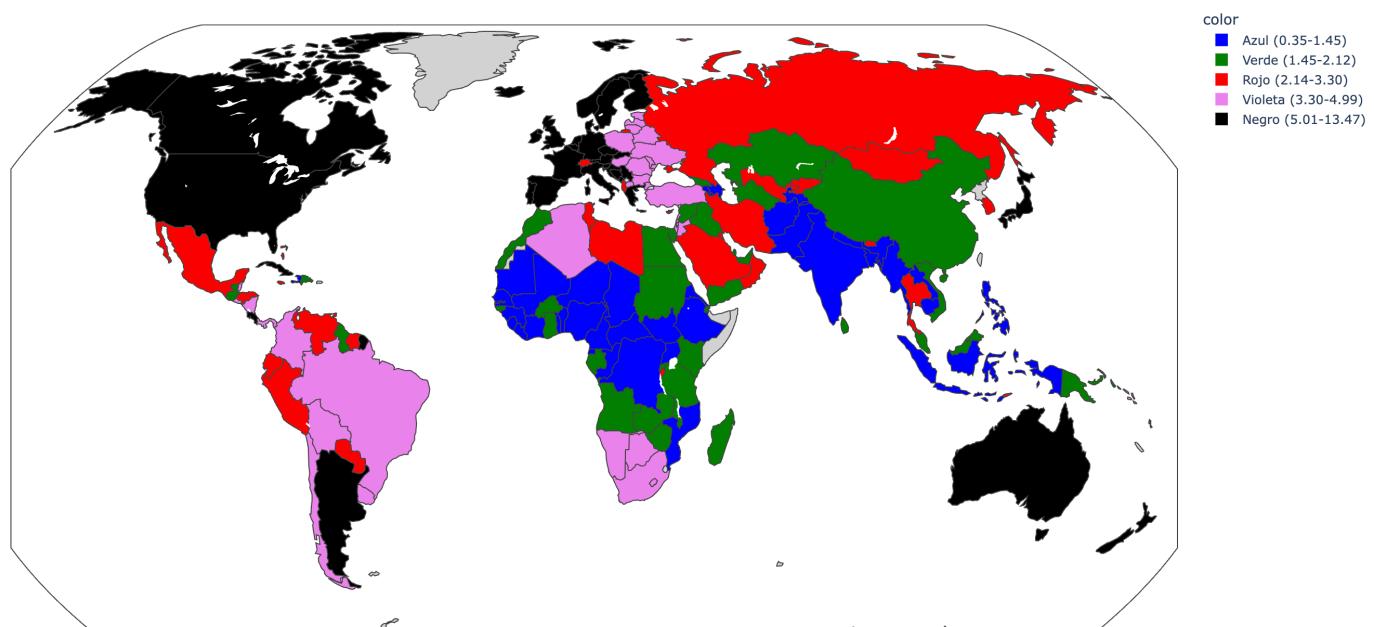
### 3. DESARROLLO

Una vez analizados todos los datos de todos los datasets que disponíamos, nos dimos cuenta que no teníamos datos de todos los años por igual, de manera que establecimos que solo íbamos a utilizar datos de años entre 2000 y 2019. Elegimos estos años porque todos los datasets cumplían con ese rango de años y analizar los últimos 20 años como han ido cambiando las variables para incluir en la esperanza de vida nos parecía suficiente.

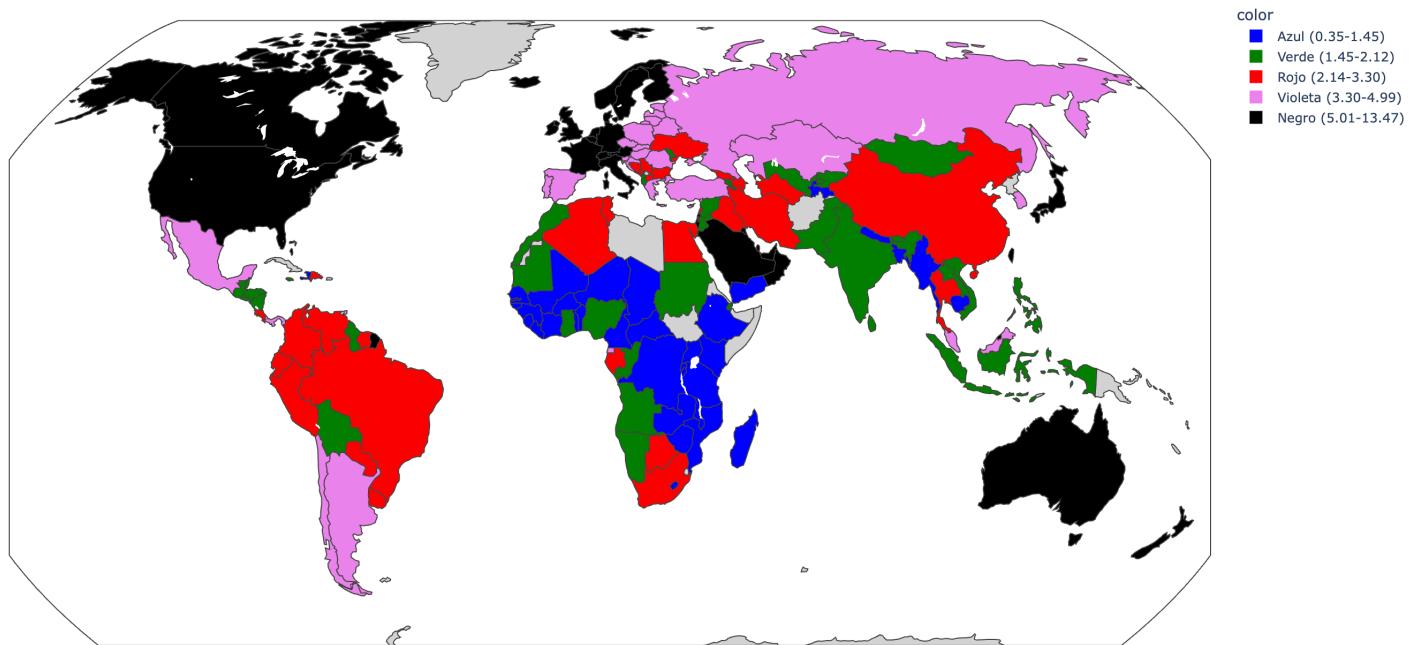
En la columna entity de todos los datasets había dos tipos de variables, los países y regiones. Para evitar un análisis poco profundo decidimos descartar los datos donde la columna entity fuese una región y no un país. A parte que las regiones en las que estaban divididas tienen muchas desigualdades socioeconómicas y nosotros deseábamos hacer un análisis más profundo con los datos por países.

Como hemos mencionado anteriormente no queríamos que los datos estuviesen influenciados por diferencias socioeconómicas de los distintos continentes por lo que pensamos en dos agrupaciones. Usamos los datos del PIB per capita y del gasto en salud según el PIB. En los dos casos hicimos una segmentación en 5 quintiles para obtener 5 grupos de trabajo para poder tener una clasificación de países con mayor y menor PIB per capita y gasto en salud según el PIB. Decidimos hacerlo con las dos variables en vez de solo con una, porque pensamos que porque un país tenga más PIB no quiere decir que invierta más en salud y viceversa. A continuación mostramos los gráficos de la repartición de los países según las dos agrupaciones, podemos observar que en todos los continentes hay al menos 3 quintiles diferentes.

Países distribuidos según su %PIB en gasto de salud



Países distribuidos según su PIB per capita



### Analisis de Gasto Sanitario (% del PIB) y renta per capita

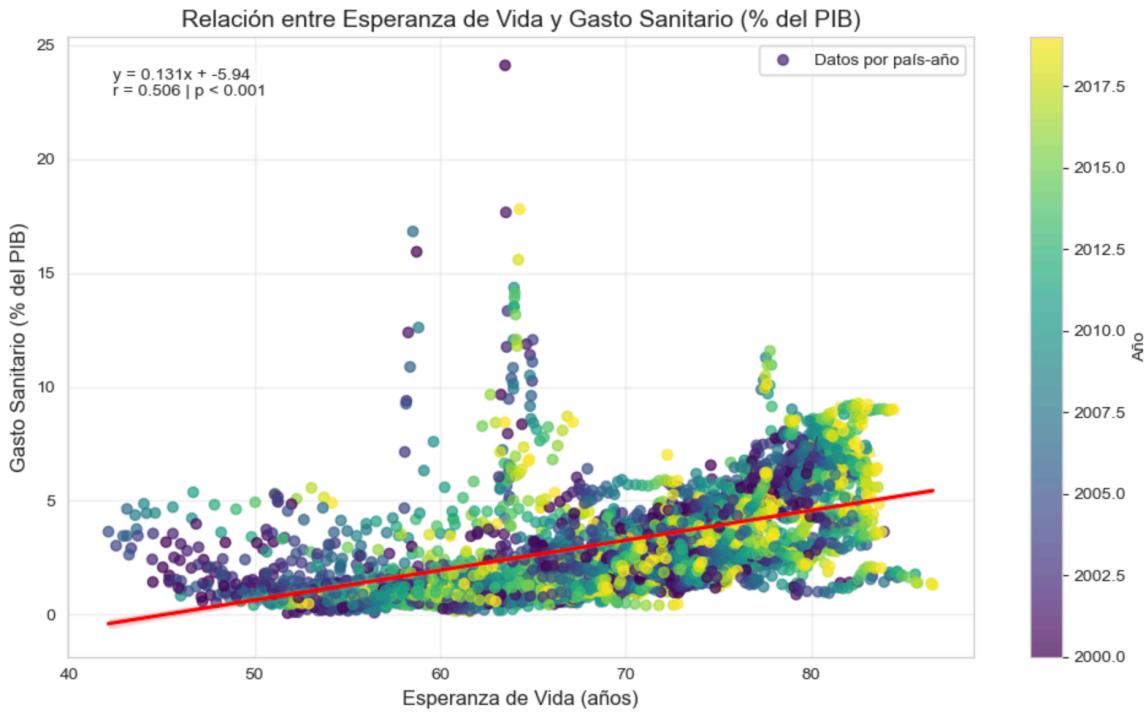
Tras la comparación de los dos mapas que reflejan nuestras dos agrupaciones (el de países según su GPD per cápita y el de países según su gasto sanitario como porcentaje del PIB) se analizaron un total de 170 países.

De ellos, 77 países (45,29 %) se encuentran en el mismo quintil en ambos indicadores, mientras que 93 países (54,71 %) pertenecen a quintiles distintos. Esto sugiere que, aunque existe una tendencia general a que los países con mayor renta dediquen una proporción más elevada de su PIB al gasto sanitario, la relación no es estrictamente lineal.

El análisis detallado muestra que los países situados en los quintiles más bajos de renta (Q1) presentan en su mayoría coincidencia con los quintiles más bajos de gasto sanitario, destacando casos como Bangladesh, Benín, Camboya, Camerún, Chad, Etiopía o Níger, que mantienen posiciones consistentes entre ambos indicadores.

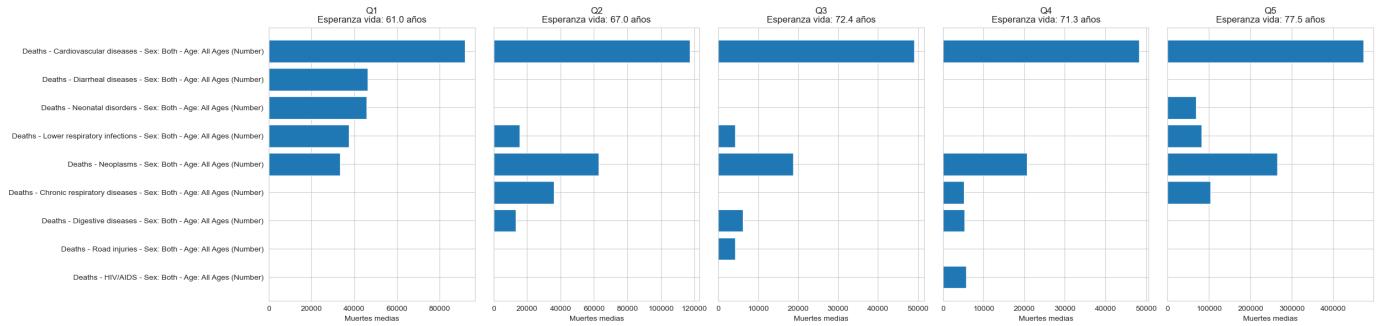
Por el contrario, varios países muestran desajustes significativos: por ejemplo, India, Nigeria o Indonesia presentan un gasto sanitario inferior al que cabría esperar según su nivel de renta, mientras que Brunéi o Singapur aparecen en quintiles de alta renta pero bajo gasto sanitario relativo.

En conjunto, estos resultados reflejan que el nivel económico de un país no siempre determina la proporción de recursos que destina a la salud, evidenciando la influencia de otros factores, como pueden ser la eficiencia del sistema sanitario, las políticas públicas o la estructura demográfica en la distribución del gasto sanitario global.



El análisis de la relación entre la esperanza de vida al nacer y el porcentaje del PIB destinado al gasto sanitario muestra una tendencia positiva evidente, representada tanto en la dispersión de los puntos como en la línea de regresión lineal ajustada. En términos generales, los países que dedican una mayor proporción de su producto interior bruto a la salud tienden a registrar niveles más altos de esperanza de vida.

El coeficiente de correlación de Pearson ( $r = 0.506$ ,  $p < 0.001$ ) confirma la existencia de una correlación positiva moderada y estadísticamente significativa entre ambas variables. Esto indica que, aunque el gasto sanitario contribuye de forma clara al aumento de la longevidad poblacional, **no es el único factor determinante**. La dispersión observada en el gráfico evidencia que existen países que logran una alta esperanza de vida con un gasto sanitario moderado (mayor eficiencia del sistema), mientras que otros presentan una inversión elevada sin obtener mejoras proporcionales en los resultados de salud. Entre los factores que pueden explicar estas diferencias se incluyen la eficiencia del gasto público, el acceso equitativo a la atención médica, el grado de prevención y educación sanitaria, así como los determinantes sociales y de estilo de vida. Por tanto, el gasto sanitario debe interpretarse como un componente esencial pero no exclusivo en la mejora de la salud poblacional.



## **Analisis de Cobertura vacunal**

Al segmentar el análisis por quintiles de gasto sanitario, se observan patrones epidemiológicos diferenciados. En los quintiles inferiores (Q1–Q2), caracterizados por menor inversión y menor esperanza de vida, predominan las enfermedades infecciosas y prevenibles, como la malaria, las infecciones respiratorias o las enfermedades diarreicas. En cambio, en los quintiles superiores (Q4–Q5), donde la esperanza de vida media supera los 78–80 años, las principales causas de muerte corresponden a enfermedades crónicas no transmisibles, tales como el Alzheimer, las cardiopatías isquémicas, los accidentes cerebrovasculares y los distintos tipos de cáncer.

Esta transición evidencia el fenómeno de transición epidemiológica, por el cual el desarrollo económico y el fortalecimiento de los sistemas sanitarios reducen la mortalidad por enfermedades infecciosas y aumentan la prevalencia de patologías asociadas al envejecimiento. En conjunto, los resultados confirman que el aumento del gasto sanitario se asocia a una mayor esperanza de vida y a un cambio estructural en el patrón de mortalidad, aunque la eficiencia del gasto y la organización del sistema sanitario siguen siendo variables críticas para alcanzar resultados sostenibles en salud pública.

Se analizó la relación entre el nivel económico de los países (GPD per cápita) y la cobertura de vacunación frente a las principales enfermedades prevenibles.

Los países fueron agrupados en cinco quintiles (Q1 a Q5) según su nivel de renta, de menor a mayor, con el objetivo de evaluar si las diferencias económicas se reflejan en la amplitud de los programas de inmunización y en la esperanza de vida media.

Los resultados muestran una tendencia positiva clara: a medida que aumenta la GPD per cápita, mejora la cobertura vacunal media. Los países del primer quintil (Q1) —los de menor ingreso— presentan coberturas alrededor del 70 – 80 % en la mayoría de las vacunas básicas, mientras que en el cuarto y quinto quintil (Q4 y Q5) la cobertura supera de forma consistente el 90 %.

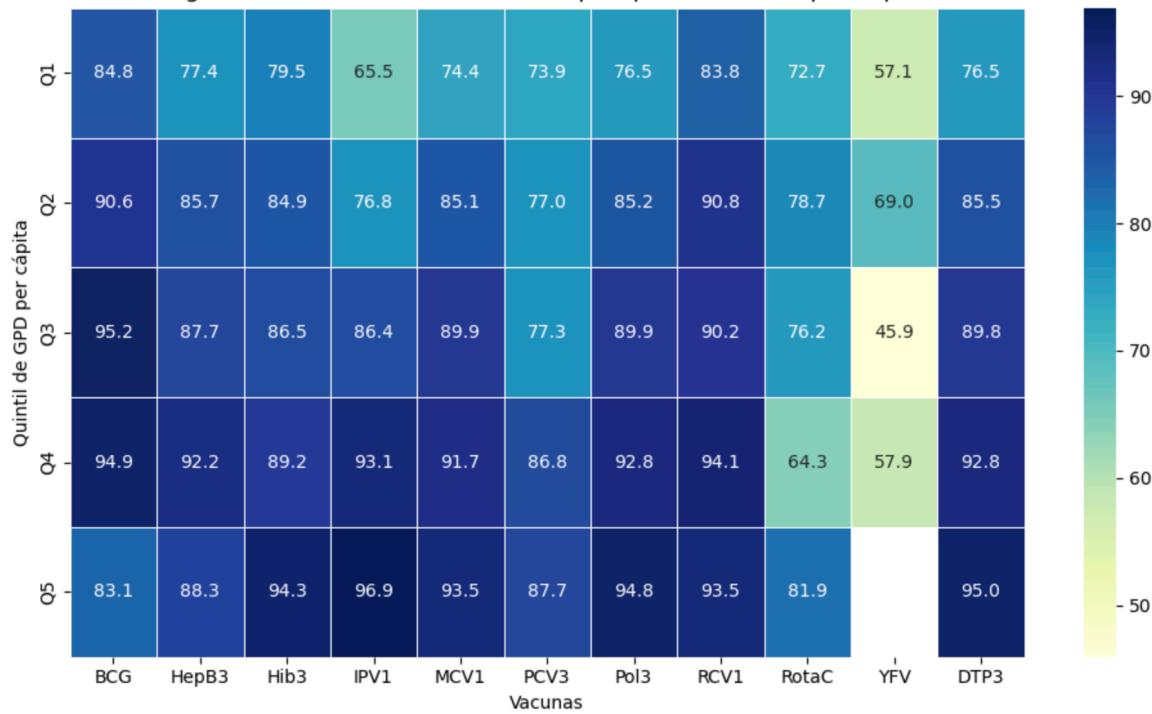
Por ejemplo, las vacunas DTP3, Polio (Pol3) y Sarampión (MCV1) alcanzan valores medios del 76 %-85 % en los quintiles bajos frente a más del 93 % en los quintiles altos. Del mismo modo, la inmunización frente a Hepatitis B (HepB3) y Haemophilus influenzae tipo B (Hib3) aumenta progresivamente desde el 77 % y 79 % en Q1 hasta más del 92 % y 94 % en Q4–Q5.

La única excepción apreciable se observa en la vacuna rotavirus (RotaC), cuya cobertura muestra mayor variabilidad entre quintiles, y en la fiebre amarilla (YFV), cuya distribución depende de factores geográficos y no exclusivamente económicos, con valores más bajos e irregulares ( $\approx 57 \%-69 \%$ ).

Paralelamente, la esperanza de vida media aumenta de 59,7 años en Q1 a 79,2 años en Q5.

En conjunto, estos resultados confirman la hipótesis inicial: los países con mayor renta per cápita presentan tasas de vacunación más altas y estables, mientras que los de menor ingreso mantienen niveles más bajos y desiguales de cobertura. La mejora progresiva observada a lo largo de los quintiles sugiere una relación directa entre la capacidad económica, la infraestructura sanitaria y el éxito de los programas de inmunización, lo que repercute positivamente en la longevidad poblacional.

Figura 4. Cobertura vacunal media por quintil de renta per cápita

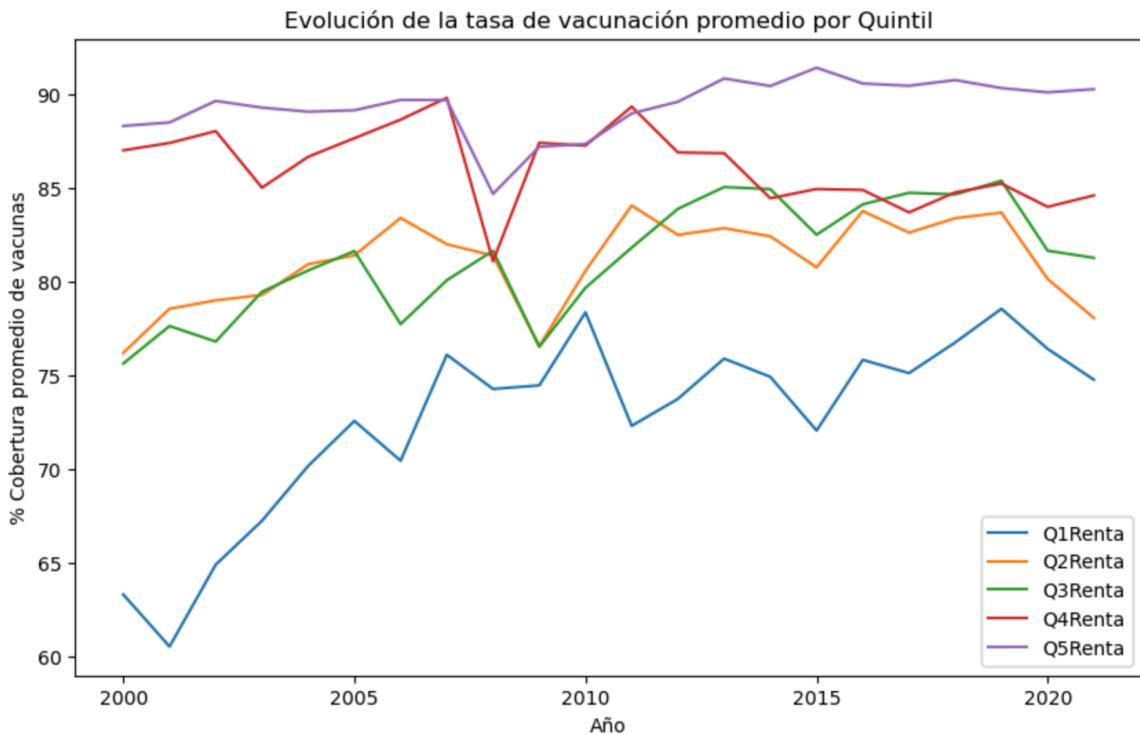


El mapa de calor refleja la relación positiva entre el nivel económico de los países y la cobertura vacunal promedio. Se observa un incremento progresivo de las tasas de inmunización desde los quintiles de renta más bajos (Q1–Q2) hasta los más altos (Q4–Q5).

