

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

## Informe

# GUANAJUATO

“Arwen Yetzirah Ortiz Nuñez-Carlos Adrián Evangelista Cortés”

24 de Noviembre del 2025

Guanajuato, oficialmente Estado Libre y Soberano de Guanajuato, es una de las 32 entidades federativas de México. Con una superficie de 30,607 km<sup>2</sup>, es una de las entidades más pequeñas del país, representando solo el 1.6% del territorio nacional. Está ubicado en la región centronorte, en el corazón del Bajío, y limita al norte con Zacatecas y San Luis Potosí, al este con Querétaro, al sur con Michoacán y al oeste con Jalisco. Según el censo de 2020, su población era de 6,166,934 habitantes. Su capital y ciudad más poblada es León, y el estado se divide en 46 municipios.

El estado presenta una serie de características socioeconómicas, epidemiológicas y territoriales que influyen directamente en los patrones de mortalidad. Una de las particularidades más marcadas son las desigualdades entre zonas urbanas y rurales, especialmente en lo que respecta al acceso a servicios de salud. Municipios urbanos como León, Irapuato o Celaya cuentan con una mejor infraestructura médica, mientras que las regiones más rurales enfrentan limitaciones significativas en recursos e infraestructura sanitaria.

Otro factor relevante, particularmente en el periodo 2010-2021, es la violencia y la mortalidad por causas externas. Este fenómeno ha tenido un impacto notable en la mortalidad general, afectando de manera desproporcionada a la población masculina joven. Esta situación genera una sobremortalidad masculina que distorsiona los patrones demográficos esperados en ausencia de violencia, con consecuencias para diversos sectores de la sociedad.

Finalmente, un evento crucial que marcó la mortalidad en 2021 fue la pandemia de COVID-19. Al igual que en el resto del país, la pandemia incrementó de manera significativa la mortalidad, particularmente entre las personas mayores.

La combinación de esta nueva enfermedad con la saturación de los servicios de salud contribuyó a elevar el número de muertes durante este periodo.

En conclusión, la construcción de las tablas de vida para Guanajuato debe interpretarse a la luz de este contexto, donde convergen desigualdades estructurales, un componente de mortalidad violenta en adultos jóvenes y el efecto de una pandemia global. Estos factores condicionan las tendencias de la mortalidad y son cruciales para que los usuarios de las tablas actuales comprendan sus limitaciones y alcances.

Para abordar las particularidades de la mortalidad en Guanajuato descritas en la sección anterior, se implementó una metodología robusta y transparente en la construcción de las tablas de vida por sexo para los años 2010, 2019 y 2021. El proceso, representado en el siguiente diagrama de flujo, fue diseñado específicamente para manejar la calidad de los datos y capturar las tendencias de mortalidad, incluyendo el impacto de factores como la violencia y la pandemia de COVID-19.