En los países de menor renta (Q1), la cobertura se sitúa entre el 65 % y el 80 % para la mayoría de las vacunas, con especial vulnerabilidad en la poliomielitis inactivada (65,6 %) y la fiebre amarilla (57,1 %). En cambio, los países de mayor renta (Q4–Q5) alcanzan valores superiores al 90 % en casi todas las inmunizaciones básicas —hepatitis B, difteria, tétanos y tos ferina, sarampión, rubéola y polio—, evidenciando un sistema sanitario más sólido y una cobertura casi universal.

Las vacunas más recientes o con mayores exigencias logísticas, como rotavirus o fiebre amarilla, presentan menor homogeneidad entre quintiles, reflejando desigualdades en la infraestructura y acceso geográfico.

En conjunto, el gráfico confirma que la renta per cápita influye de manera directa en la capacidad de los países para garantizar la inmunización infantil, y que el fortalecimiento económico y sanitario se traduce en una mayor esperanza de vida, que pasa de 59,7 años en Q1 a 79,2 años en Q5.



Los quintiles altos muestran un crecimiento sostenido y niveles más altos de esperanza de vida. Los quintiles bajos, aunque mejoran con los años, lo hacen de forma más lenta y con valores más bajos. En todos los quintiles la cobertura de vacunas y la esperanza de vida tienden a aumentar con los años, aunque la brecha entre quintiles puede mantenerse o incluso ampliarse.

Vemos que todos los países presentan una tendencia similar pero sus curvas a veces se ven alteradas, en el caso del 2004 y a través de investigaciones, vemos que en 2004 debido a un cambio en la fuente estadística de la OMS se produjo la pequeña variación que se ve en las gráficas y para el quintil 1, vemos que la crisis del 2008 afectó significativamente, ya que la esperanza de vida se mantuvo estable y no presenta una tendencia al alza como en el resto de quintiles, lo cual nos puede indicar que las crisis afectó en mayor medida a los países que componen este quintil.

La mejora en la vacunación contribuye al aumento de la esperanza de vida, como es lógico. Las diferencias entre quintiles reflejan inequidades en acceso a salud. La brecha de vacunación se reduce con los años, mientras que la brecha de esperanza de vida persiste.

En cuanto a la evolución de la tasa de vacunación, observamos que hasta el año 2006 vemos una tendencia positiva de vacunación, pero entre 2008 y 2009 vemos una caída general bastante mas acusada en los países con más renta, esto podría ser por reducción de presupuesto, y por lo tanto hay menos vacunas por lo que, si la tasa de vacunación suele ser alta, se va a ver mas afectada por este suceso. A partir de aquí vemos que poco a poco vuelve a recuperarse.

Posteriormente se analizó la relación entre la cobertura de vacunación, la mortalidad por enfermedades prevenibles y la esperanza de vida, con el objetivo de evaluar en qué medida los programas de inmunización contribuyen a la transición epidemiológica y al aumento de la longevidad en diferentes contextos socioeconómicos.

Es importante señalar que, para garantizar consistencia estadística y comparabilidad, solo se incluyeron aquellas vacunas para las cuales se disponía de datos de mortalidad específicos asociados a la enfermedad correspondiente. Por tanto, vacunas sin una causa de muerte claramente

cuantificable en los registros globales (como poliomielitis en países donde está prácticamente erradicada, DTP cuando la mortalidad es mínima, o vacunas recientes sin series históricas largas) quedaron fuera de este análisis. Esto permitió centrarnos en vacunas con impacto directo y medible sobre la mortalidad, lo que refuerza la solidez de las conclusiones.

## 1. Tuberculosis → Vacuna BCG

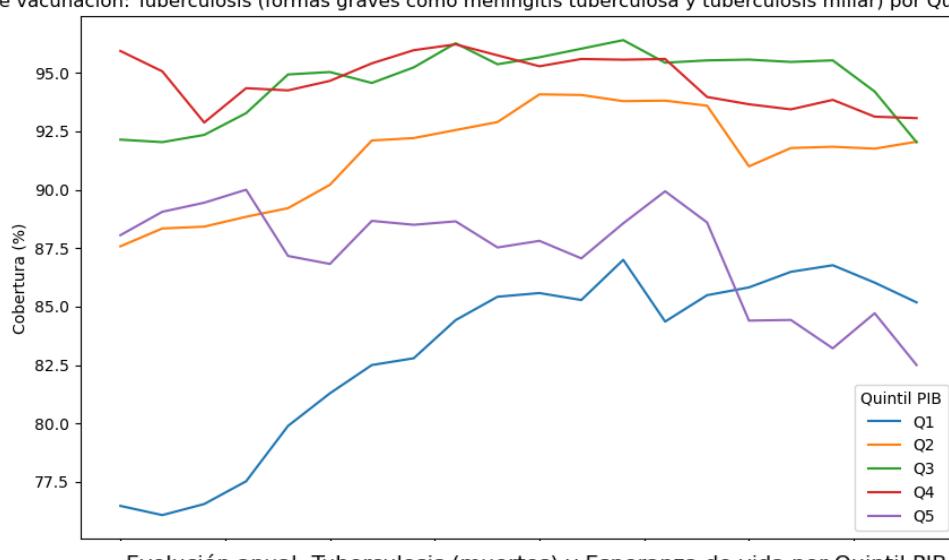
La cobertura de la vacuna BCG muestra una estratificación por quintiles de PIB. Mientras Q3, Q4 y Q5 mantienen coberturas superiores al 90%, los países en Q1 parten de valores cercanos al 76% en el año 2000, pero presentan una tendencia de incremento sostenido a lo largo del periodo. En paralelo, se observa una reducción clara de la mortalidad por tuberculosis en Q1 y Q2, especialmente a partir de 2005.

Al mismo tiempo, la esperanza de vida aumenta de forma constante en estos quintiles.

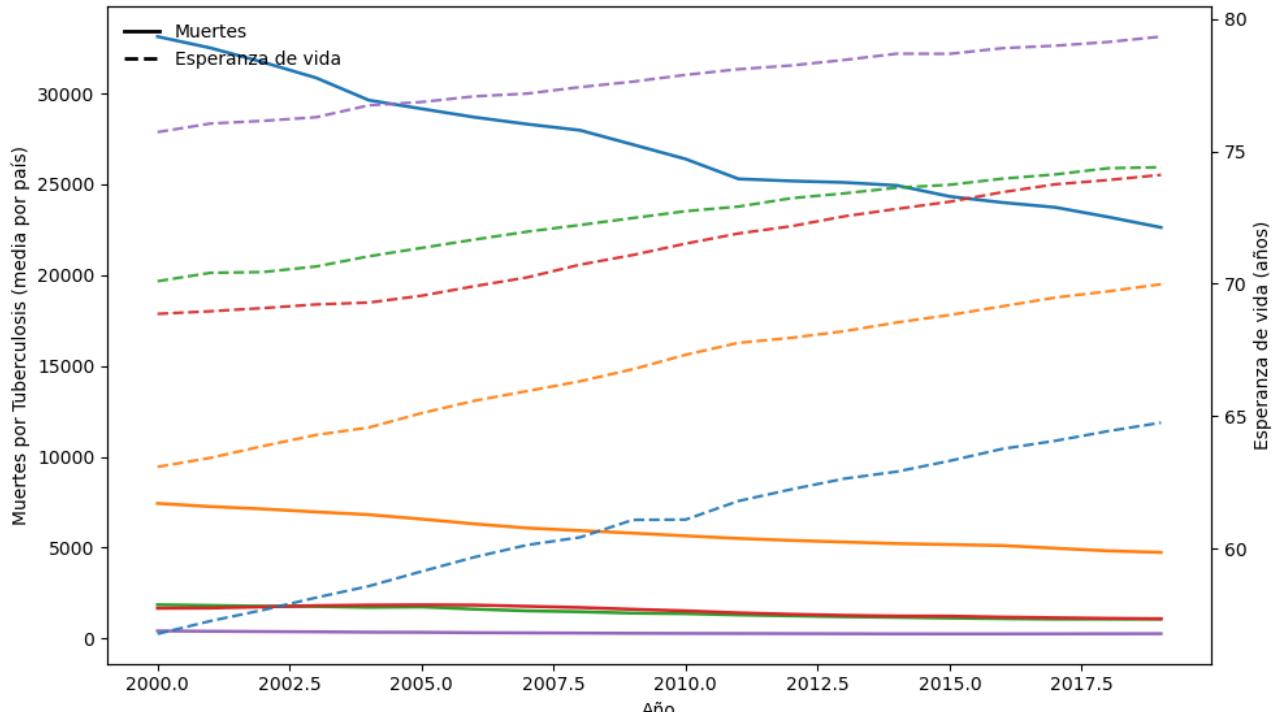
Las correlaciones obtenidas ( $r \approx -0.93$  en Q1 y  $r \approx -0.77$  en Q2) confirman que a mayor cobertura vacunal, menor mortalidad por tuberculosis.

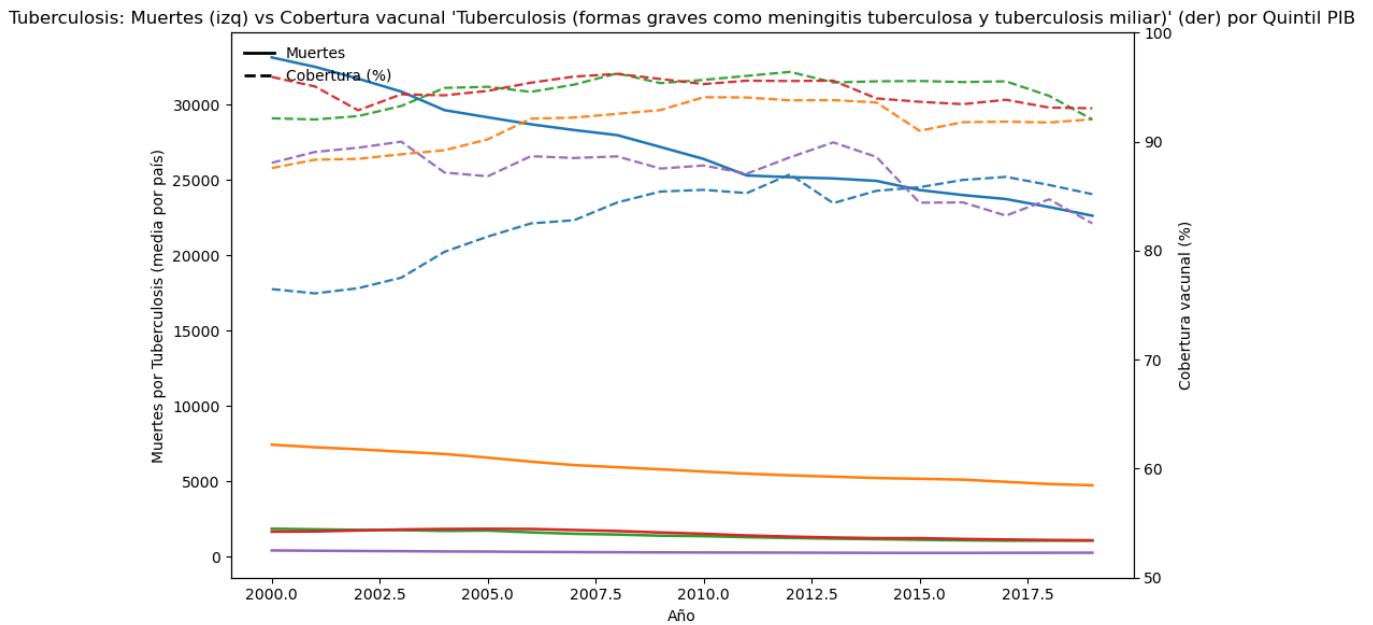
Este patrón coincide con la evidencia histórica de que la vacuna BCG reduce la incidencia y la gravedad de las formas graves de la enfermedad, contribuyendo a disminuir la mortalidad temprana.

Cobertura de vacunación: Tuberculosis (formas graves como meningitis tuberculosa y tuberculosis miliar) por Quintil PIB (2000–2019)



Evolución anual: Tuberculosis (muertes) y Esperanza de vida por Quintil PIB





## 2. Hepatitis B → Hepatitis aguda y cirrosis / enfermedades hepáticas

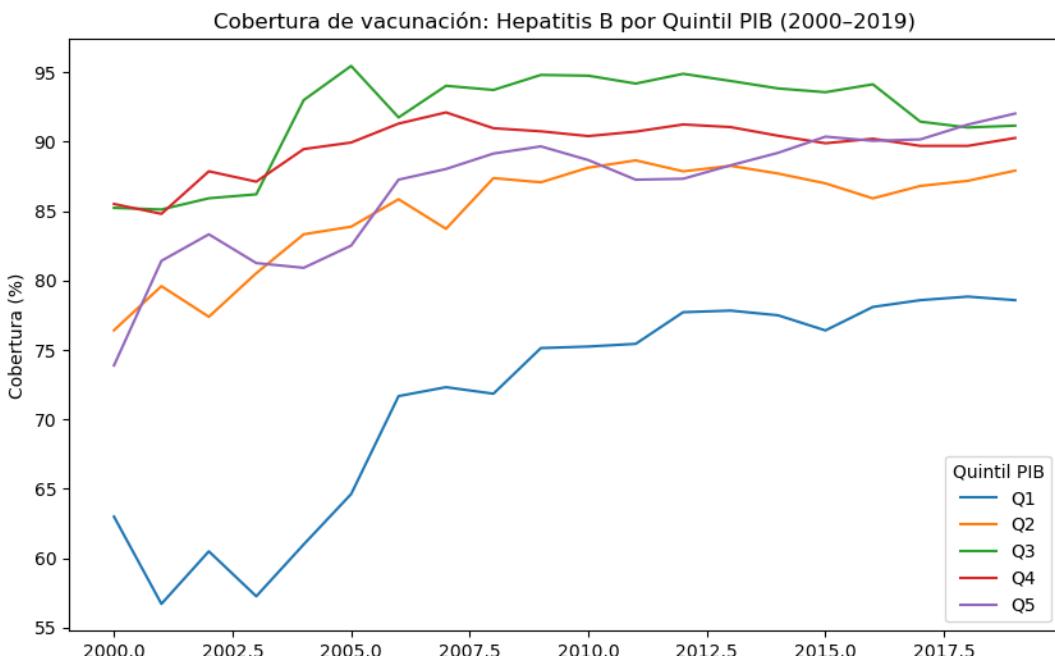
La cobertura de la vacuna contra la hepatitis B muestra también mejoras significativas en Q1 y Q2, aunque con valores más bajos que en quintiles superiores.

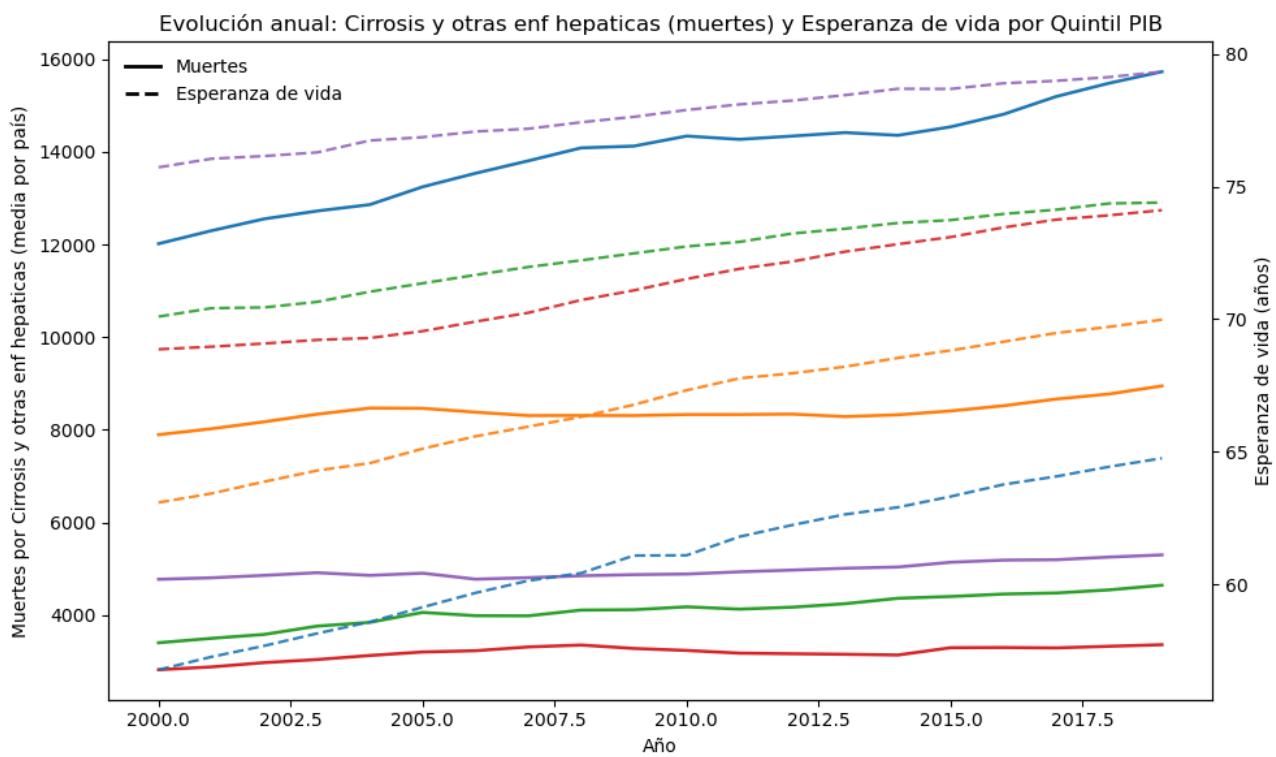
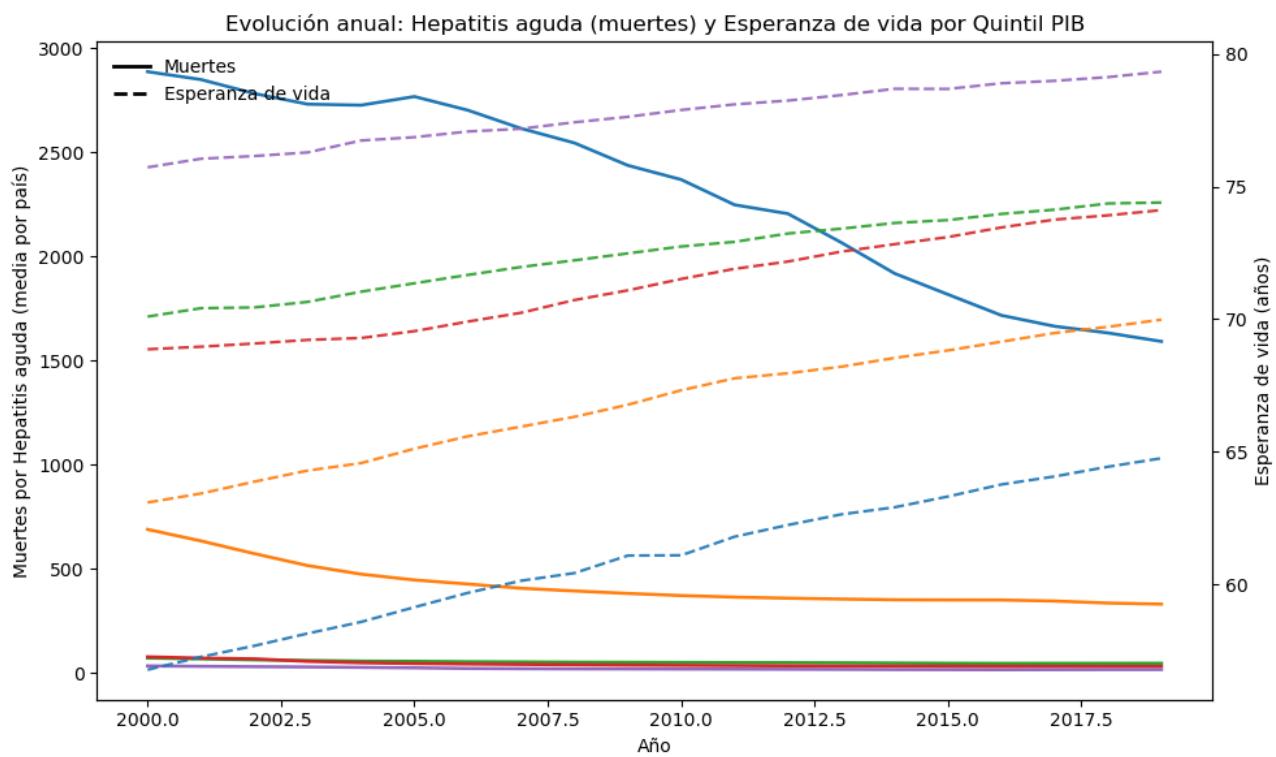
La mortalidad por hepatitis aguda disminuye de manera marcada en Q1, mientras que en Q3–Q5 la enfermedad presenta valores bajos desde el inicio del periodo.

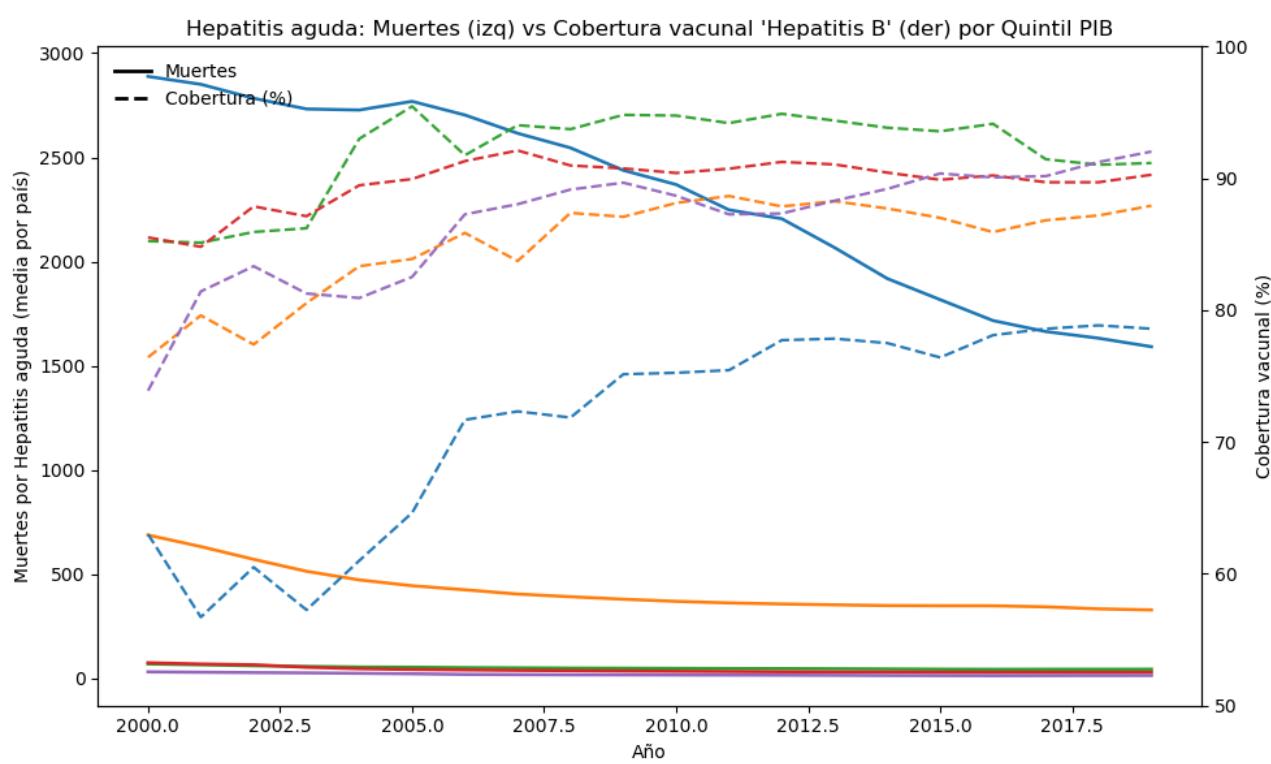
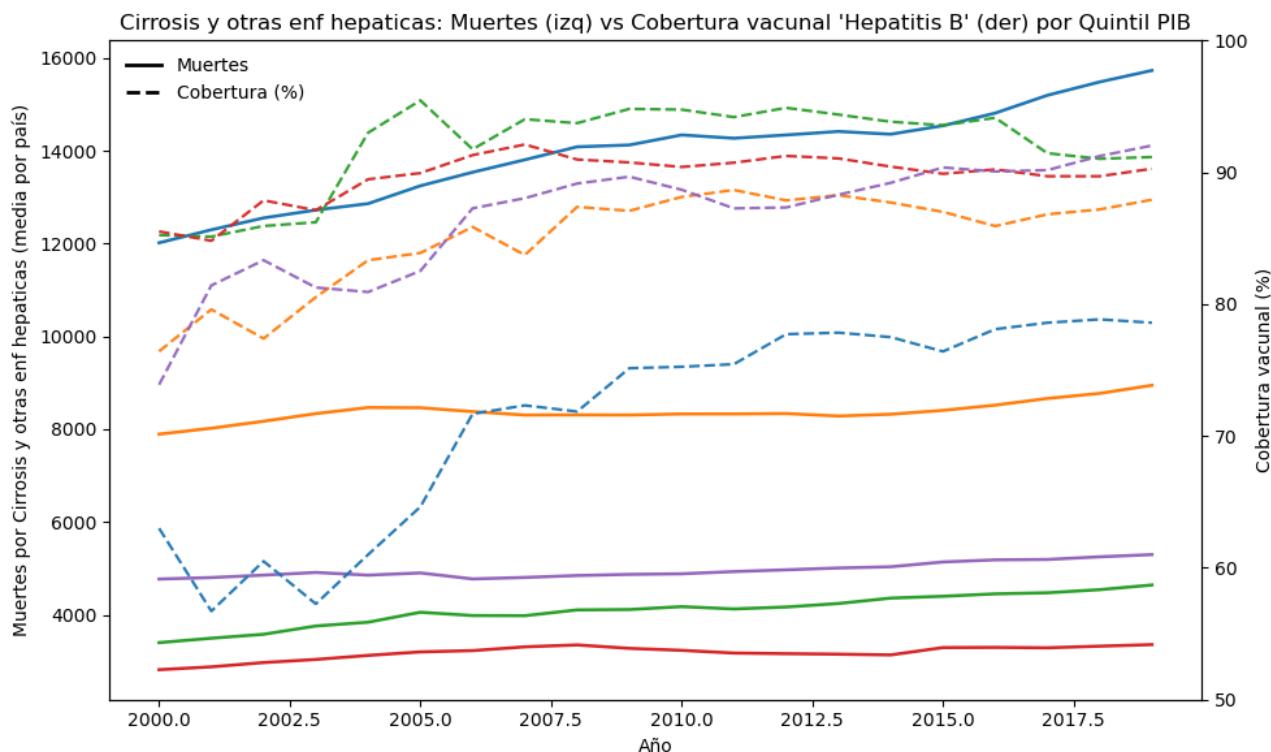
Asimismo, la hepatitis B se relaciona con la cirrosis hepática, una causa de muerte más tardía y asociada a la cronicidad de la infección.

La correlación entre cobertura vacunal y mortalidad por hepatitis aguda es fuertemente negativa en todos los quintiles ( $r \approx -0.83$  a  $-0.95$ ), mientras que en cirrosis la correlación es más moderada, reflejando la larga evolución clínica de la enfermedad.

En ambos casos, la vacunación contribuye a reducir la carga de enfermedad hepática y prolongar la esperanza de vida, especialmente en contextos con transmisión vertical o perinatal elevada.







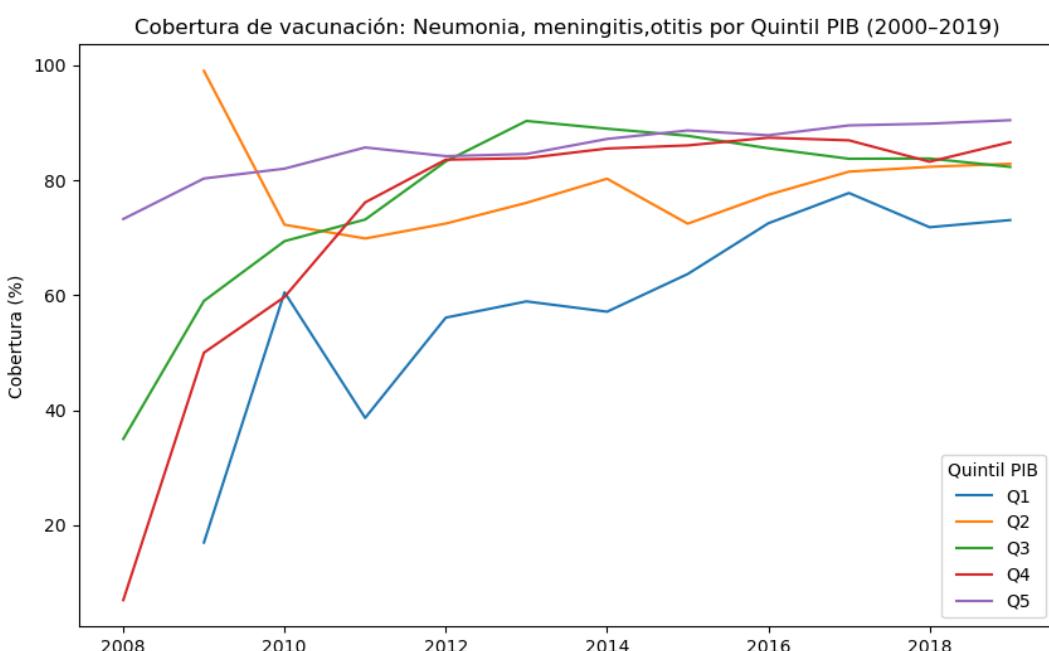
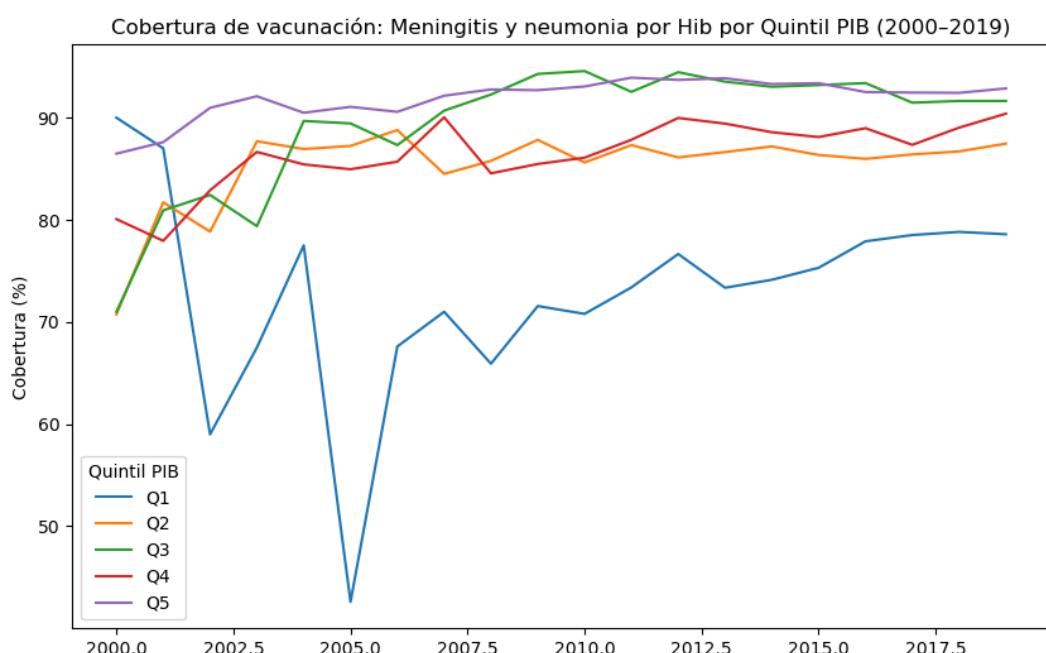
### 3. Meningitis y neumonía por Hib → Meningitis e infecciones respiratorias bajas

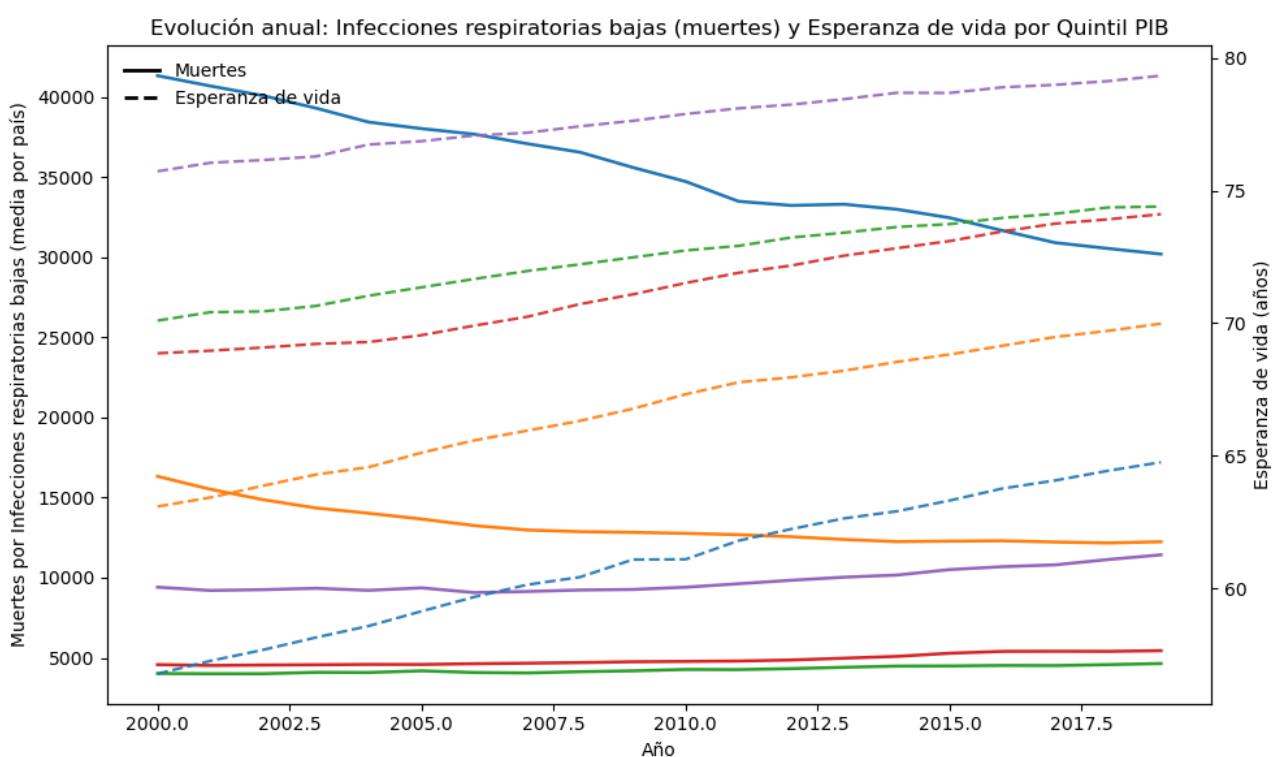
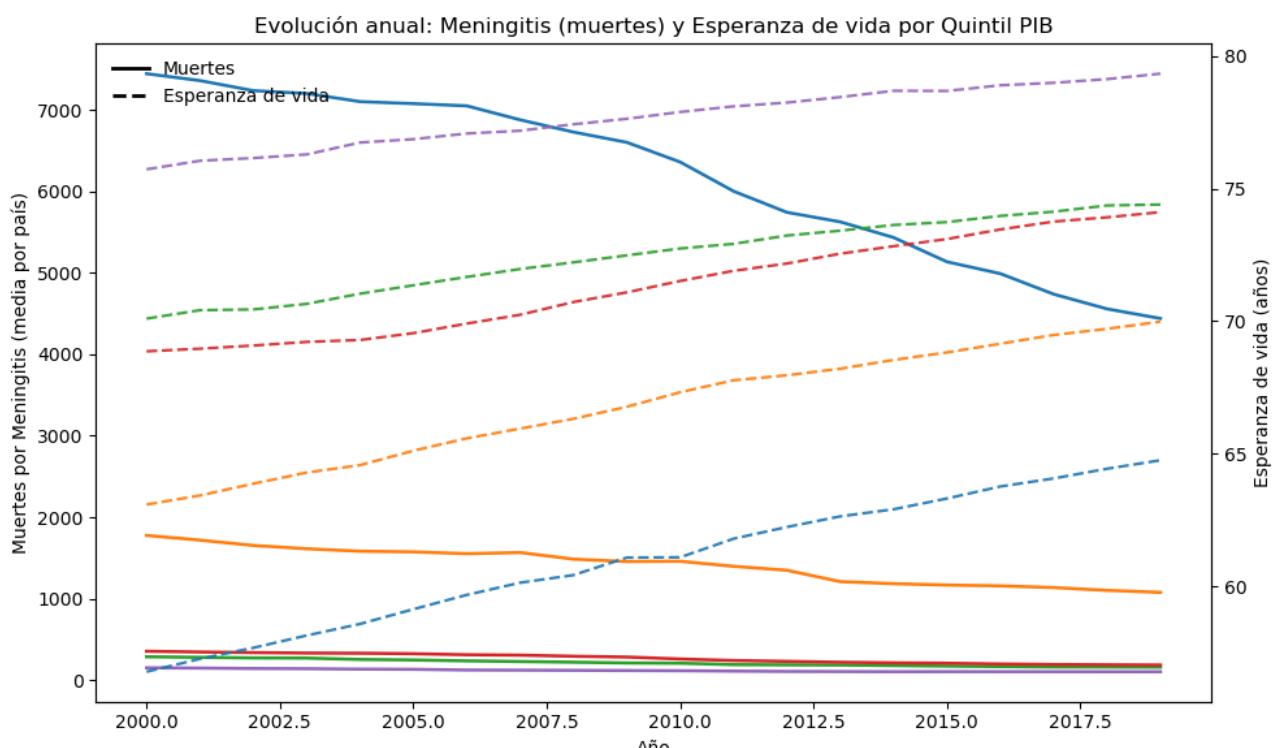
La vacuna Hib muestra uno de los patrones más reveladores del análisis.

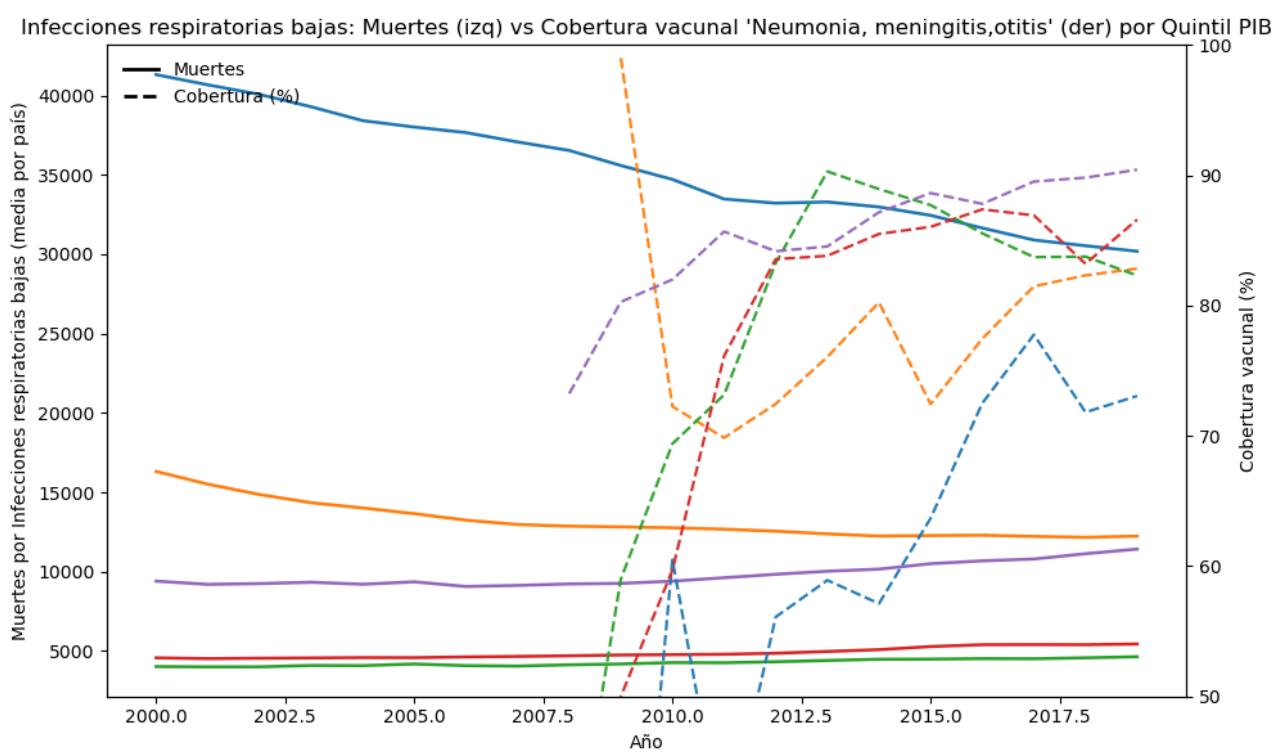
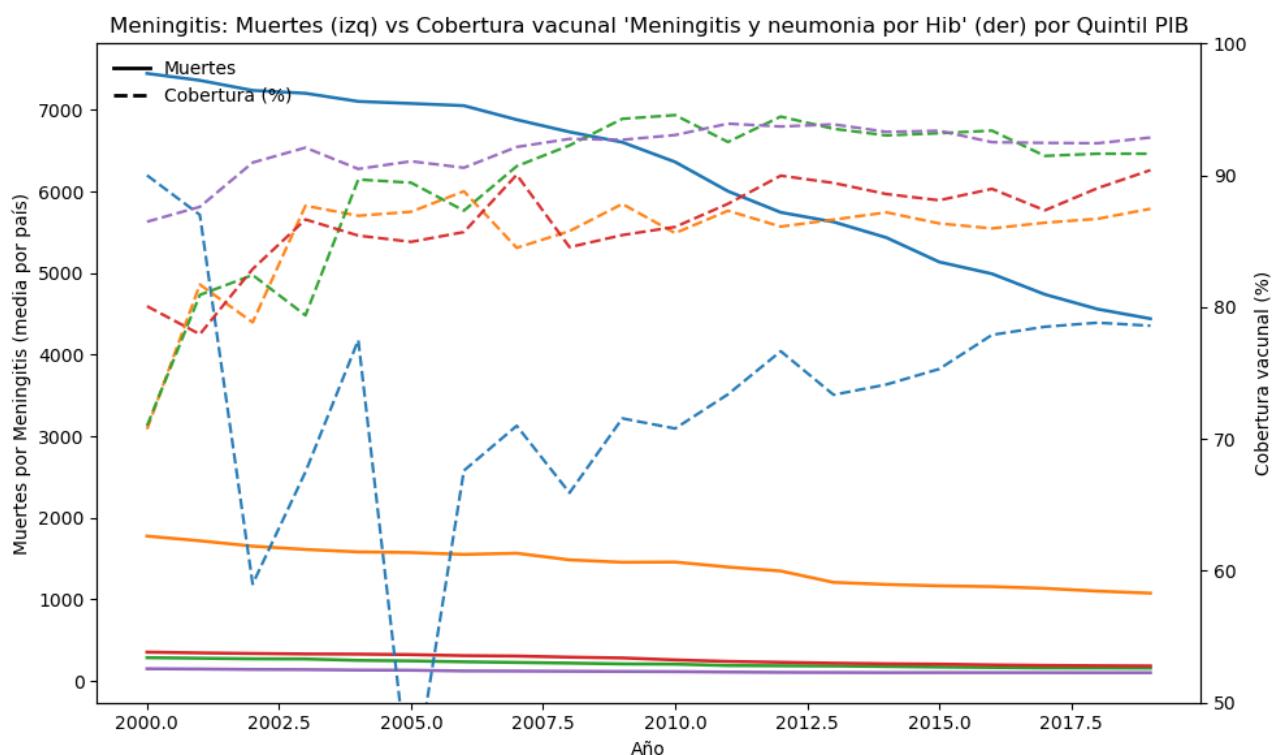
En Q1, la cobertura es inicialmente muy baja y altamente variable, lo que se refleja en tasas elevadas de mortalidad por meningitis durante los primeros años. A partir de la expansión gradual de la cobertura (especialmente después de 2005), la mortalidad por meningitis disminuye de forma consistente, coincidiendo con un aumento paralelo en la esperanza de vida.