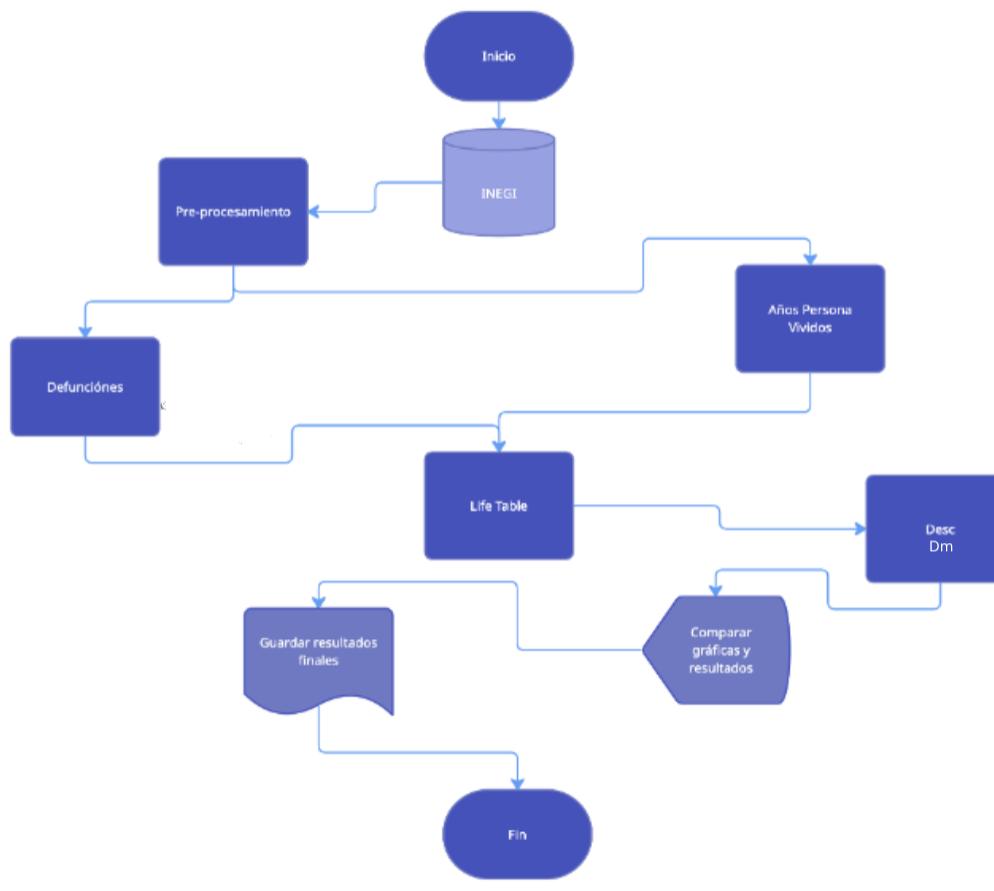


Figure 1: Diagrama de flujo

A continuación, se describe cada etapa del proceso:

- Inicio

El proyecto comienza definiendo los objetivos y el alcance del análisis demográfico, estableciendo los criterios de selección de datos y los parámetros actariales necesarios para construir las tablas de vida.

- Obtención de Datos (INEGI)

Se descargan las bases oficiales de INEGI, que contienen información de población y defunciones por edad y sexo. Esta fuente garantiza uniformidad, calidad estadística y adecuada representatividad, lo que permite elaborar indicadores comparables entre años.

- Preprocesamiento de Datos

En esta fase se realiza la limpieza inicial que incluye la revisión de duplicados, homogeneización de formatos, estandarización de edades y corrección de inconsistencias. Esta etapa prepara los datos para el análisis actuarial, reduciendo errores que puedan afectar las tasas de mortalidad.

- Incorporación de Defunciones

Se integra la base de defunciones depurada, clasificando las muertes por grupos de edad quinquenal y sexo. Esta separación permite capturar patrones críticos como picos de mortalidad masculina en edades laborales o aumentos por causas externas.

- Cálculo de Años Persona Vividos (APV)

Se estiman los años persona vividos para cada grupo poblacional. Este indicador es fundamental para obtener tasas centrales de mortalidad ( $nM_x$ ), ya que aproxima el tiempo total vivido por la población en riesgo dentro del periodo analizado.

- Construcción de la Tabla de Vida (Life Table)

Con las tasas ya calculadas, se elabora la tabla de vida completa, estimando indicadores como:  $nqx$  (probabilidad de morir),  $npx$  (probabilidad de sobrevivir),  $lx$  (sobrevivientes a cada edad),  $Lx$  (años persona vividos en cada intervalo),  $Tx$  (años por vivir por encima de la edad  $x$ ),  $ex$  (esperanza de vida); esta tabla permite describir de manera estructurada el comportamiento de la mortalidad en la población analizada.

- Cálculo de Tasas de Mortalidad (Desc. Dm)

Se derivan las tasas específicas de mortalidad a partir del cociente entre defunciones y APV.

- Comparación de Gráficas y Resultados

Se comparan los indicadores y tasas entre años o sexo, estas gráficas facilitan la interpretación del efecto demográfico de los eventos bajo estudio.

- Guardar Resultados Finales

Finalmente, se registran todos los productos del análisis: Tablas de vida completas,Tasas y parámetros actuariales,Gráficas comparativas,Bases depuradas,Documentación del proceso.

Los archivos se almacenan en formatos reproducibles (CSV, PNG, RDS), asegurando la trazabilidad y posibilidad de auditoría del estudio.

- Fin

El proceso concluye con la entrega de resultados y la validación final de que cada etapa se ejecutó de manera consistente con los estándares de análisis demográfico y actuaria.

Este flujo de trabajo aseguró un proceso ordenado, replicable y basado en evidencia, capaz de capturar las complejidades de la mortalidad en Guanajuato detalladas en el contexto inicial.

La construcción de las tablas de vida para Guanajuato requirió la implementación de diversos algoritmos demográficos y actuariales, diseñados para capturar las particularidades del estado descritas en el contexto anterior. Cada algoritmo fue seleccionado y adaptado considerando la disponibilidad de datos censales, el patrón de mortalidad regional.

El flujo de trabajo se estructuró en dos grandes fases: inicialmente, el preprocesamiento de datos que garantizó la calidad y consistencia de la información, seguido por la aplicación de algoritmos demográficos específicos para el cálculo de los años persona vividos, tasas de mortalidad y la construcción de las tablas de vida propiamente dichas. Cada etapa fue implementada en R, utilizando principalmente el paquete `data.table` para optimizar el procesamiento de los volúmenes de datos a nivel estatal.

A continuación se presenta el detalle completo de las fuentes de información, los procedimientos de limpieza y validación, así como el código específico empleado en cada etapa del cálculo, para focalizarnos en los aspectos metodológicos fundamentales.

## ***Procesamiento Inicial de Datos (00\_pre\_process)***

### **Fuentes y Obtención de Datos**

La construcción de las tablas de vida se sustentó en información oficial proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), garantizando así la confiabilidad y representatividad de los resultados para el estado de Guanajuato.

## Datos Poblacionales

Fuente Principal: INEGI – Censos de Población y Vivienda

Años: [INEGI 2010](#) y [INEGI 2020](#)

Desagregación: Por grupos de edad quinquenales y sexo

Cobertura: Estado de Guanajuato

Enlace general: [INEGI](#)

## Datos de Defunciones

Fuente Principal: INEGI – Estadísticas de Defunciones Registradas

Período: 1990–2024

Desagregación: Por edad, sexo y año de ocurrencia

Cobertura: Estado de Guanajuato

Enlace general: [INEGI – Defunciones](#)

## ***Calculo de años persona vividos (01\_apv)***

Los años persona vividos (APV) constituyen la medida fundamental de exposición al riesgo en el análisis de mortalidad, representando el tiempo total que una población está expuesta a la posibilidad de morir. Para la construcción de tablas de vida y el cálculo de tasas de mortalidad, es esencial disponer de estimaciones precisas de la población en riesgo para períodos específicos.

Esta metodología se aplicó para estimar los años persona vividos en Guanajuato para los años 2010, 2019 y 2021, permitiendo el análisis de la mortalidad durante un período que incluye eventos significativos como la pandemia de COVID-19. Las estimaciones mantienen la estructura por edad y sexo observada en los censos, garantizando la comparabilidad temporal de los indicadores calculados.

## Fórmulas para el Cálculo de Años Persona Vividos

### 1. Crecimiento Exponencial Poblacional

$$N(t) = N_0 \cdot e^{r \cdot h}$$

### 2. Tasa de Crecimiento Intrínseco

$$r = \frac{\ln\left(\frac{N_T}{N_0}\right)}{\Delta t}$$

### 3. Proyección Poblacional Simple

$$APV_{2021} = N_{2020} \cdot (1 + \gamma) \quad \text{donde } \gamma = 0.01$$

```
## Carga de paquetes ----
library(readxl)
library(reshape2)
library(lubridate)
library(ggplot2)
library(data.table)
library(dplyr)

## Función expo (crecimiento exponencial) ----
expo <- function(N_0, N_T, t_0, t_T, t){
  dt <- decimal_date(as.Date(t_T)) - decimal_date(as.Date(t_0))
  r <- log(N_T/N_0)/dt
  h <- t - decimal_date(as.Date(t_0))
  N_h <- N_0 * exp(r*h)
  return(N_h)
}

## Carga de tablas de datos ----
censos_pro <- fread("data/censos_pro.csv")

# Años persona vividos 2010 ----
# Preparar datos: unir poblaciones de 2010 y 2020
censos_wide <- dcast(censos_pro, age + sex ~ year, value.var = "pop")

# Calcular años persona vividos para 2010
censos_wide[, N_2010 := expo(`2010`, `2020`,
                           t_0 = "2010-03-15",
                           t_T = "2020-03-15",
                           t = 2010.5)]

apv2010 <- censos_wide[, .(age, sex, N = N_2010)]
apv2010[, year := 2010]

# Años persona vividos 2019 ----
censos_wide[, N_2019 := expo(`2010`, `2020`,
                           t_0 = "2010-03-15",
                           t_T = "2020-03-15",
                           t = 2019.5)]
```

```

apv2019 <- censos_wide[, .(age, sex, N = N_2019)]
apv2019[, year := 2019]

# Años persona vividos 2021 ----
censos_wide[, N_2021 := `2020` * 1.01]

apv2021 <- censos_wide[, .(age, sex, N = N_2021)]
apv2021[, year := 2021]

# Consolidar tablas 2010, 2019 y 2021 ----
apv <- rbind(apv2010, apv2019, apv2021)

# Guardar tabla APV ----
write.csv(apv, "data/apv.csv", row.names = FALSE)