En Q3–Q5, donde la cobertura es alta y estable desde el inicio, las muertes por meningitis y neumonía se mantienen en niveles bajos, confirmando la eficacia sostenida de la inmunización comunitaria.

La correlación entre cobertura de Hib y mortalidad por meningitis presenta valores entre -0.5 y -0.85, especialmente intensos en países de renta baja, donde la vacuna tiene un impacto más directo en la reducción de la mortalidad infantil.







#### 4. Rotavirus / Gastroenteritis → Diarrea

La vacunación frente a rotavirus muestra mayor variabilidad temporal dado que su adopción es más reciente y heterogénea.

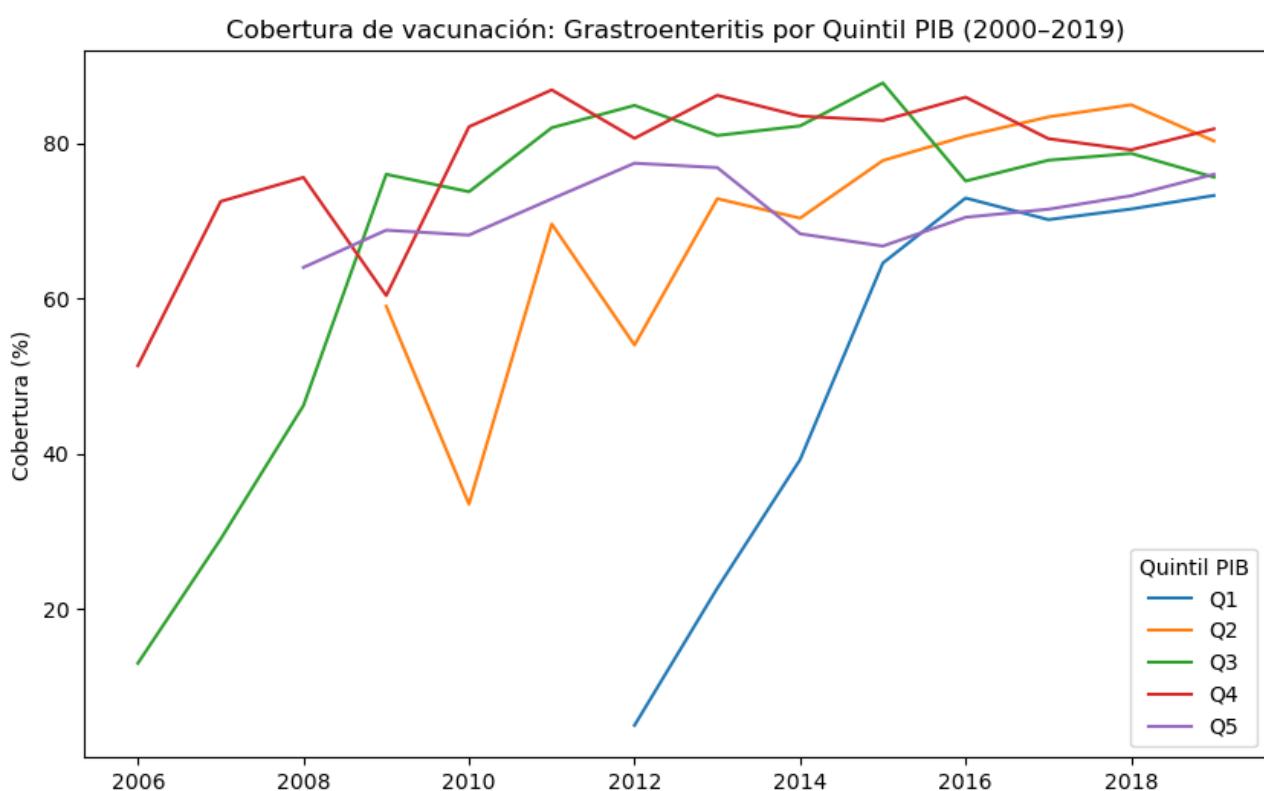
Sin embargo, cuando la cobertura aumenta (especialmente en Q1 y Q2 a partir de 2012), se observa una reducción clara de la mortalidad por diarrea en dichos quintiles.

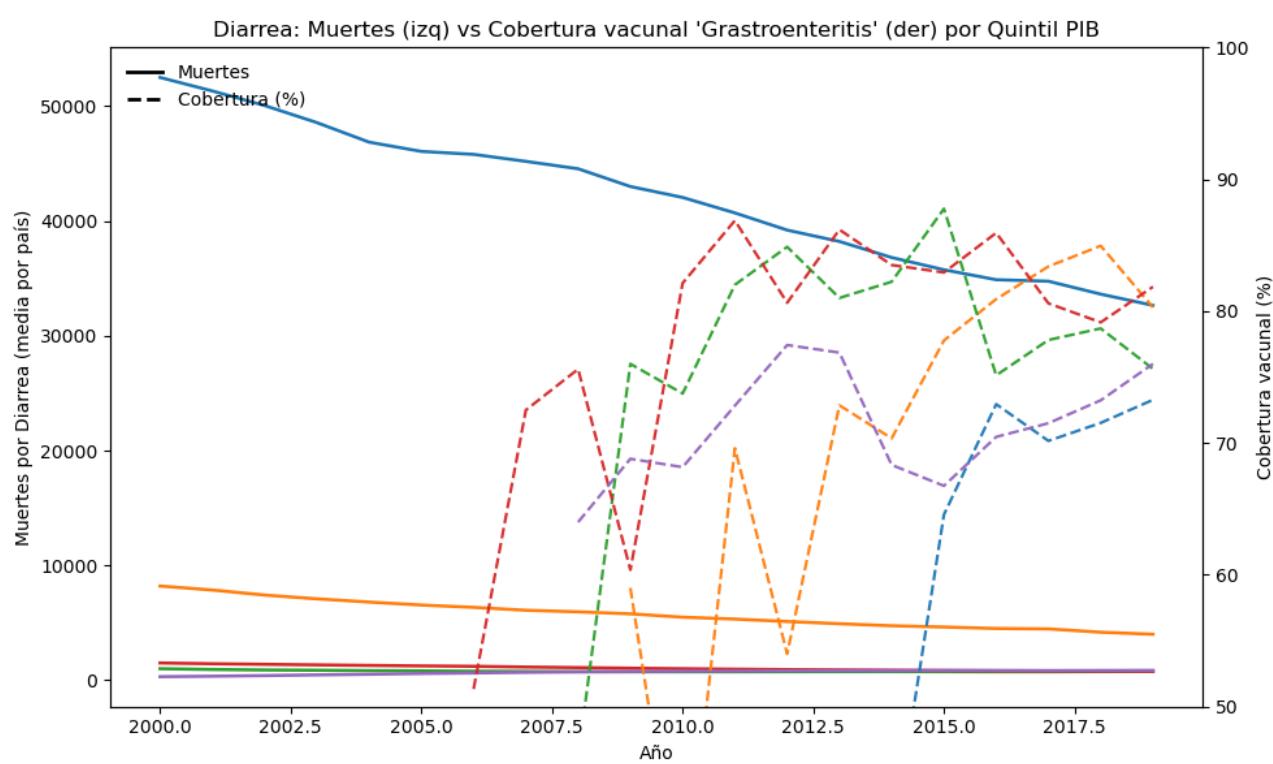
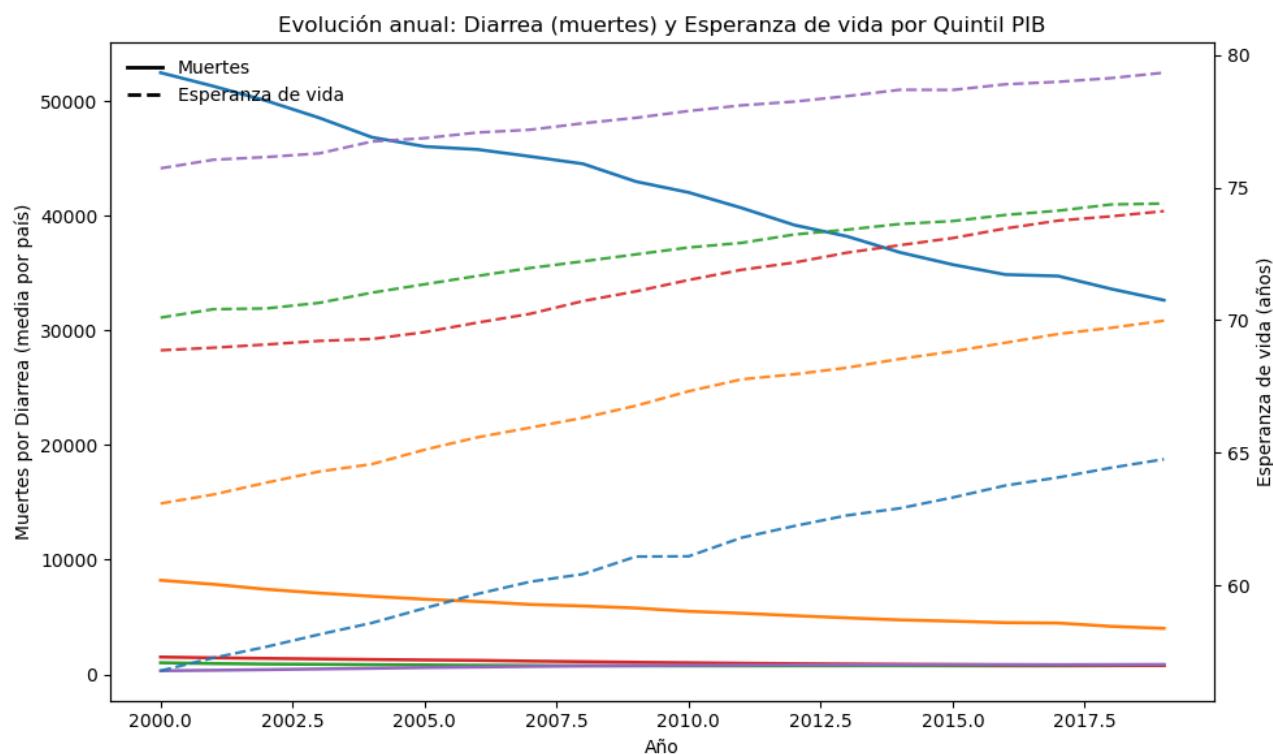
La correlación es fuerte y negativa en Q1 ( $r \approx -0.94$ ) y más débil en quintiles superiores, donde la mortalidad por diarrea es baja debido a mejoras en saneamiento, filtrado de agua y acceso a antibióticos.

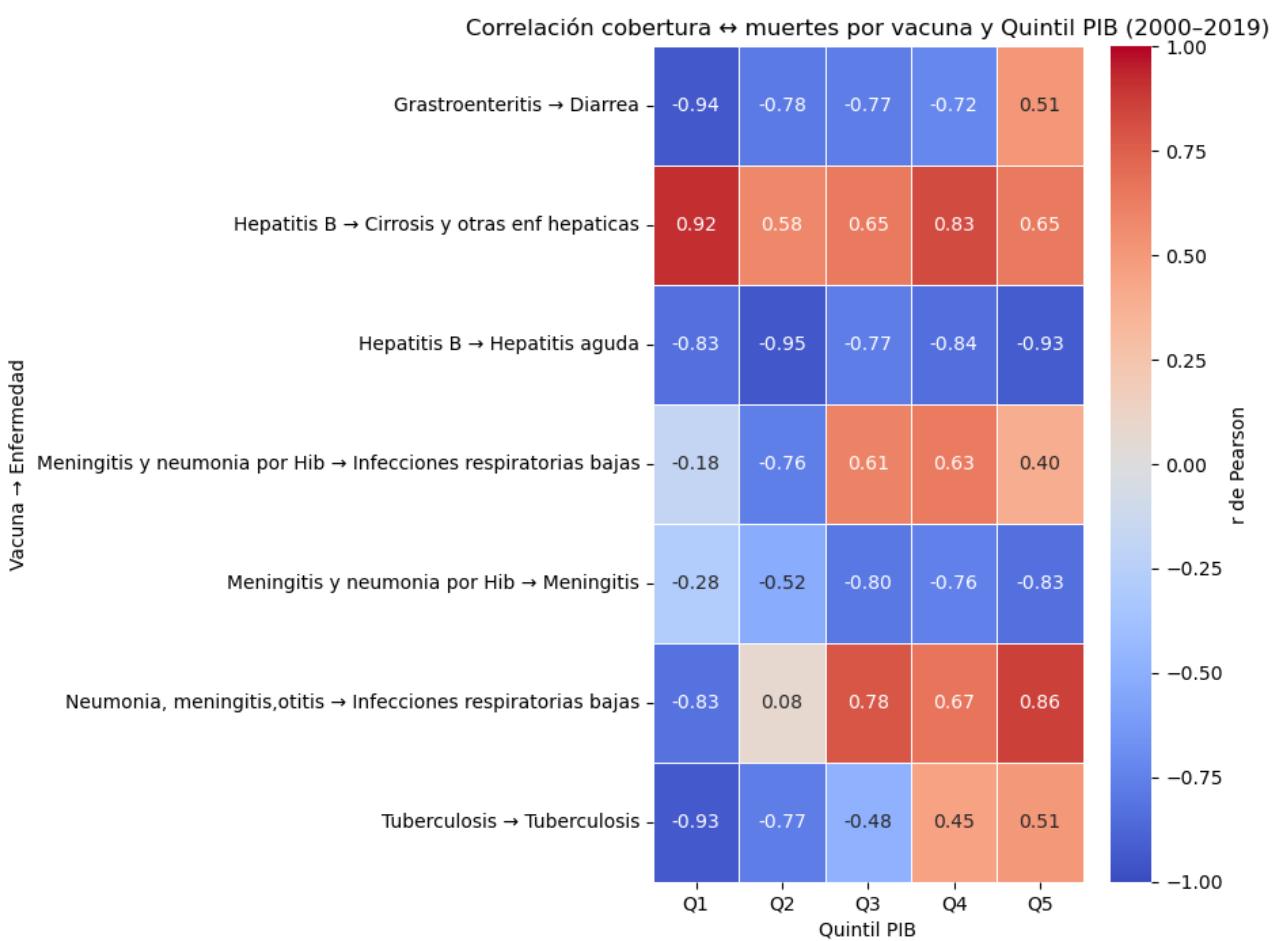
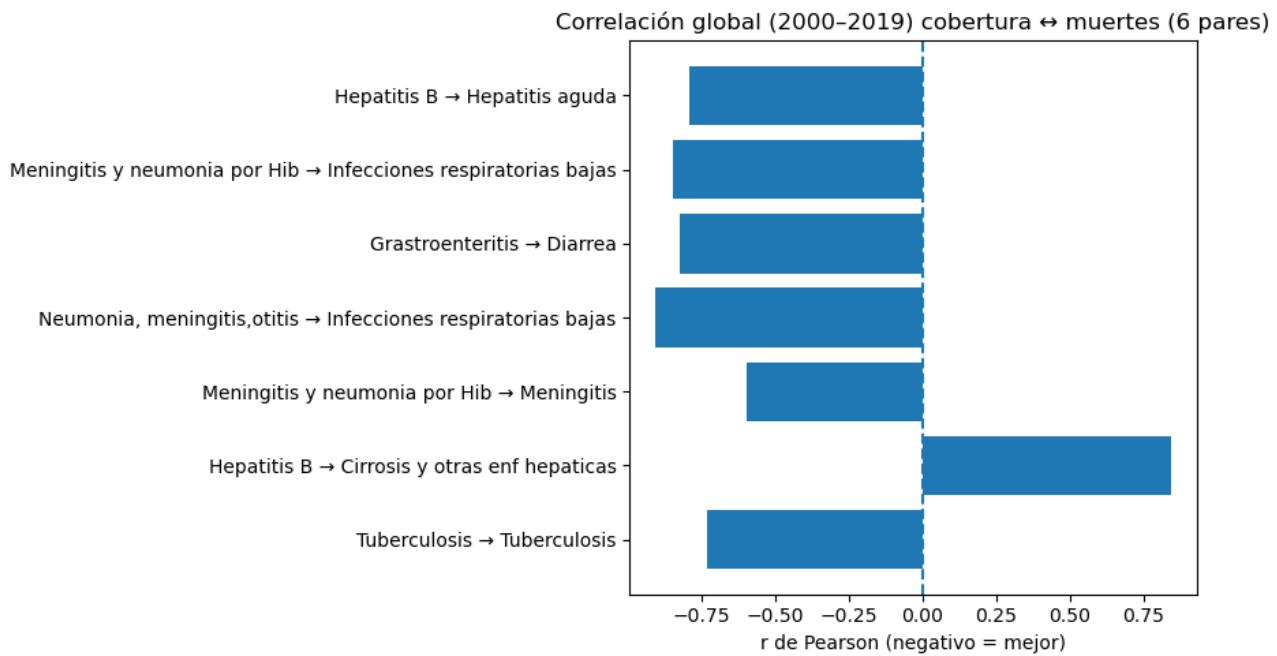
Esto indica que la eficacia de la vacuna es mayor y más visible donde la enfermedad tiene mayor carga epidemiológica, es decir, en países con menores recursos.

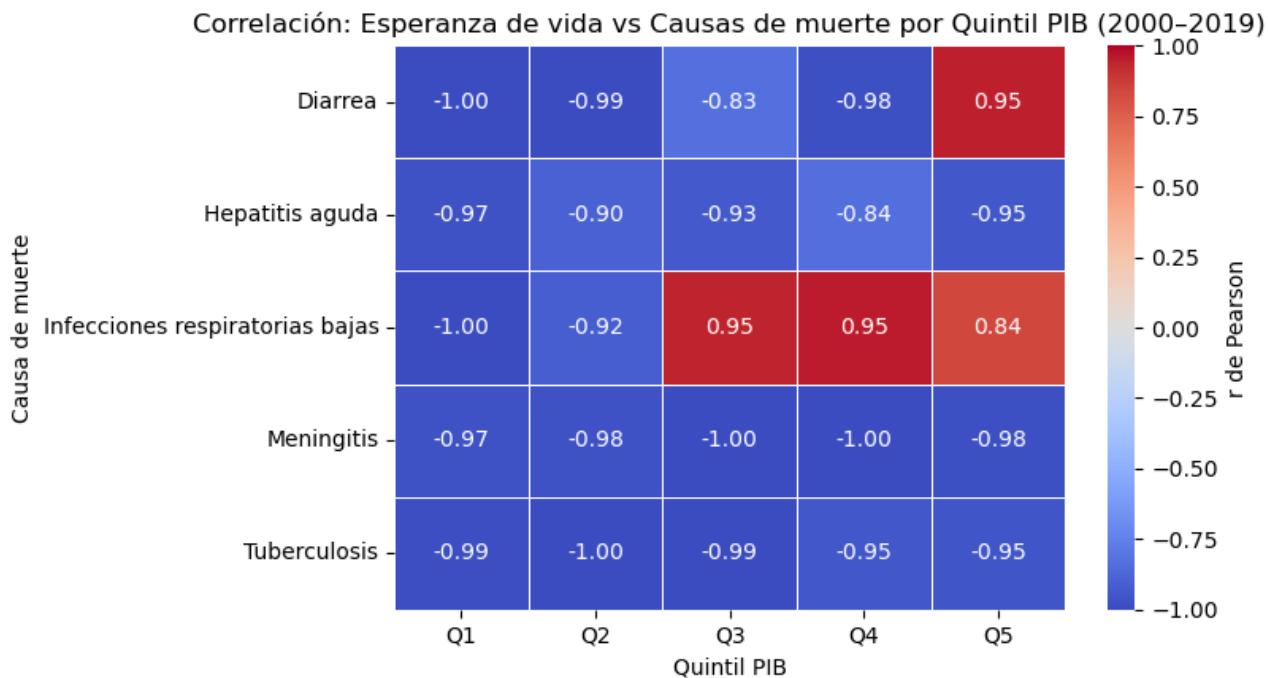
La relación entre la mortalidad por estas enfermedades y la esperanza de vida es altamente negativa en Q1 y Q2, con valores cercanos a  $r = -0.9$  a  $-1.0$ , lo que indica que la reducción de muertes prevenibles contribuye directamente al aumento de la longevidad.

En Q4 y Q5, aunque la correlación es menos intensa, el efecto histórico acumulado de la vacunación ha permitido el desplazamiento de la mortalidad hacia enfermedades crónicas no transmisibles, lo que constituye uno de los motores de la transición epidemiológica global.







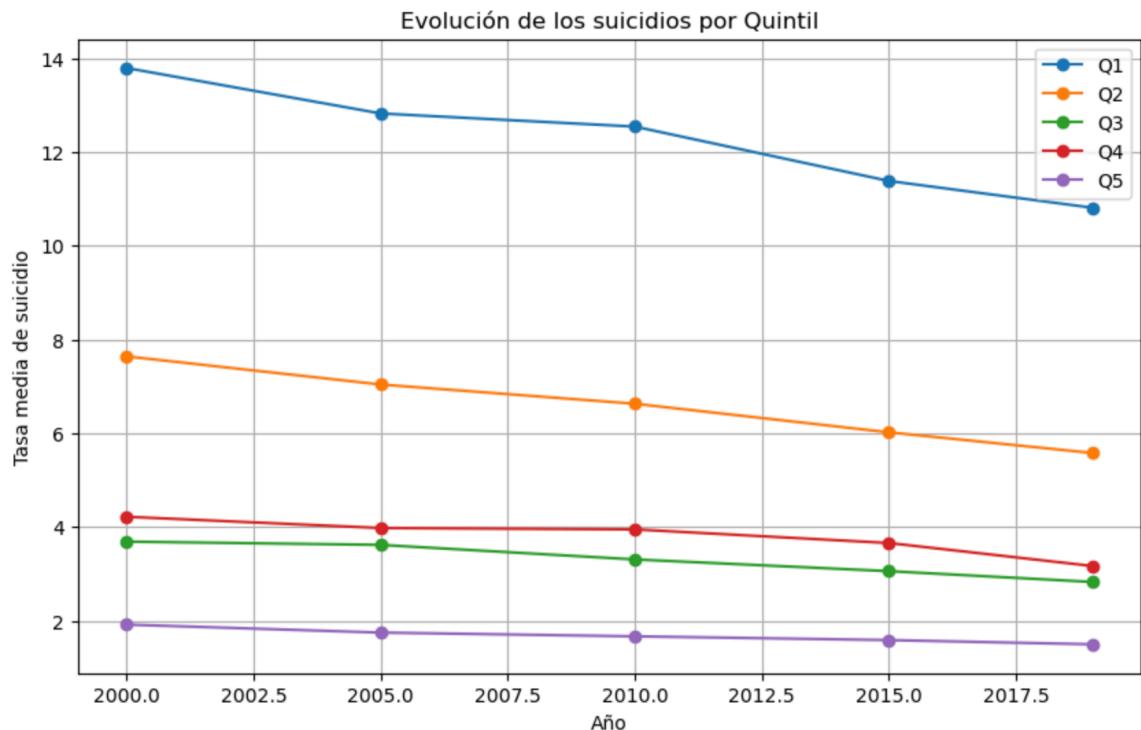


Los resultados muestran de manera consistente que:

- A mayor cobertura vacunal, menor mortalidad por enfermedades prevenibles.
- La relación es más intensa en países de renta baja y media, donde la carga de enfermedad infecciosa es mayor.
- La reducción de estas muertes contribuye directamente a incrementar la esperanza de vida.
- Las vacunas analizadas son instrumentos fundamentales de equidad sanitaria global.
- El análisis se centró en las vacunas con datos de mortalidad disponibles, lo que mejora la precisión y validez de las asociaciones observadas.

Ratio suicidio/gasto (multiplicado por 1000):					
Year	2000	2005	2010	2015	2019
Quintil					
Q1Renta	8.47	7.78	8.09	7.80	7.06
Q2Renta	2.68	2.59	2.52	2.29	2.13
Q3Renta	1.37	1.37	1.27	1.15	1.05
Q4Renta	0.96	0.86	0.76	0.66	0.57
Q5Renta	0.32	0.29	0.27	0.26	0.25

En esta tabla vemos que la relación suicidio/gasto mejora en todos los quintiles, lo que sugiere que la inversión económica es eficaz para reducir la mortalidad por suicidio.



### Analisis de indicadores de pobreza

Los países más pobres tienen mayor proporción de suicidios por unidad de PIB, aunque la tendencia es positiva, ademas podemos ver que el resto de factores socioeconómicos afectan a los países del Quintil 1 ya que la tendencia es negativa, pero durante la crisis del 2008, fue el único quintil en el que la tendencia cambió, mientras que en el resto de quintiles siempre ha sido negativa.

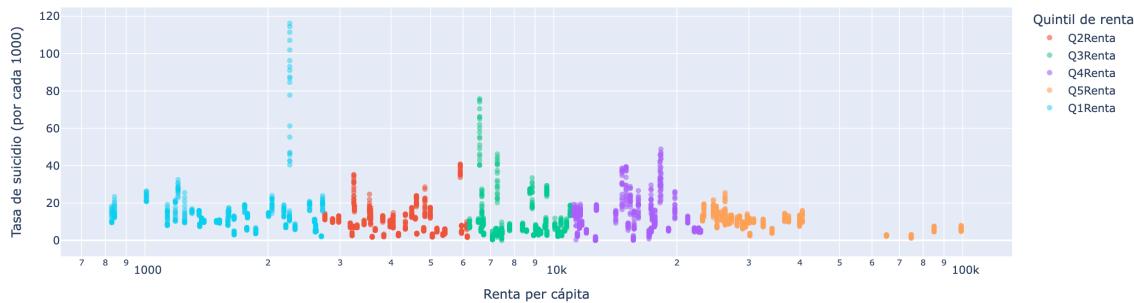
Los países más ricos logran mayor eficiencia del gasto en reducir suicidios, aunque el impacto es menos significativo ya que se parte de una base mejor. Relación inversa: Se puede decir que a mayor inversión en salud, menor es el ratio de suicidio relativo al gasto, aunque no es una relación perfectamente lineal ni la única variable que influye. Otros factores sociales, culturales y económicos también juegan un papel importante.

Evidencia de mejora: Incluso los quintiles bajos muestran que al aumentar ligeramente la inversión o mantenerla constante, el cociente disminuye con el tiempo, reforzando la idea de que el gasto en salud contribuye a reducir el suicidio.

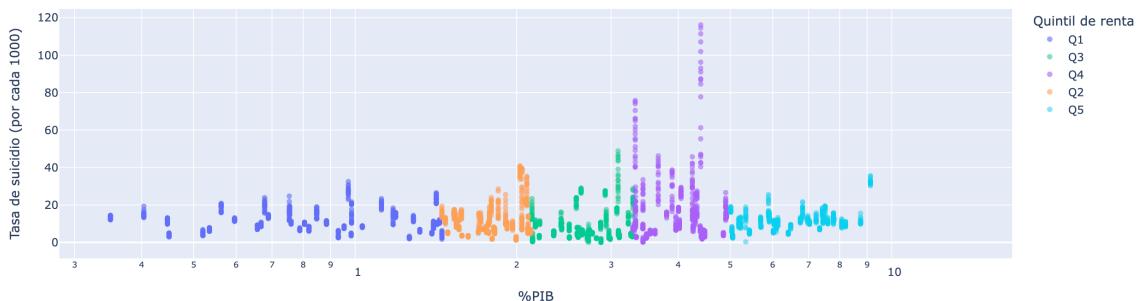
La figura refuerza la idea de que las tasas de suicidio han evolucionado de forma desigual según el nivel socioeconómico. Aunque hay una tendencia global a la baja, países pobres o con crisis recurrentes, como Lesotho, mantienen niveles críticamente altos, reflejando una persistente desigualdad en salud mental y bienestar social.

Vemos que a pesar de que los datos muestran lo lógico y que a pesar de que la tendencia de ratio de suicidio es negativa, vemos que existen algunos outliers dentro de nuestros grupos, como puede ser el caso de Rusia, el cual puede ser un país que presente una tasa de suicidio superior al de algunos países de África por algún factor de presión social, o cultural en el caso de por ejemplo, Corea del sur, donde el fracaso escolar aumentaba bastante el ratio de suicido.

Relación entre pobreza y tasa de suicidio



Relación entre pobreza y tasa de suicidio



Hay muchos países de Europa del este que presentan ratio de suicidio alto, esto probablemente es debido a problemas especiales como que es tabú hablar de ciertos temas personales como la depresión, el consumo de alcohol o también las posibles faltas de oportunidades laborales, o el clima podría también afectar.

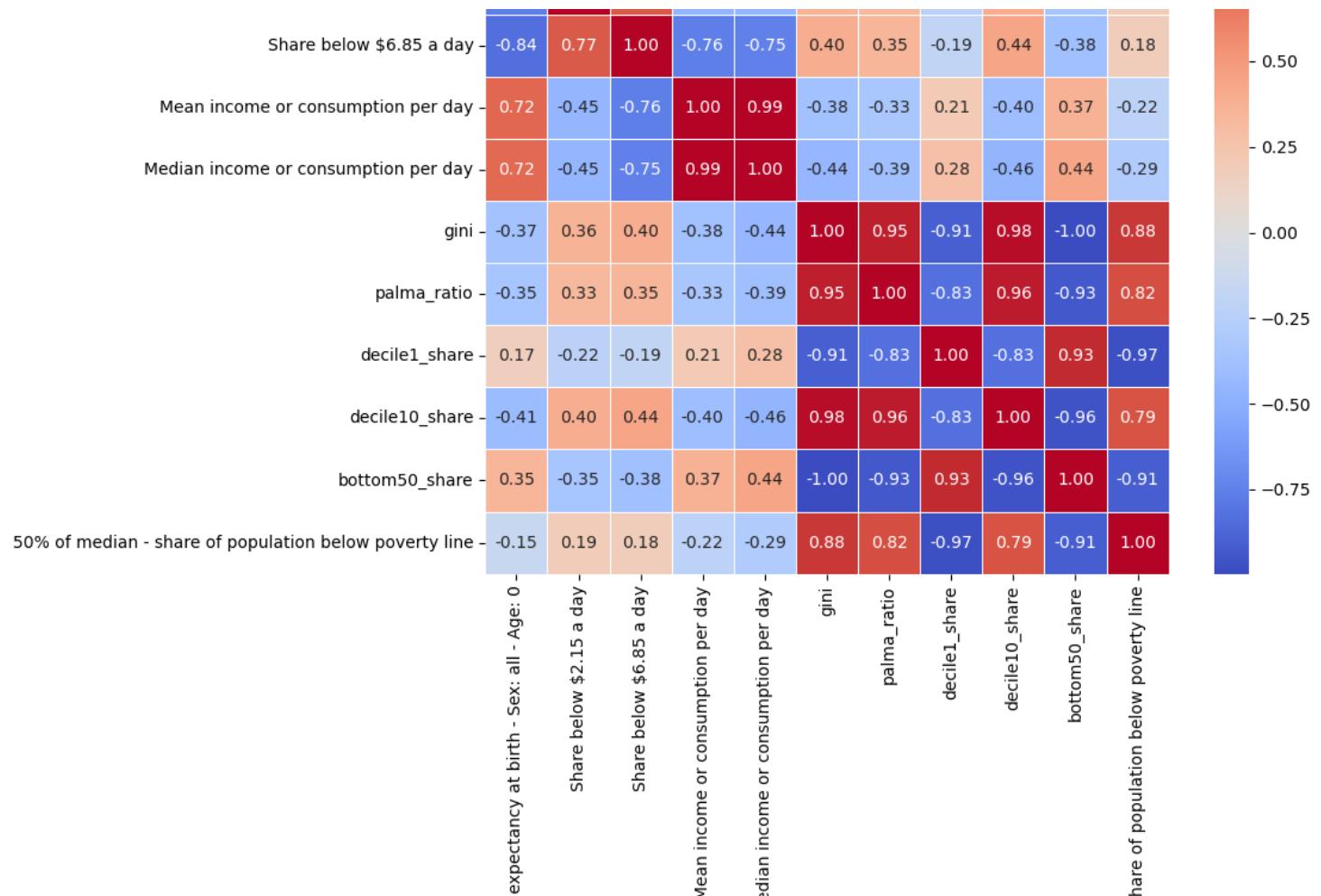
La correlación entre la renta y el ratio de suicidio es negativa pero no muy significante, es decir, cuanto mas ratio de suicidio menos renta pero no es una correlación muy fuerte.

Estos grupos se establecen a través de la inversión de PIB en porcentaje, por cada país, por lo que dentro de un mismo quintil vamos a ver que hay países muy variados, sin ir más lejos, Lesotho dedica el 4,4% de su PIB estando este dentro del Q4, esto no significa que sean de los países que más gastan, ya que en porcentaje si, pero su PIB total es mucho menor que el de por ejemplo Arabia Saudi (Q3).

Hay países que invierten muy poco de su PIB en sanidad y a pesar de eso tienen tasas de suicidio mayores que otros países, por lo que podemos concluir que hay otros factores que afectan mas directamente, como podrían ser factores culturales o sociales.

3. Vemos que hay países como Kiribati que es el que mas invierte en PIB pero a pesar de eso tiene una tasa de suicidio mayor a por ejemplo España.

Como conclusión general podemos decir, que la mayor dedicación de PIB va a hacer que la tasa de suicidio se reduzca relativamente, ya que la correlación es muy débil, esto se puede deber a que hay países que dedican gran cantidad de su PIB en sanidad pero parten de una base baja por lo que o bien su efecto es insignificante o los recursos no se destinan adecuadamente, puede darse el caso de que se dediquen recursos a sanidad pero no sea a por ejemplo a psicología y psiquiatría.



La matriz de correlación permite identificar tres grandes grupos de variables que, en conjunto, describen los componentes estructurales que influyen en la salud poblacional. En primer lugar, la esperanza de vida al nacer aparece como el principal indicador de resultado en salud, reflejando el nivel general de bienestar de una población en términos de mortalidad, longevidad y condiciones socio-sanitarias. En segundo lugar, se observa un conjunto de variables asociadas a la pobreza y al nivel de ingreso absoluto, como la proporción de población que vive con menos de \$2.15 o \$6.85 al día, así como el ingreso medio y el ingreso mediano por día. Estas variables capturan la disponibilidad real de recursos económicos con los que las personas pueden satisfacer sus necesidades básicas.

Finalmente, la matriz revela un tercer grupo, compuesto por indicadores de desigualdad en la distribución del ingreso, como el índice de Gini, el Palma ratio y la participación en los ingresos de distintos estratos de la población (decile 10\_share, bottom50\_share, etc.). Estos indicadores no se refieren al nivel total de riqueza presente en un país, sino a cómo esa riqueza se reparte entre sus habitantes. La separación visual y estadística de estos tres bloques es relevante porque muestra que el bienestar no depende únicamente del crecimiento económico, sino también de la estructura social y distributiva que lo acompaña. Así, la matriz evidencia que la salud poblacional es el resultado combinado tanto de la cantidad de recursos disponibles como de la equidad en su distribución.

Los resultados muestran relaciones claras y consistentes entre la pobreza, los ingresos, la desigualdad y la esperanza de vida. La esperanza de vida presenta una correlación negativa fuerte con la proporción de población que vive en condiciones de pobreza extrema, especialmente con el indicador que mide la población con ingresos inferiores a \$6.85 al día ( $r = -0.84$ ). Esto significa que, a medida que aumenta la pobreza extrema en un país, la esperanza de vida tiende a disminuir

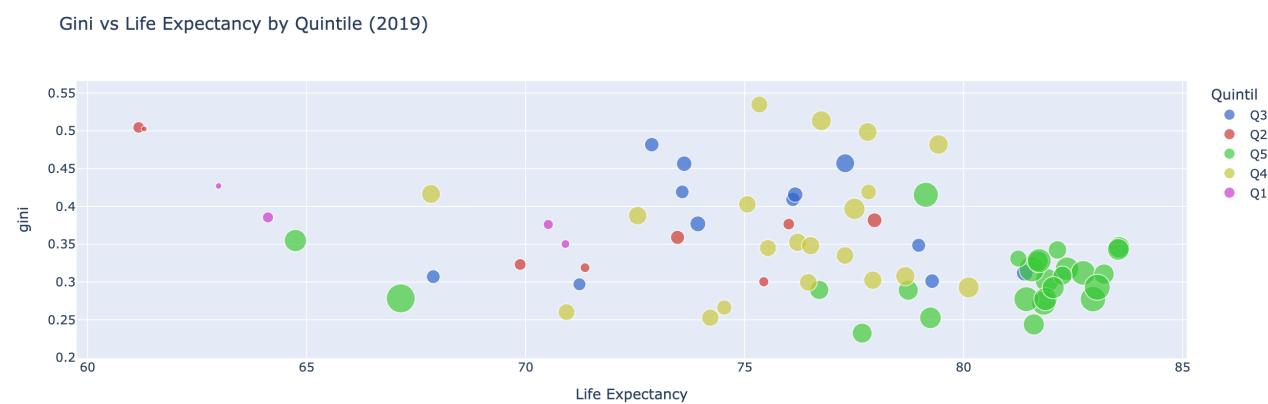
de manera significativa. La relación es estructural y sostenida, lo que sugiere que la pobreza no solo limita la calidad de vida, sino que reduce directamente la supervivencia, probablemente debido a dificultades en el acceso a servicios sanitarios, educación, nutrición adecuada y condiciones ambientales seguras.

Por otro lado, la esperanza de vida se correlaciona positivamente con los niveles de ingreso medio y mediano ( $r = 0.72$  en ambos casos). Esto indica que los países con mayor disponibilidad económica promedio tienden a presentar mejores indicadores de salud, lo cual está en consonancia con la literatura que vincula el desarrollo económico con la mejora en los sistemas sanitarios y la expansión de la protección social. Sin embargo, la presencia de esta relación no es suficiente por sí sola para garantizar buenos resultados en salud: la matriz muestra que la desigualdad en la distribución del ingreso modula esta relación.

Los indicadores de desigualdad, como el índice de Gini y el Palma ratio, presentan correlaciones negativas moderadas con la esperanza de vida. Esto significa que, incluso cuando el ingreso promedio es elevado, una distribución desigual de la riqueza puede reducir el impacto positivo que dicho ingreso tiene sobre la salud. Este efecto se observa con mayor claridad en la relación entre la esperanza de vida y la proporción de ingreso del 50% más pobre (bottom50\_share), que muestra una correlación positiva: cuanto mayor es la parte de la riqueza que reciben los estratos sociales más amplios, mejores tienden a ser los resultados de salud. Así, los datos sugieren que no es únicamente cuánto tiene un país, sino cómo reparte lo que tiene, lo que determina en mayor medida la longevidad y el bienestar de su población.

La esperanza de vida muestra una correlación fuerte y negativa con los niveles de pobreza extrema y positiva con los ingresos medios. No obstante, la distribución de la riqueza desempeña un papel determinante: países con mayor concentración del ingreso en el 10% superior y mayores índices de desigualdad presentan menores niveles de esperanza de vida, incluso a igual nivel de ingreso medio. Esto subraya la importancia de políticas redistributivas y sistemas de protección social como determinantes de la salud poblacional. Los resultados muestran que no solo la riqueza absoluta de un país se relaciona con una mayor esperanza de vida, sino cómo se distribuye.

Aunque mayores ingresos medios favorecen mejores resultados en salud, la desigualdad económica modera esta relación: sociedades con alta concentración de renta presentan niveles inferiores de esperanza de vida, incluso si su ingreso medio es elevado.



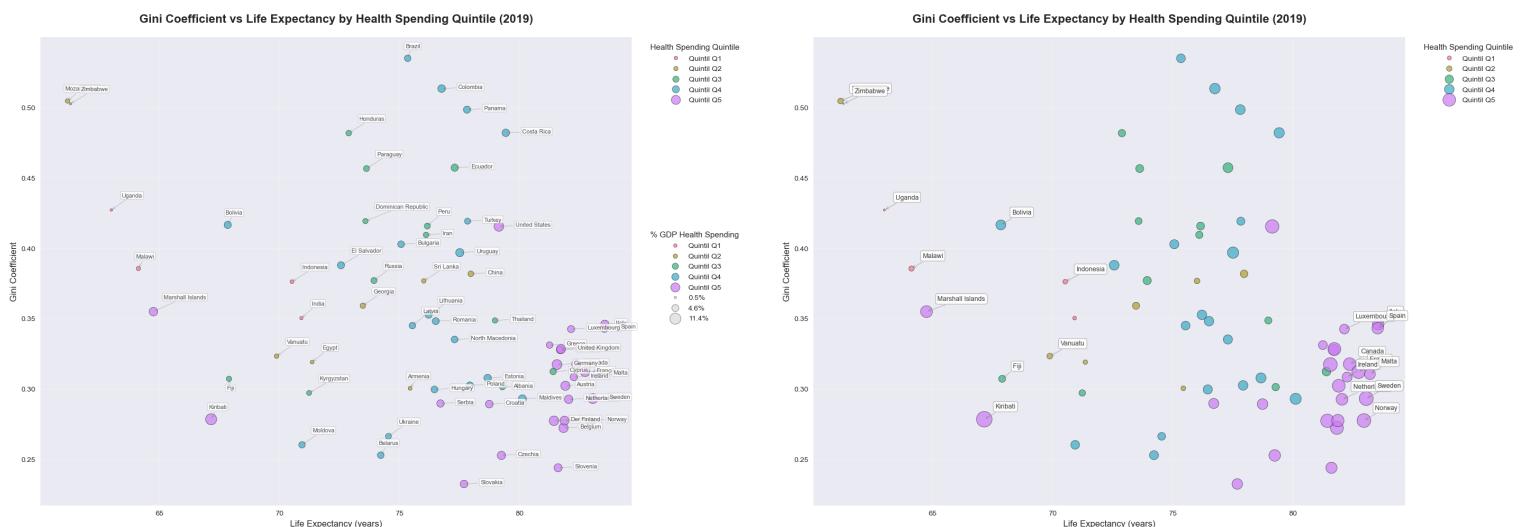
La Figura muestra la relación entre el índice de Gini (eje vertical), como indicador de desigualdad en la distribución del ingreso, y la esperanza de vida al nacer (eje horizontal), diferenciando los países según su quintil de GPD per cápita. Se observa una tendencia general negativa: a medida que

la desigualdad aumenta, la esperanza de vida tiende a ser menor. No obstante, esta relación no es lineal ni homogénea entre grupos de países.

Los países pertenecientes al quintil más alto de renta (Q5, en verde) se concentran en la zona de mayor esperanza de vida ( $\geq 78$  años) y menor desigualdad, situándose en valores de Gini entre 0.25 y 0.35. Esto indica que los países más ricos no solo presentan mejores resultados en longevidad, sino que además suelen caracterizarse por niveles más reducidos de desigualdad interna.

En contraste, los países de los quintiles más bajos (especialmente Q1 y Q2, en rosa y rojo) se ubican en la zona de menor esperanza de vida ( $\leq 70$  años) y, frecuentemente, con índices de Gini más elevados ( $\geq 0.40$ ). Este patrón sugiere que la combinación de bajo nivel de ingresos y alta desigualdad se asocia de forma consistente con peores resultados en salud poblacional.