```

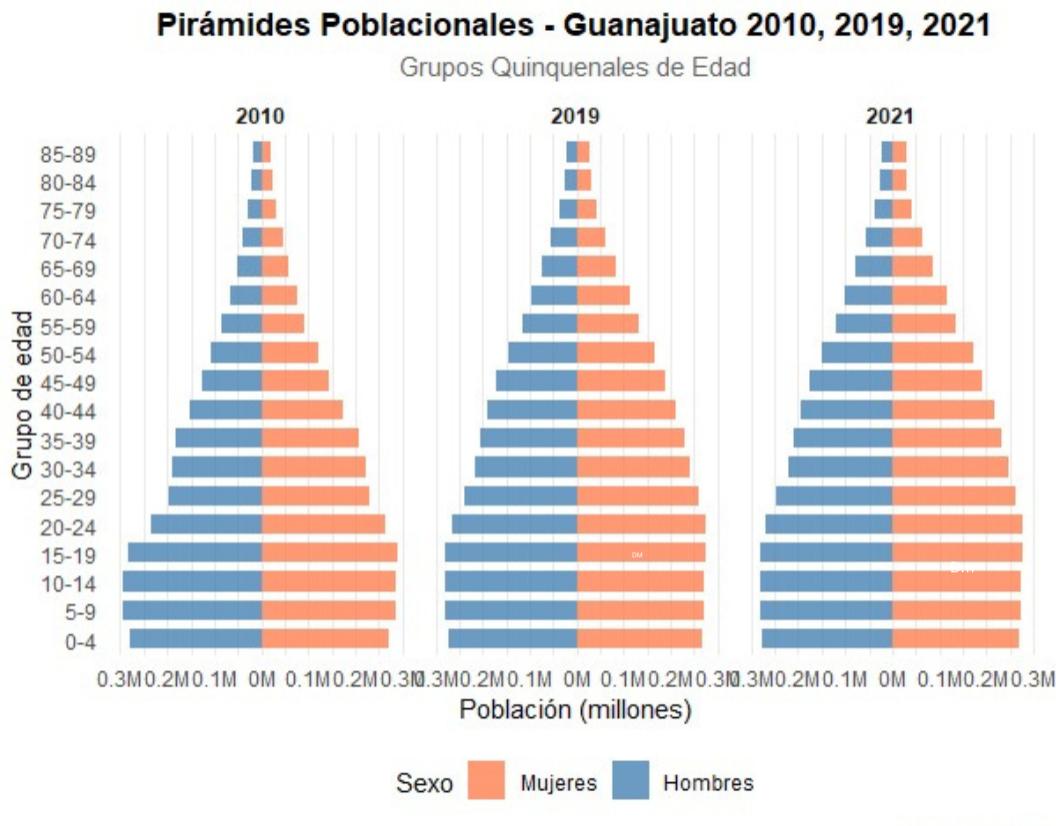


Figure 2: Piramide Poblacional Guanajuato 2010-2019-2021

La pirámide poblacional de Guanajuato muestra una transición demográfica avanzada y consolidada entre 2010 y 2021. Se observa una base más estrecha en 2021 comparada con 2010, lo que indica una disminución progresiva de la natalidad en el país.

Esta transformación refleja el paso de una estructura poblacional típica de países en desarrollo, con base ancha, hacia un perfil más característico de naciones desarrolladas, con forma de bulbo o rectángulo.