Además, se aprecia que los países del quintil medio (Q3 y Q4) muestran una mayor dispersión tanto en desigualdad como en esperanza de vida, lo que indica que en niveles intermedios de desarrollo económico otros factores (políticas sanitarias, cohesión social, inversión en bienestar) pueden modular el impacto de la distribución de la renta sobre la salud.



La figura representa la relación entre el índice de Gini (eje vertical), como indicador de desigualdad económica, y la esperanza de vida al nacer (eje horizontal), incorporando además el nivel de gasto sanitario como proporción del PIB, agrupado en quintiles y representado mediante el color y el tamaño de los puntos. De este modo, el gráfico permite observar simultáneamente cómo la desigualdad, la esperanza de vida y el esfuerzo económico en salud interactúan en distintos contextos nacionales.

En términos generales, se observa que los países con mayor esperanza de vida ( $\geq 78$  años) suelen situarse en los quintiles más altos de gasto sanitario (Q4 y Q5) y presentan, además, niveles moderados o bajos de desigualdad ( $\text{Gini} \leq 0.35$ ). Ejemplos destacados de este grupo son países como España, Francia, Alemania, Bélgica o los países nórdicos, que combinan elevada inversión en salud con estructuras redistributivas relativamente equitativas. Esta combinación se asocia a mejores resultados en salud poblacional.

Por el contrario, los países con baja esperanza de vida ( $\leq 70$  años) se concentran mayoritariamente en los quintiles inferiores de gasto sanitario (Q1 y Q2) y muestran, con frecuencia, índices de

desigualdad más elevados. Entre ellos se encuentran casos como Mozambique, Malawi o Zimbabwe, donde la limitada inversión pública en salud y la fuerte desigualdad económica coinciden con menores niveles de longevidad.

Un aspecto relevante es la posición de ciertos países de ingresos altos pero con elevada desigualdad, como Estados Unidos, que aparece con una esperanza de vida inferior a la esperada para su nivel de gasto sanitario y un índice de Gini más elevado en comparación con otros países desarrollados. Este caso ilustra que un mayor gasto en salud no garantiza automáticamente mejores resultados si existen barreras de acceso o sistemas poco redistributivos.

Por último, se observa la existencia de un grupo intermedio de países (principalmente de Europa del Este y América Latina) con niveles moderados de gasto sanitario y desigualdad, que se distribuyen de manera más dispersa, sugiriendo que en estos contextos otros factores institucionales y sociales (reformas sanitarias, cobertura universal efectiva, cohesión social) modulan el impacto del gasto en salud sobre la esperanza de vida.

El segundo gráfico mantiene los mismos ejes y quintiles de gasto en salud, pero elimina el tamaño de los puntos como variable, por lo que todos los países aparecen representados con marcadores similares.

Este diseño permite observar con mayor claridad la distribución de los países dentro de cada quintil, facilitando la identificación de agrupamientos estructurales. Se aprecia que los países del quintil más alto de gasto sanitario (Q5) están fuertemente concentrados en la zona de baja desigualdad y alta esperanza de vida, mientras que los países de los quintiles más bajos se desplazan hacia la zona opuesta del gráfico.

La ausencia de la escala de tamaño suaviza la lectura del efecto del gasto sanitario en términos absolutos, desplazando el foco hacia la posición relativa de los países según su nivel de inversión. Por tanto, este gráfico resalta el patrón de gradiente social en salud: a mayores niveles de gasto y menor desigualdad, mejores resultados de longevidad poblacional.

Las dos visualizaciones presentadas ilustran la relación entre desigualdad económica (medida a través del índice de Gini) y esperanza de vida al nacer, incorporando el nivel de gasto sanitario como porcentaje del PIB. En ambos casos se observa un patrón consistente: los países con mayor esperanza de vida tienden a situarse en niveles más bajos de desigualdad y, simultáneamente, en quintiles más altos de gasto sanitario. Por el contrario, los países con alta desigualdad y bajo gasto sanitario se concentran en niveles inferiores de esperanza de vida.

En conjunto, los dos gráficos muestran que la esperanza de vida depende no solo del nivel de gasto sanitario, sino también de cómo se estructura socialmente el acceso a los recursos. Los países que combinan mayor inversión en salud con menor desigualdad son los que alcanzan los mejores resultados en salud poblacional. Por el contrario, cuando la riqueza está concentrada y los sistemas de salud presentan desigualdades en acceso, el aumento del gasto sanitario pierde efectividad y no se traduce en mejoras equivalentes en la esperanza de vida.

Aunque ambos gráficos muestran la relación entre desigualdad y esperanza de vida, el primero incluye el tamaño del punto como indicador del gasto sanitario en porcentaje del PIB, lo que permite evaluar no solo el nivel de desigualdad, sino también la intensidad de la inversión en salud. Esto facilita identificar casos donde el gasto es elevado pero la esperanza de vida no mejora (p. ej., Estados Unidos), señalando posibles ineficiencias del sistema.

En cambio, el segundo gráfico mantiene constante el tamaño del punto, mostrando únicamente la clasificación por quintiles de gasto, lo que permite visualizar agrupamientos de países según su nivel relativo de inversión, pero sin distinguir diferencias internas dentro de cada quintil. Como resultado, la relación entre gasto sanitario y esperanza de vida se observa de forma menos matizada en el segundo gráfico, y el foco interpretativo se desplaza hacia la comparación entre grupos de países más que hacia la evaluación del efecto directo del gasto.



La figura muestra la relación entre la proporción de la población que vive con menos de \$6.85 al día (eje vertical), como indicador de pobreza económica, y la esperanza de vida al nacer (eje horizontal), diferenciando a los países según su quintil de gasto sanitario como porcentaje del PIB. El color de los puntos indica el nivel relativo de gasto (desde Q1, gasto bajo, hasta Q5, gasto alto), mientras que el tamaño de los marcadores refleja el esfuerzo económico en salud en términos absolutos.

Se observa una tendencia negativa clara: a medida que aumenta la proporción de población viviendo bajo el umbral de \$6.85 diarios, la esperanza de vida disminuye de forma consistente. Esto se traduce visualmente en un desplazamiento de los países desde la esquina superior izquierda (alta pobreza y baja esperanza de vida) hacia la inferior derecha (baja pobreza y alta esperanza de vida).

En la parte superior izquierda del gráfico se encuentran países como Mozambique, Malawi, Uganda o Zimbabwe, caracterizados por una alta incidencia de pobreza ( $\geq 80\%$ ) y esperanzas de vida reducidas ( $\approx 60-65$  años), pertenecientes en su mayoría a los quintiles más bajos de gasto sanitario.

Por el contrario, en la parte inferior derecha se agrupan países como España, Países Bajos, Suecia o Noruega, donde la proporción de población en pobreza económica es prácticamente nula y la esperanza de vida se sitúa por encima de los 80 años. Estos países se concentran en los quintiles más altos de gasto sanitario (Q4 y Q5), y presentan también los marcadores de mayor tamaño, indicando un alto gasto sanitario efectivo.

Entre ambos extremos se encuentra un grupo de países con niveles intermedios de pobreza y esperanza de vida (por ejemplo, Indonesia, Vanuatu, Bolivia o Fiji), que reflejan contextos de transición socioeconómica, donde el incremento del gasto sanitario y la reducción de la pobreza aún no se traducen completamente en mejoras equivalentes en la longevidad.

Los resultados observados en los tres gráficos ofrecen una visión coherente acerca de cómo los determinantes socioeconómicos estructurales condicionan los resultados de salud poblacional. El gráfico actual muestra que una mayor proporción de población viviendo con menos de \$6.85 al día se asocia de forma sistemática con una menor esperanza de vida, evidenciando que la pobreza económica es una barrera directa para la supervivencia y el bienestar. Este resultado refuerza la hipótesis de que el acceso a recursos básicos (nutrición adecuada, vivienda segura, agua potable, educación y servicios sanitarios accesibles) constituye una condición mínima para sostener niveles elevados de salud pública.

Sin embargo, los gráficos previos permiten observar que no basta con que un país aumente su gasto sanitario para mejorar la esperanza de vida. El gráfico que relaciona el índice de Gini y la esperanza de vida con el tamaño de los puntos proporcional al gasto sanitario mostró que existen contextos donde se invierte mucho en salud, pero la esperanza de vida no alcanza niveles altos, como ocurre en el caso de Estados Unidos. La explicación se encuentra en la desigualdad distributiva: cuando el acceso a la salud queda segmentado por nivel de ingreso, el gasto sanitario agregado pierde eficacia, porque los beneficios no llegan de forma equitativa a toda la población.

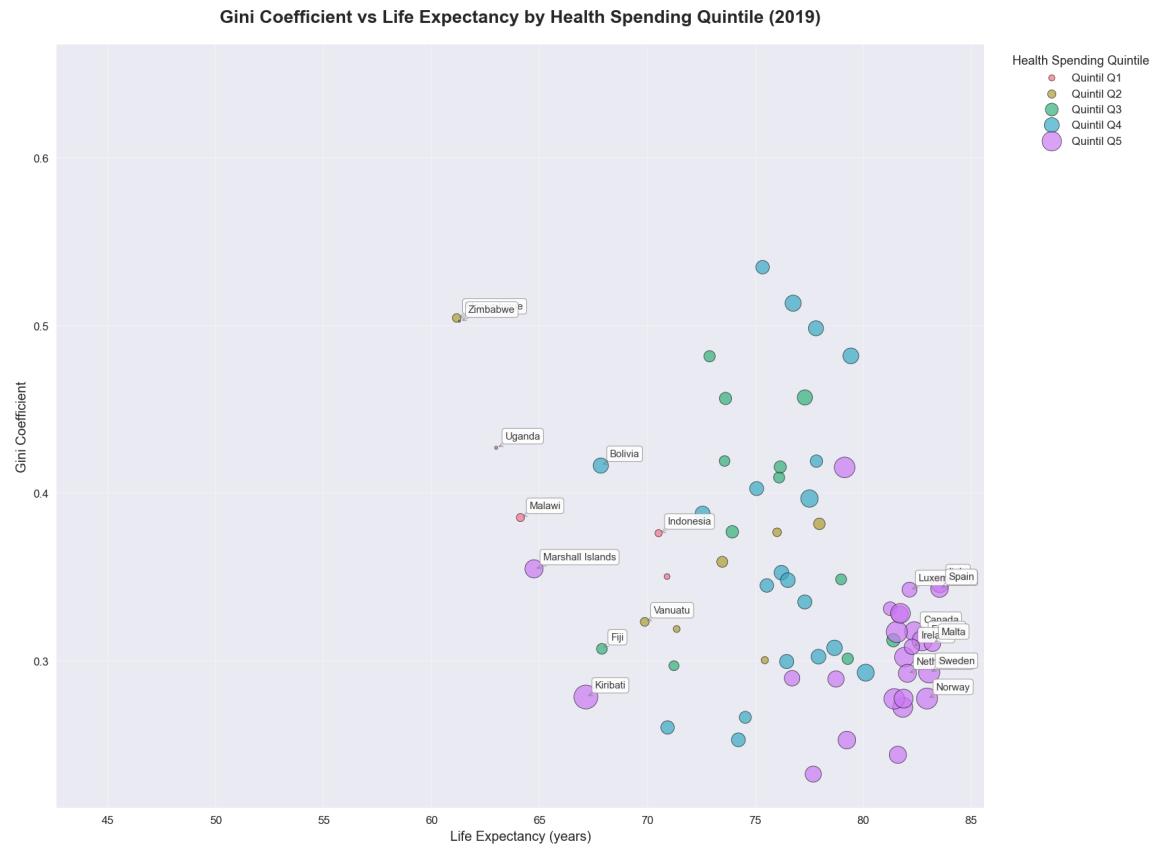
Por el contrario, los gráficos que sitúan en el extremo opuesto a países como España, Francia, Suecia o Noruega muestran que estos presentan simultáneamente:

1. baja desigualdad económica,
2. bajo nivel de pobreza, y
3. alto gasto sanitario sostenido.

Esta combinación no solo garantiza acceso universal efectivo, sino que crea condiciones sociales protectoras (cohesión social, estabilidad laboral, sistemas de bienestar) que amplifican el efecto positivo de la inversión pública en salud.

En síntesis, los tres gráficos muestran que:

- La pobreza extrema limita directamente la esperanza de vida.
- La desigualdad en la distribución del ingreso reduce la capacidad del gasto sanitario para mejorar resultados.
- El gasto sanitario es más efectivo cuando se acompaña de políticas redistributivas y protección social.

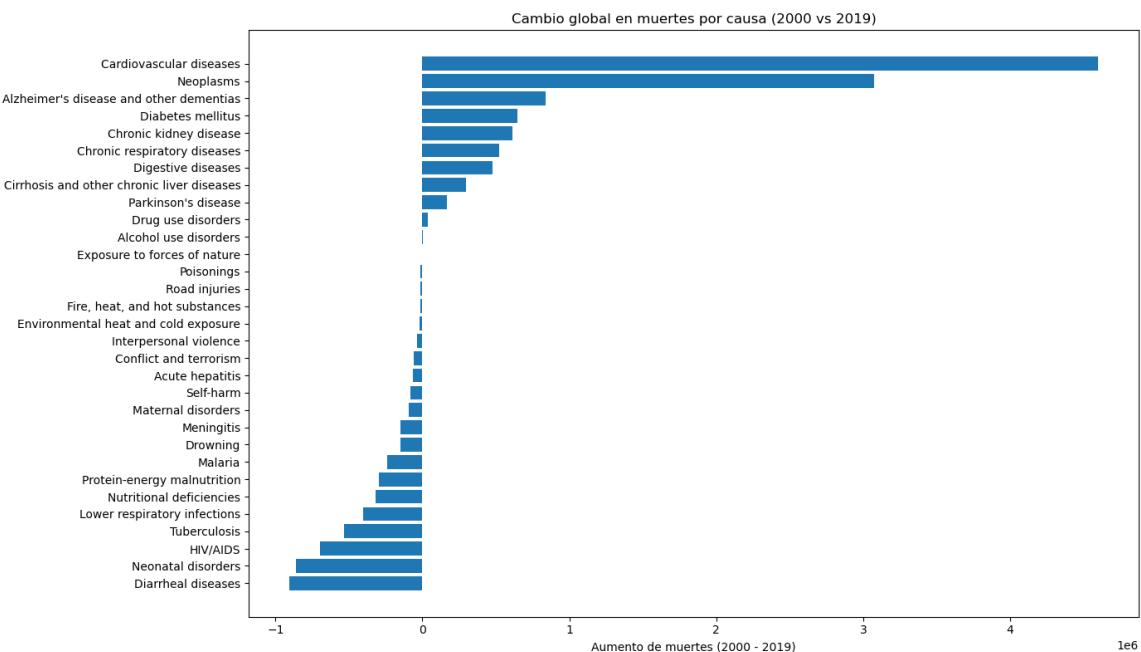


El gráfico representa la relación entre el índice de Gini (eje vertical), como medida de desigualdad económica, y la esperanza de vida al nacer (eje horizontal), clasificando a los países en quintiles de gasto sanitario como porcentaje del PIB, indicados mediante el color de los puntos. Además, el tamaño de los puntos refleja el monto relativo de gasto sanitario, de modo que los marcadores más grandes representan un mayor esfuerzo económico directo en salud.

En términos generales, el gráfico muestra que la esperanza de vida tiende a aumentar a medida que disminuye la desigualdad económica. Los países con índice de Gini elevado ( $\geq 0.45$ ) se encuentran principalmente en valores bajos o medios de esperanza de vida ( $\approx 55\text{--}72$  años), mientras que aquellos con desigualdad reducida ( $\leq 0.32$ ) se agrupan en la zona de esperanza de vida más alta ( $\geq 80$  años). Esto evidencia un gradiente claro donde la desigualdad actúa como factor limitante de la longevidad poblacional.

Los resultados muestran que invertir en salud es más efectivo cuando la inversión se produce en contextos de baja desigualdad. Cuando la distribución de los ingresos es más equitativa, el gasto sanitario se traduce de forma más eficiente en aumento de la esperanza de vida. Por el contrario, cuando la desigualdad es elevada, el gasto sanitario pierde capacidad para mejorar los resultados de salud, independientemente de su volumen.

## Análisis de causas de muerte



El gráfico muestra el cambio absoluto en el número de muertes a nivel mundial entre los años 2000 y 2019, desagregado por causa de muerte. Las barras positivas indican incremento en el número total de muertes por esa causa, mientras que las barras negativas representan disminuciones a lo largo del periodo.

Se observa un patrón claro de transición epidemiológica global:

### 1. Aumento de muertes por enfermedades crónicas y degenerativas

Las causas que muestran el mayor incremento en muertes son:

- Enfermedades cardiovasculares ( $\approx +4.5$  millones)
- Neoplasias / cáncer ( $\approx +2.5$  millones)
- Alzhéimer y otras demencias
- Diabetes mellitus
- Enfermedad renal crónica
- Enfermedad pulmonar crónica

Estas causas comparten características comunes: son enfermedades crónicas no transmisibles (ENT), asociadas a mayor longevidad, envejecimiento poblacional, estilos de vida urbanos, obesidad, sedentarismo y cambios metabólicos.

Su crecimiento indica que el peso global de la mortalidad se está desplazando desde enfermedades infecciosas hacia patologías crónicas.

## 2. Disminución de muertes por enfermedades infecciosas y tratables

Las principales reducciones se observan en:

- Enfermedades diarreicas
- Trastornos neonatales
- VIH/SIDA
- Tuberculosis
- Infecciones respiratorias bajas
- Malaria
- Desnutrición y malnutrición proteico-energética

Estas causas están fuertemente vinculadas a pobreza estructural y falta de acceso a servicios básicos. La reducción en su mortalidad global refleja avances en:

- Vacunación
- Expansión de la atención primaria
- Terapias antimicrobianas y antirretrovirales
- Saneamiento y acceso al agua
- Programas internacionales de cooperación sanitaria

Sin embargo estas reducciones no son homogéneas y siguen concentrándose en países de bajos ingresos.

A medida que los países avanzan en ingresos y reducen la pobreza extrema, disminuyen las muertes por enfermedades infecciosas y prevenibles, pero aumentan las enfermedades crónicas, especialmente entre poblaciones que envejecen y adoptan estilos de vida urbanos.

Aunque el gráfico solo muestra el cambio absoluto de muertes por causa entre 2000 y 2019, las causas que aumentan y las que disminuyen están fuertemente asociadas a:

- El nivel de ingresos del país
- El acceso al sistema sanitario
- La calidad de vida y condiciones sociales

Por tanto, las causas que aumentan (enfermedades crónicas no transmisibles), se concentran en países de ingresos medios y altos, donde la población vive más años y está expuesta a estilos de vida urbanos (dietas altas en azúcar, estrés, sedentarismo).

Esto ocurre cuando la desigualdad es más baja o cuando existe acceso universal efectivo a servicios sanitarios, porque permite que más personas lleguen a edades donde aparecen estas enfermedades.

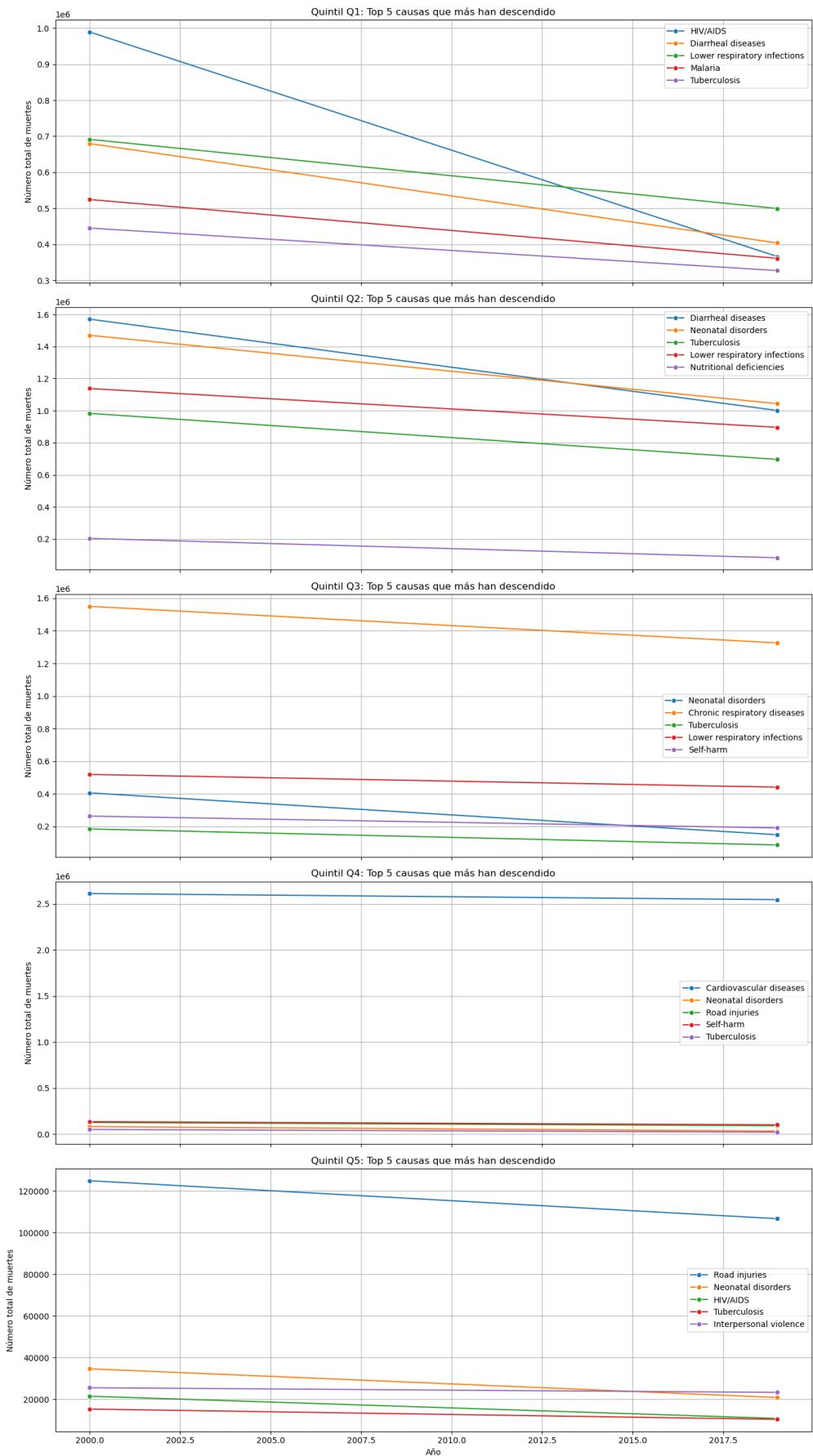
Es decir: donde la desigualdad es baja, la gente vive lo suficiente para morir de causas crónicas.

Las causas que disminuyen (infecciosas y prevenibles) descienden sobre todo en países donde ha habido mejoras en:

- Nutrición
- Agua potable
- Educación sanitaria
- Vacunación
- Atención primaria

Pero estas mejoras no han sido iguales para todos los países, por eso los descensos se concentran en países que han reducido la pobreza extrema y han aumentado la cobertura sanitaria, lo que es una señal indirecta de menor desigualdad estructural (económica y sanitaria).

Aunque la desigualdad no se representa directamente en este gráfico, se evidencia en la distribución de las causas de mortalidad: los países que han reducido la pobreza y mejorado el acceso a servicios básicos muestran un descenso en las muertes por enfermedades infecciosas y un aumento en patologías crónicas asociadas al envejecimiento. Por el contrario, la persistencia de muertes por causas prevenibles en determinados países refleja las desigualdades estructurales en salud a nivel global.



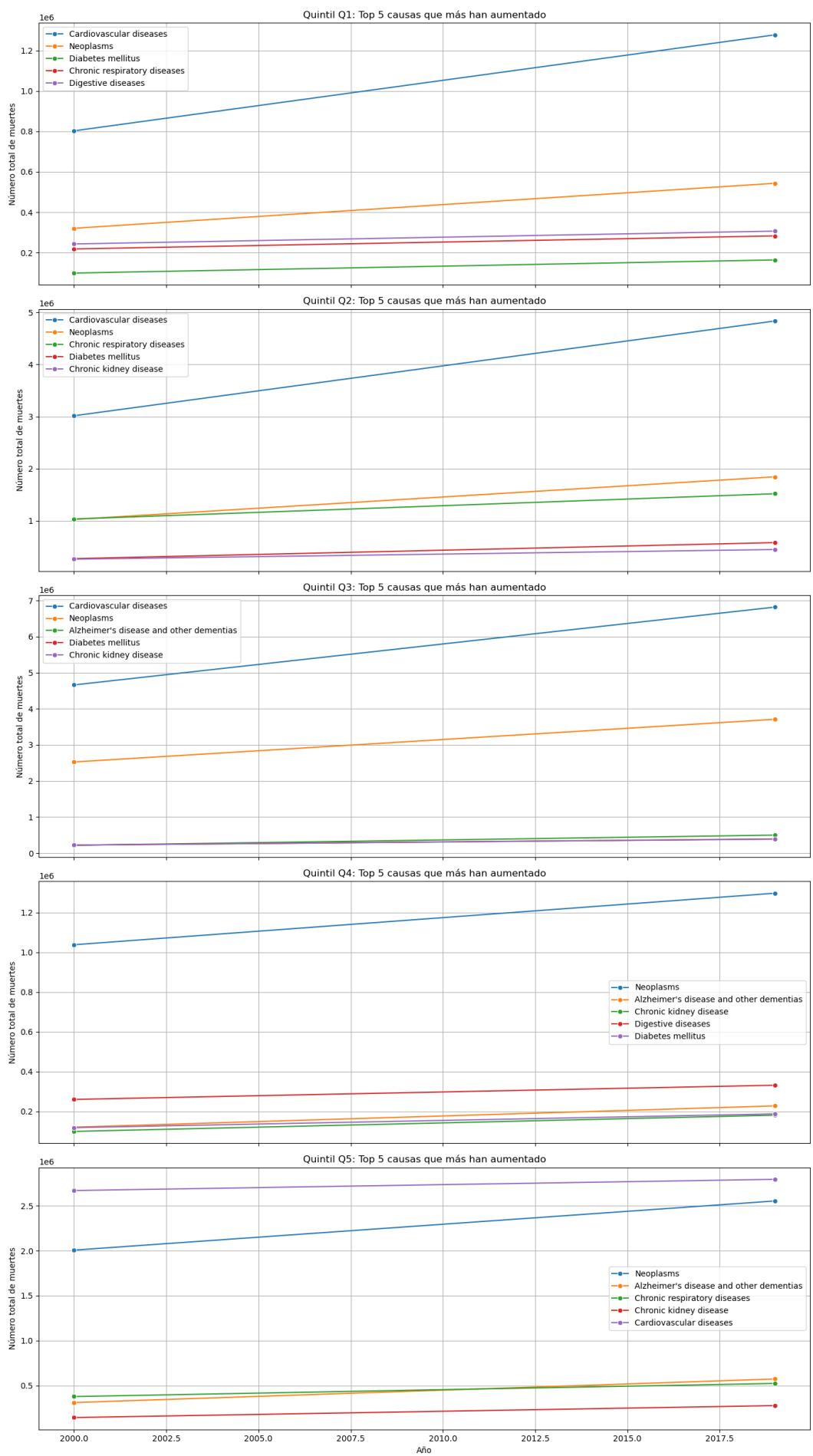
En esta gráfica vemos las top 5 causas que más han descendido para cada quintil.

A medida que aumenta el desarrollo económico, las muertes por enfermedades infecciosas disminuyen, y la carga pasa hacia enfermedades crónicas, lesiones y problemas de salud mental.

El análisis de la evolución de las cinco causas de muerte que más han disminuido entre los años 2000 y 2019 muestra un patrón claro de transición epidemiológica asociado al nivel de ingresos de los países. En el quintil Q1 (países de menor renta), las reducciones más importantes corresponden a enfermedades transmisibles como el VIH/SIDA, las enfermedades diarreicas, las infecciones respiratorias bajas, la malaria y la tuberculosis. Estos descensos reflejan la expansión del acceso a tratamientos básicos, campañas de prevención y mejoras graduales en los determinantes sociales de la salud, aunque los valores iniciales y finales siguen siendo elevados en comparación global. En el quintil Q2, se observa un patrón similar, pero con una presencia creciente de mejoras en la salud materno-infantil, especialmente en la reducción de trastornos neonatales y deficiencias nutricionales, lo que sugiere avances en la atención sanitaria primaria y programas de protección alimentaria.

A medida que avanzamos hacia el quintil Q3 (niveles medios de renta), se empieza a evidenciar la transición desde un perfil de mortalidad dominado por enfermedades infecciosas hacia uno en el que cobran mayor peso las enfermedades crónicas y los problemas de salud mental. En este grupo aparecen como causas significativas la enfermedad respiratoria crónica y las autolesiones, lo que indica la influencia creciente de factores como la contaminación, los cambios en los estilos de vida y la vulnerabilidad psicosocial. En el quintil Q4, las enfermedades cardiovasculares pasan a ocupar un rol prioritario, junto con las lesiones por accidentes de tráfico y los problemas de salud mental, lo que refleja patrones de urbanización, incremento del sedentarismo y envejecimiento poblacional. Finalmente, en el quintil Q5 (países de mayor renta), aunque el número total de muertes es menor, las principales reducciones se observan en causas vinculadas a comportamientos sociales y factores ambientales, como las lesiones por accidentes viales y la violencia interpersonal, mientras que las enfermedades infecciosas persisten en niveles muy reducidos.

En conjunto, los resultados muestran que, a medida que aumenta el nivel de desarrollo económico, la carga de mortalidad se desplaza desde las enfermedades infecciosas asociadas a la pobreza estructural hacia enfermedades crónicas, lesiones y problemas de salud mental. Este patrón confirma la teoría de la transición epidemiológica y subraya la necesidad de adaptar las estrategias de salud pública a las condiciones socioeconómicas específicas de cada contexto, priorizando tanto la consolidación de sistemas sanitarios básicos en los países de menor renta como la prevención y promoción de estilos de vida saludables en entornos de mayor desarrollo.



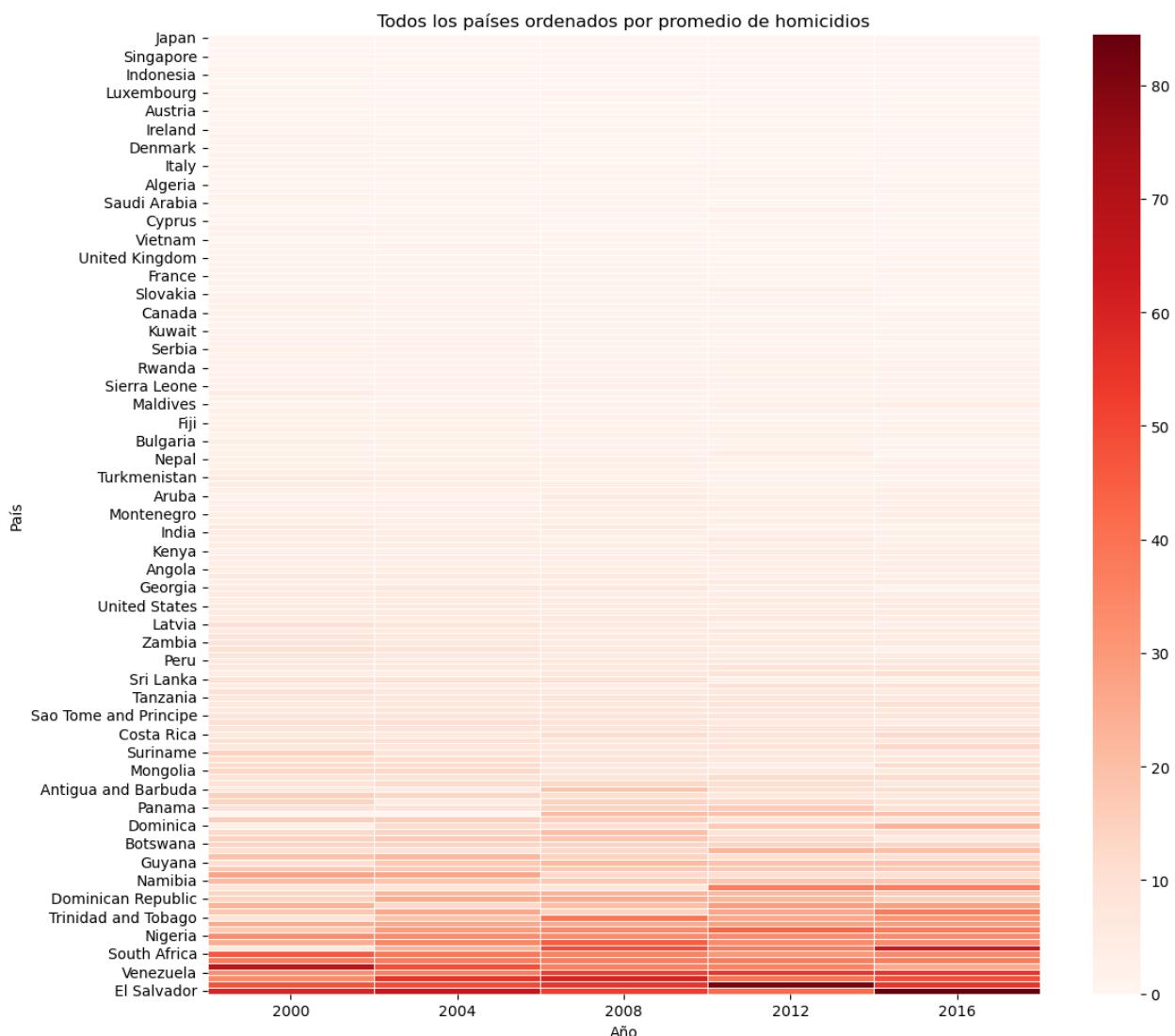
Por el contrario de lo observado en las causas de muerte que más han disminuido, los datos muestran que, entre los años 2000 y 2019, las causas de muerte que más han aumentado en todos los quintiles de renta corresponden principalmente a enfermedades crónicas y no transmisibles. En los quintiles Q1 y Q2 (países de menor renta), se observa el incremento de enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes y patologías respiratorias y digestivas. Este patrón refleja la aparición de una doble carga de enfermedad: mientras que las enfermedades infecciosas siguen siendo relevantes, comienzan a crecer las enfermedades crónicas asociadas a urbanización acelerada, cambios alimentarios, sedentarismo y menor acceso a diagnóstico y tratamientos de larga duración. En estos países, la transición epidemiológica se encuentra en una fase intermedia, donde la mortalidad se reparte entre causas transmisibles y no transmisibles, dificultando la planificación sanitaria.

En el quintil Q3, correspondiente a países de renta media, la transición se hace más evidente. Las enfermedades cardiovasculares se consolidan como la primera causa de muerte en aumento, seguidas del cáncer, la diabetes, la enfermedad renal crónica y, de forma destacada, la enfermedad de Alzheimer. Este comportamiento está estrechamente vinculado al envejecimiento poblacional y al aumento de la esperanza de vida, lo que indica una progresión hacia un perfil completamente crónico.

Finalmente, en los quintiles Q4 y Q5 (países de mayor renta), las causas que más aumentan son principalmente neoplasias (cáncer) y demencias, especialmente Alzheimer, seguidas de enfermedades cardiovasculares, respiratorias crónicas y enfermedad renal. Este patrón corresponde a poblaciones con alta longevidad, mejor control de las enfermedades infecciosas y mayor supervivencia tras eventos cardiovasculares agudos. Sin embargo, esta mayor supervivencia prolonga el tiempo de exposición a factores de riesgo acumulativos, incrementando la carga de enfermedad crónica y degenerativa. En estos contextos, la mortalidad está fuertemente asociada a factores de estilo de vida, envejecimiento y comorbilidades, lo que exige políticas centradas en la promoción de hábitos saludables, prevención primaria y cuidados de larga duración.

En conjunto, la comparación entre los gráficos de disminución y aumento de la mortalidad evidencia claramente la transición epidemiológica global: los países de menor renta siguen reduciendo muertes por enfermedades infecciosas, mientras comienzan a enfrentar un incremento de patologías crónicas. En los países de mayor renta, la mortalidad está determinada principalmente por enfermedades cardiovasculares, cáncer y demencias, directamente relacionadas con la longevidad y los estilos de vida urbanos. Estos resultados subrayan la importancia de adaptar las estrategias sanitarias a cada nivel de desarrollo, priorizando tanto la consolidación de la atención primaria y las intervenciones comunitarias en países de menor renta como la prevención de enfermedades crónicas y el fortalecimiento de los sistemas de cuidados a largo plazo en enfermedades crónicas y el fortalecimiento de los sistemas de cuidados a largo plazo en países de mayor desarrollo económico.

## Análisis de tasa de homicidios



Mapa de Calor: Tasa de Homicidios por País

El mapa de calor que representa la tasa de homicidios por cada 100K habitantes en una selección de países entre los años mostrados.

### Hipótesis Analíticas

1. Inestabilidad Política y Conflictos Sociales. Existe una posible correlación entre períodos de alta inestabilidad política o conflictos sociales y el aumento de las tasas de homicidios. Ejemplo: El pico en El Salvador en 2015 podría estar vinculado a un incremento en la violencia de pandillas o tensiones sociopolíticas. Países como Honduras también muestran picos que podrían relacionarse con la actividad de grupos criminales organizados.

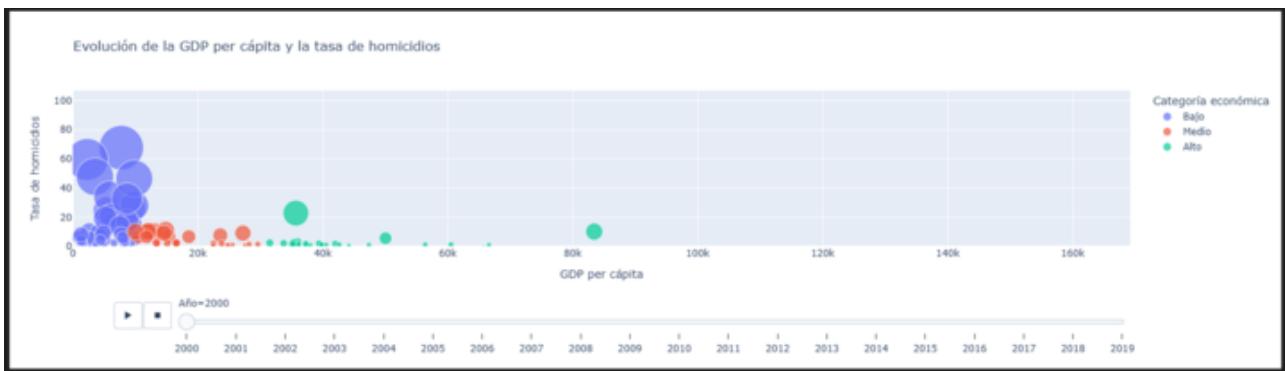
2. Desarrollo Económico y Desigualdad. Se plantea que la tasa de homicidios está inversamente relacionada con el nivel de desarrollo económico y la desigualdad social.

Los países con tasas bajas (como Japón o los escandinavos) suelen tener:

- Alto Índice de Desarrollo Humano (IDH)
- Bajo coeficiente de Gini (menor desigualdad) es una medida que cuantifica la desigualdad en la distribución de ingresos o riqueza dentro de una sociedad.

En cambio, países con tasas elevadas (celdas más oscuras) tienden a presentar:

- Menor desarrollo institucional
- Mayores niveles de desigualdad



El gráfico muestra la evolución de la GDP per cápita y la tasa de homicidios entre los años mostrados para distintos países.

- Eje X: GDP per cápita (GDP por cápita)
- Eje Y: Tasa de homicidios por cada 100.000 habitantes
- Tamaño de la burbuja: Magnitud de la tasa de homicidios
- Color: Categoría económica del país (GDP baja, medio o alta)
- Animación: Permite ver cómo cambian estos valores año a año

#### Conclusiones clave

##### 1. Relación inversa evidente

A medida que la GDP per cápita aumenta, la tasa de homicidios tiende a disminuir. Los países con GDP alta suelen tener tasas de homicidio más bajas.

##### 2. Persistencia de violencia en economías bajas

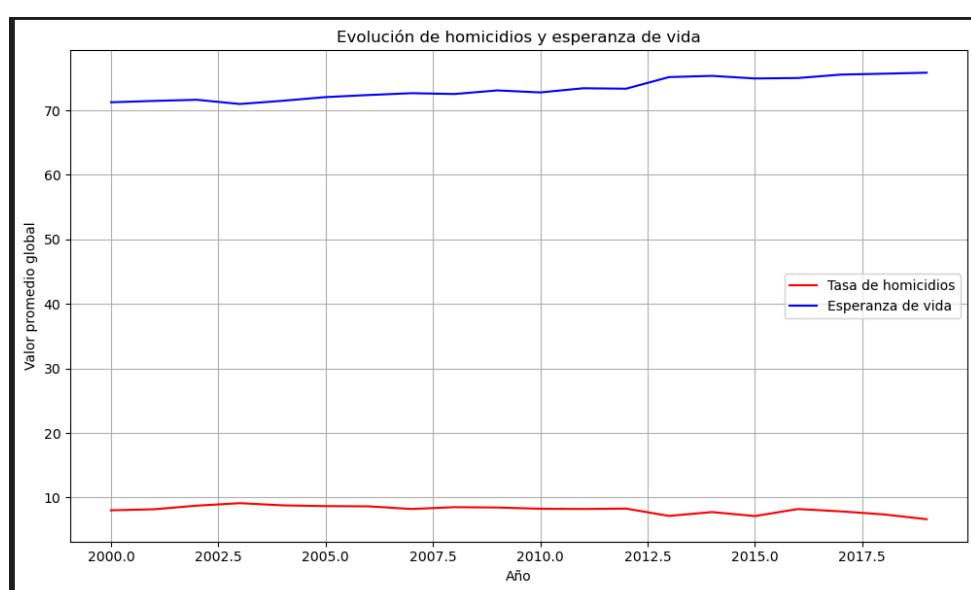
Los países con GDP bajo presentan burbujas más grandes y más altas en el eje Y, lo que indica tasas de homicidio elevadas y persistentes.

##### 3. Estabilidad en economías altas

Los países con GDP alto muestran poca variación en homicidios a lo largo del tiempo, lo que sugiere mayor estabilidad social.

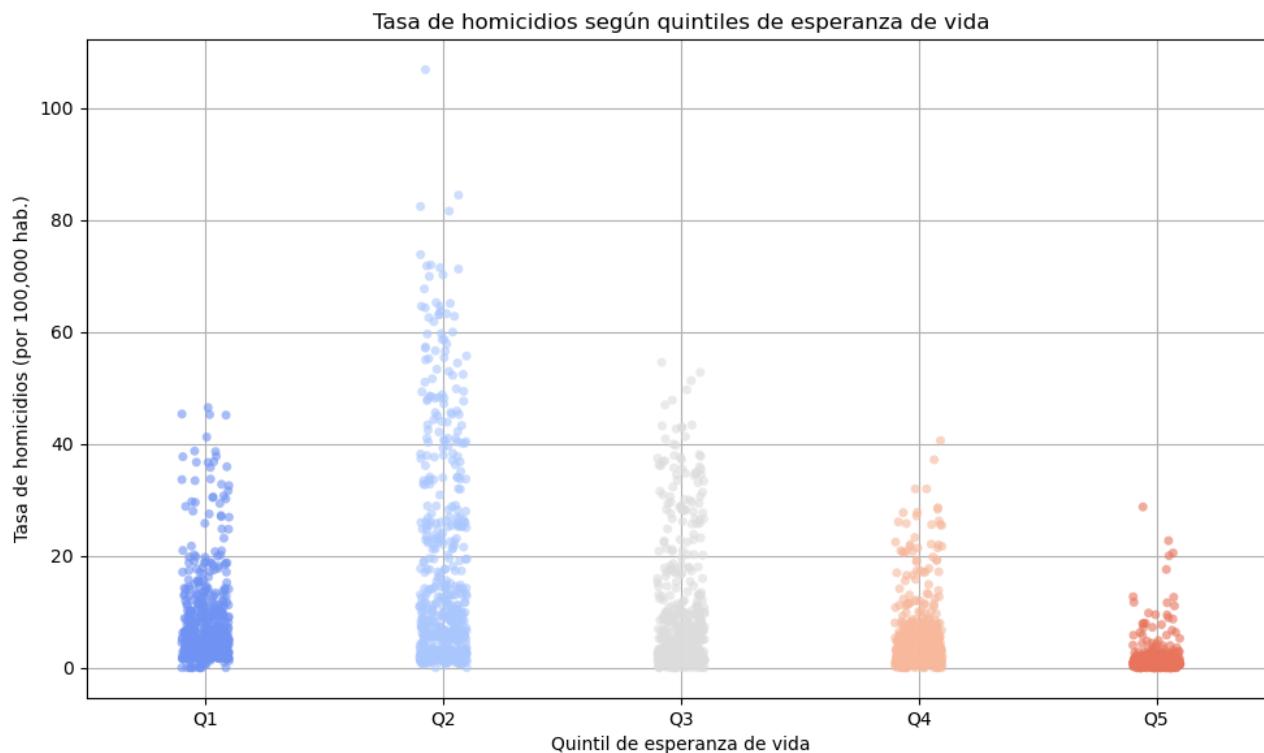
##### 4. Casos atípicos

Algunos países con GDP media o alta presentan tasas de homicidio inesperadamente altas, lo que podría deberse a factores políticos, sociales o culturales específicos.



El gráfico muestra dos líneas, una roja para la tasa global promedio de homicidios, y una azul para la esperanza de vida promedio. El eje X representa los años, y el eje Y los valores promedio.

La esperanza de vida muestra una tendencia ascendente suave, pasando de ~70 a ~73 años. La tasa de homicidios fluctúa más, con picos y caídas, pero se mantiene entre 6 y 10. No hay una relación directa entre ambas curvas, lo que sugiere que a nivel global, la violencia no ha impedido el avance en salud pública.



En este gráfico hemos agrupado los países en quintiles según su esperanza de vida (Q1 = menor, Q5 = mayor).

El stripplot muestra cómo varía la tasa de homicidios dentro de cada grupo de esperanza de vida.

El gráfico muestra una tendencia descendente clara: al aumentar la esperanza de vida (Q1→Q5), la tasa de homicidios disminuye.

Los países con mayor longevidad (Q4–Q5) tienen niveles de homicidios muy bajos.

Los de menor esperanza de vida (Q1–Q2) presentan más dispersión y tasas altas.

Refuerza la relación inversa entre violencia y longevidad.

## **4. CONCLUSIONES**

El presente análisis confirma la estrecha relación entre los indicadores socioeconómicos y los resultados en salud pública a nivel global. En primer lugar, se observa una **correlación positiva y significativa entre el gasto sanitario y la esperanza de vida**, lo que sugiere que **la inversión en salud contribuye al aumento de la longevidad poblacional**. Sin embargo, este efecto depende en gran medida de la eficiencia, accesibilidad y equidad de los sistemas sanitarios, ya que algunos países logran mejores resultados con menores niveles de gasto gracias a estructuras más eficientes y preventivas.

Asimismo, se evidencia con claridad el proceso de transición epidemiológica global: a medida que los países aumentan su nivel de desarrollo económico, las muertes por enfermedades infecciosas y prevenibles, como la malaria, la tuberculosis o las enfermedades diarreicas, disminuyen, mientras que crece la prevalencia de enfermedades crónicas no transmisibles, como las cardiovasculares, el cáncer, la diabetes o las demencias. **Este cambio refleja el impacto de la modernización, el envejecimiento poblacional y los nuevos estilos de vida urbanos.**

**La vacunación se confirma como uno de los factores más determinantes en la mejora de la salud global.** Las correlaciones negativas muy intensas entre la cobertura vacunal y la mortalidad por enfermedades prevenibles ( $r \approx -0.9$  en varios casos) demuestran que la inmunización masiva no solo reduce la mortalidad infantil, sino que **aumenta directamente la esperanza de vida, siendo especialmente eficaz en países de renta baja.**

Por otro lado, los resultados muestran que la pobreza y la desigualdad económica son determinantes estructurales de la salud. **La esperanza de vida presenta correlaciones negativas fuertes con la proporción de población bajo el umbral de pobreza ( $r = -0.84$ ) y con el índice de desigualdad (Gini).** No solo importa el nivel de riqueza de un país, sino cómo se distribuye: sociedades con mayor equidad logran mejores resultados sanitarios incluso con ingresos medios más bajos.

**El análisis también pone de manifiesto que el gasto sanitario pierde efectividad en contextos de alta desigualdad.** Países con elevados niveles de inversión, pero sistemas de acceso fragmentados, como Estados Unidos, presentan esperanzas de vida inferiores a las esperadas. Por tanto, el gasto por sí solo no garantiza salud si no se acompaña de políticas redistributivas y de cohesión social.

En relación con la salud mental, los datos indican que los suicidios y otros problemas de bienestar emocional no dependen únicamente del nivel económico o del gasto sanitario, sino también de factores culturales, sociales y psicológicos. Este hallazgo refuerza la necesidad de integrar la salud mental en las estrategias globales de salud pública.

Finalmente, se observa una **relación inversa entre el PIB per cápita y las tasas de homicidios**, lo que sugiere que la estabilidad económica e institucional es un factor protector frente a la violencia y la inseguridad, y por tanto, un determinante indirecto del bienestar poblacional.

## **5. RECOMENDACIONES**

1. Fomentar la equidad sanitaria global, garantizando el acceso universal a servicios de calidad y reduciendo las brechas entre países y grupos socioeconómicos.
2. Priorizar la inversión en prevención y vacunación, especialmente en regiones de bajos ingresos, para consolidar los avances logrados en la reducción de enfermedades infecciosas.
3. Integrar las políticas de salud con estrategias de reducción de pobreza y desigualdad, reconociendo que la distribución equitativa de los recursos es esencial para mejorar los resultados sanitarios.
4. Reforzar la atención a la salud mental y el bienestar social, impulsando programas de prevención del suicidio y apoyo psicológico en todos los niveles de renta.
5. Optimizar la eficiencia del gasto sanitario, promoviendo sistemas centrados en la atención primaria, la educación sanitaria y la prevención de enfermedades crónicas.
6. Fortalecer la cooperación internacional y el intercambio de datos, mejorando la capacidad analítica y de vigilancia epidemiológica en países en desarrollo.
7. Promover entornos saludables y sostenibles, donde el desarrollo económico vaya acompañado de cohesión social, educación, y políticas activas frente a la desigualdad y los factores de riesgo asociados al envejecimiento.

## **6. DASHBOARD**

Atendiendo a la creación de nuestro dashboard en Power BI comentar que se ha creado con el objetivo de analizar y visualizar de forma integrada diversos indicadores sanitarios, económicos y sociales a nivel global.

Previamente a la construcción del dashboard, se realizó un proceso de integración y limpieza de datos utilizando Python, en el que se unificaron los distintos datasets disponibles en una única base de datos. Este paso permitió estructurar y homogeneizar la información, garantizando la coherencia de las variables y facilitando su posterior análisis en Power BI.

### **Estructura del dashboard**

El panel de control se compone de varias pestañas, cada una enfocada en un conjunto específico de indicadores clave:

#### **1. Resumen general:**

Ofrece una visión global de todas las variables analizadas. Incluye una pestaña de filtros que permite segmentar la información por país, año y quintil (según el análisis general del proyecto). Además, incorpora dos botones de marcadores, uno para restablecer los filtros a su estado inicial y otro que filtra directamente los datos de España, permitiendo observar los KPIs de este país de forma específica.

#### **2. Esperanza de vida:**

Muestra indicadores principales y su evolución temporal mediante una gráfica y una tabla, lo que permite analizar las tendencias en la esperanza de vida a lo largo de los años y compararlas entre países.

#### **3. Causas de muerte:**

Presenta tarjetas con las principales causas de mortalidad, una tabla con el detalle por país y causa, y un gráfico tipo treemap donde el tamaño de los recuadros representa la incidencia relativa de cada causa. Incluye también filtros interactivos para facilitar la exploración de los datos.

#### **4. Pobreza:**

En esta sección se analizan indicadores socioeconómicos como el índice de Gini, el índice

MDL y el ratio de Palma, acompañados de gráficos que muestran:

- La población que vive con menos de 6,85 dólares al día.
- La evolución del índice de Gini por año.
- La evolución de la polarización por año.

#### **5. Ratio de suicidio:**

Se representa mediante tres tarjetas resumen (promedio de renta per cápita, inversión sanitaria y ratio de suicidio), junto con una tabla que desglosa estos indicadores por quintil y país. También se incluyen gráficos sobre la evolución del ratio de suicidio y sus filtros asociados.

#### **6. Tasa de homicidio:**

Esta pestaña mantiene una estructura similar a la anterior, con tarjetas que recogen la renta per cápita promedio, la inversión en sanidad y la tasa de homicidio por cada mil habitantes. Además, incorpora una tabla con los datos desagregados por país y dos gráficos que muestran:

- La evolución promedio de la tasa de homicidio.
- La tasa de homicidio anual.

#### **7. Tasa de vacunación:**

Incluye una tabla con el porcentaje de niños vacunados por enfermedad y año, un desglose de las vacunas más aplicadas y un gráfico con la evolución general de la tasa de vacunación en las enfermedades consideradas en el análisis.

## **7. MODELO DE PREDICCIÓN DE ESPERANZA DE VIDA**

Esta sección presenta un modelo predictivo de esperanza de vida desarrollado mediante técnicas de Machine Learning, utilizando datos globales del período 2000-2019. El análisis integra ocho bases de datos internacionales que abarcan 132 países, evaluando cinco algoritmos diferentes para identificar el modelo más preciso. El objetivo es Desarrollar un modelo predictivo robusto que estime la esperanza de vida poblacional basándose en indicadores multidimensionales de desarrollo socioeconómico y salud pública, con el propósito de:

- Identificar los factores más determinantes de la longevidad poblacional
- Cuantificar el impacto relativo de cada variable en la esperanza de vida
- Proporcionar una herramienta para simulación de escenarios de política pública
- Permitir benchmarking internacional entre países con niveles de desarrollo similares

### **Datos**

El modelo integra ocho bases de datos internacionales de alta credibilidad:

1. **Esperanza de vida:** 20,755 registros - Variable objetivo del modelo
2. **PIB per cápita:** 10,108 observaciones - Penn World Table con ajuste PPA
3. **Gasto público en salud:** 4,014 registros - Porcentaje del PIB
4. **Cobertura de vacunación:** 7,897 registros - 13 tipos de vacunas
5. **Tasa de suicidios:** 3,880 observaciones - Estandarizada por edad (GHO)
6. **Tasa de homicidios:** 4,204 registros - UNODC por 100,000 habitantes
7. **Mortalidad por causas:** 6,840 registros - 31 causas de muerte específicas
8. **Indicadores de pobreza:** 2,602 registros - 109 variables económicas y distribución de ingresos

### **Procesamiento y normalización**

- **Período temporal:** 2000-2019 (20 años) - Seleccionado por disponibilidad y calidad óptima de datos
- **Cobertura geográfica:** 132 países presentes en todos los datasets tras normalización
- **Método de integración:** Merge secuencial por país (Entity/Code) y año (Year)
- **Normalización de nombres:** Estandarización de denominaciones de países y códigos ISO para garantizar consistencia.

## **Variables dependiente**

**Esperanza de vida al nacer (años)** - Promedio de años que se espera viva un recién nacido bajo condiciones de mortalidad actuales.

## **Variables Predictorias**

El modelo utiliza 8 variables independientes seleccionadas por su relevancia teórica y correlación empírica:

1. **PIB per cápita (gdp\_per\_capita)** - Dólares ajustados por PPA, proxy de desarrollo económico
2. **Vacunación DTP3 (vaccination\_dtp3)** - % de niños de 1 año inmunizados contra difteria-tétanos-pertussis
3. **Vacunación MCV1 (vaccination\_mcv1)** - % de niños de 1 año con primera dosis de sarampión
4. **Gasto en salud (health\_expenditure)** - Gasto gubernamental en salud como % del PIB
5. **Pobreza extrema (poverty\_215)** - % población bajo línea de \$2.15/día (PPA 2017)
6. **Pobreza moderada (poverty\_685)** - % población bajo línea de \$6.85/día (PPA 2017)
7. **Tasa de suicidios (suicide\_rate)** - Tasa estandarizada por edad por 100,000 habitantes
8. **Tasa de homicidios (homicide\_rate)** - Homicidios intencionales por 100,000 habitantes

## **Metodología del modelado.**

- **División temporal:** Train-test split temporal (Train 2000 al 2017, test 2018 y 2019).
- **Justificación:** Preserva estructura temporal de los datos y evita data leakage
- **Manejo de valores nulos:** Imputación por mediana por variable (SimpleImputer de scikit-learn)
- **Normalización:** StandardScaler aplicado a variables predictoras (X) para homogeneizar escalas

## **Algoritmos evaluados**

Se implementaron cinco algoritmos de regresión supervisada:

### **A) Linear Regression**

Modelo baseline de regresión lineal múltiple. Asume relaciones lineales aditivas entre predictores y la variable objetivo.

## B) Ridge Regression

Regresión lineal con regularización L2 (penalización sobre la magnitud de coeficientes). Controla multicolinealidad.

## C) Lasso Regression

Regresión lineal con regularización L1 (puede reducir coeficientes a cero). Realiza selección automática de variables.

## D) Random Forest Regressor

Método de ensamble basado en múltiples árboles de decisión. Captura relaciones no lineales e interacciones complejas sin especificación explícita.

## E) Gradient Boosting Regressor

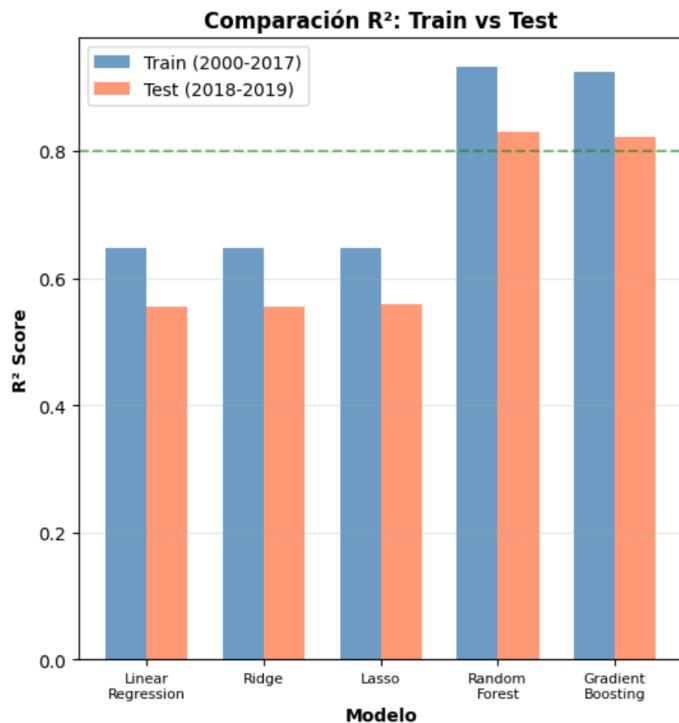
Ensamble secuencial que construye árboles corrigiendo errores del modelo anterior. Altamente efectivo para relaciones complejas.

## Resultados

### Métricas de Rendimiento por Modelo

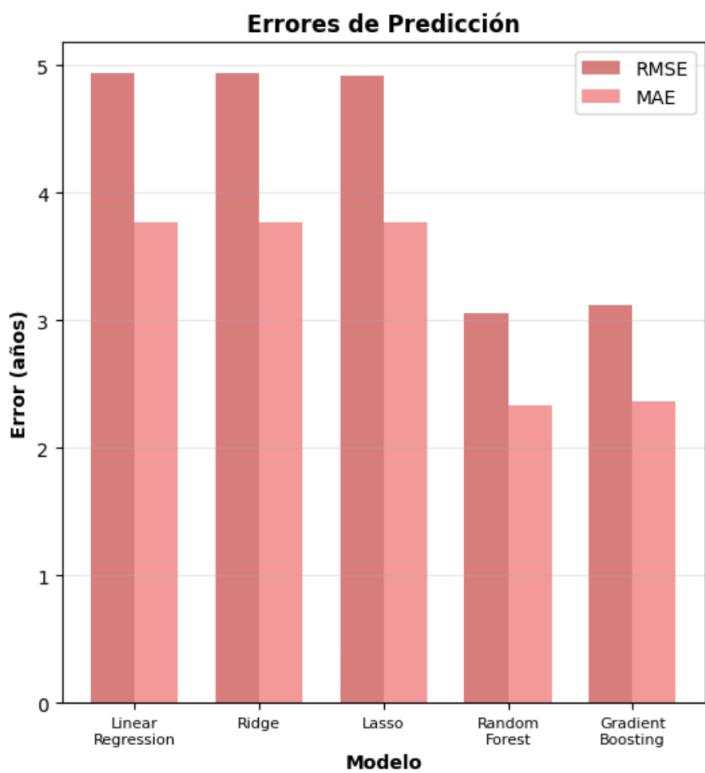
Modelo	R <sup>2</sup> Train	R <sup>2</sup> Test	RMSE (años)	MAE (años)	Evaluación
LINEAR REGRESSION	0.6477	0.5558	4.93	3.77	Modelo básico con poder predictivo moderado. Diferencia train-test (9.2 pts) indica ajuste aceptable.
RIDGE REGRESSION	0.6477	0.5558	4.93	3.77	Resultados idénticos a regresión lineal. Multicolinealidad no es un problema crítico.
LASSO REGRESSION	0.6471	0.5582	4.92	3.77	Leve mejora en test (0.24 pts R <sup>2</sup> ).
<b>RANDOM FOREST REGRESSOR ★</b>	0.9317	0.8291	3.06	2.33	<b>MODELO SELECCIONADO.</b> Excelente capacidad predictiva. Captura relaciones no lineales.
GRADIENT BOOSTING REGRESSOR	0.9246	0.8227	3.12	2.37	Segundo mejor modelo. Excelente alternativa.

## Interpretación de resultados.



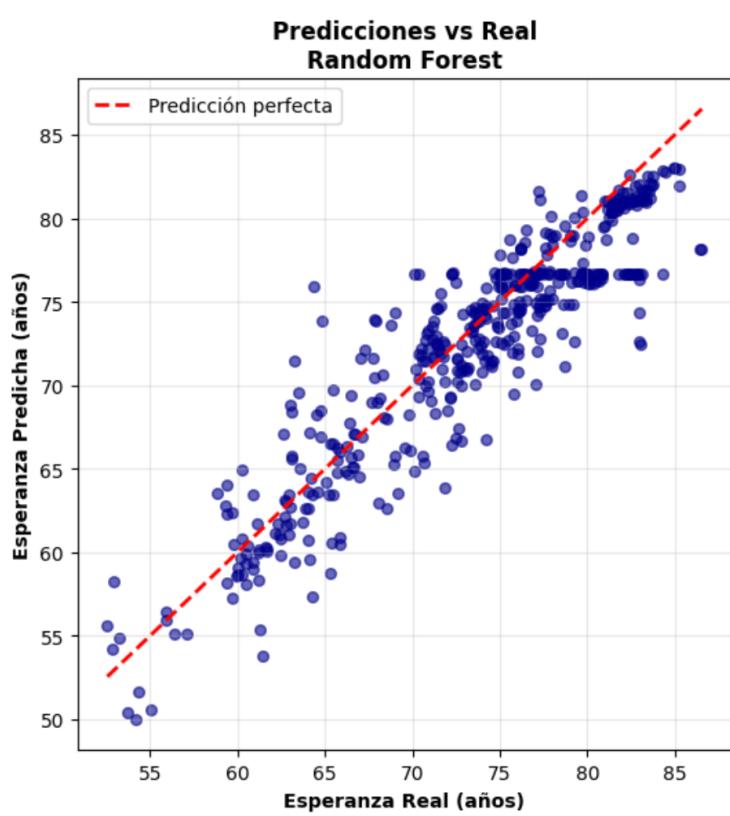
Random Forest y Gradient Boosting superan significativamente a modelos lineales (+27 puntos R<sup>2</sup> en test), demostrando que la esperanza de vida tiene relaciones no lineales y umbrales con los predictores.

La diferencia train-test de ~10 puntos en los mejores modelos está dentro del rango aceptable (< 15 puntos), indicando buena generalización.



Un MAE de 2.33 años significa que en promedio, las predicciones difieren 2.33 años de la esperanza de vida real..

El RMSE ligeramente superior al MAE (3.06 vs 2.33) indica presencia de algunos outliers con errores mayores, pero no dominan el rendimiento general.



## **Modelo Seleccionado: Random Forest**

Random Forest fue seleccionado como modelo final por las siguientes razones:

1. Mayor precisión: Menor MAE (2.33 vs 2.37 años de Gradient Boosting)
2. Mejor R<sup>2</sup> en test: 0.8291, explicando 82.91% de la variación en esperanza de vida
3. Robustez: Menos sensible a outliers que modelos lineales
4. Interpretabilidad: Proporciona importancia de variables (feature importance)
5. Estabilidad: Menor varianza en predicciones que modelos secuenciales como GBM

## **Conclusiones del Modelo**

El modelo Random Forest desarrollado demuestra una capacidad predictiva excepcional ( $R^2 = 0.83$ ,  $MAE = 2.33$  años) para estimar la esperanza de vida basándose en ocho indicadores socioeconómicos y de salud pública. La diferencia de este modelo sobre regresiones lineales (mejora de 27 puntos en  $R^2$ ) confirma la naturaleza no lineal y multifactorial de los determinantes de longevidad.

Los resultados validan el enfoque metodológico: integración de múltiples fuentes de datos, normalización temporal rigurosa, imputación conservadora de valores nulos, y evaluación comparativa de múltiples algoritmos. El modelo proporciona una herramienta científicamente robusta para análisis de política pública en salud, con aplicabilidad tanto para países en desarrollo como desarrollados.

La arquitectura modular del modelo permite actualizaciones futuras con datos más recientes, incorporación de variables adicionales, y refinamiento de hiperparámetros según objetivos específicos de análisis.