El envejecimiento poblacional es evidente mediante el ensanchamiento en los grupos de edad medios (25-55 años) y el aumento relativo de la población adulta mayor (por encima de 60 años). Estos cambios son consecuencia directa de las mejoras en la esperanza de vida y la reducción de las tasas de mortalidad que ha experimentado México en las últimas décadas.

## ***Procesamiento defunciones (02\_def)***

El procesamiento de datos de defunciones requiere técnicas específicas para manejar valores missing, estandarizar categorías de edad y realizar imputaciones que mantengan la consistencia demográfica. Este código implementa métodos de prorrataeo para distribuir defunciones no especificadas por sexo y edad

### **Fórmulas de Procesamiento**

#### **1. Limpieza y Estandarización de Edades**

"Menores de 1 año" → 0    "1-4 años" → 1    "5-9 años" → 5    "No especificado" →  $\emptyset$

$$\text{age\_numeric} = \text{extract}_{\text{first}}(\text{age}_{\text{text}})$$

#### **2. Prorrataeo por Sexo**

$$p_{\text{male}} = \frac{\text{male}}{\text{male+female}}$$

$$p_{\text{female}} = \frac{\text{female}}{\text{male+female}}$$

#### **3. Prorrataeo por Edad**

$$p_d(a) = \frac{d(a)}{\sum_i d(a_i)} \quad \text{para cada año y sexo}$$

#### **4. Propiedades de Conservación**

$$\sum \text{defunciones}_{\text{originales}} = \sum \text{defunciones}_{\text{ajustadas}}$$

## 5. Promedio para Años de Referencia

$d_{t_{\text{ref}}} = \frac{1}{n} \sum_{i=t-k}^{t+k} d_i$

```
# Preprocesamiento de defunciones 1990-2024-----
def <- read_xlsx("data/INEGI_def.xlsx", sheet = 1,
                  range = "A6:G20560")

names(def) <- c("age", "year", "reg",
                 "tot", "male", "female", "ns")
setDT(def)

# Filtro-----
def <- def[age!="Total" & year!="Total" & year>=1990]

def[ , .N, .(age)]  
  
def[ , age := gsub("Menores de ", "", age)]
def[ , age := substr(age, 1, 2)]
def[age=="1 ", age:=0]
def[age=="1-", age:=1]
def[age=="5-", age:=5]
def[age=="No", age:=NA] # prorratoe
def[ , age:=as.numeric(age)]  
  
def[ , tot := as.numeric(gsub("", "", tot))]
def[ , male := as.numeric(gsub("", "", male))]
def[ , female := as.numeric(gsub("", "", female))]
def[ , ns := as.numeric(gsub("", "", ns))]  
  
# Tabla de defunciones - comprobación
def_comp <- def[ , .(tot=sum(tot, na.rm = T),
                  male=sum(male, na.rm = T),
                  female=sum(female, na.rm = T),
                  ns=sum(ns, na.rm = T)),
                  .(year)]  
  
# Imputación
def[year=="No especificado", year:=reg]
def[ , year:=as.numeric(year)]
def_comp[ , sum(tot)]
```

```

# Tabla para prorrato de defunciones
def_pro <- def[ , .(male=sum(male, na.rm = T),
                  female=sum(female, na.rm = T),
                  ns=sum(ns, na.rm = T)),
              .(year, age)]

# Prorrato de los valores perdidos (missing)----
##sexo----
def_pro[ , tot:=male+female][ , `:=`(p_male=male/tot, p_female=female/tot)]
def_pro[ , `:=`(male_adj=males+p_male*ns, female_adj=females+p_female*ns)]
def_pro <- def_pro[ , .(year, age, male=male_adj, female=female_adj)]
sum(def_pro$male)+sum(def_pro$female)

#Formato long
def_pro <- melt.data.table(def_pro,
                            id.vars = c("year", "age"),
                            measure.vars = c("male", "female"),
                            variable.name = "sex",
                            value.name = "deaths")
#Extra, formato wide
dcast(def_pro, formula = year+age ~sex)
sum(def_pro$deaths)
def_pro[ , sum(deaths), .(year, sex)]

## Edad----
def_pro <- def_pro[ !is.na(age) ] %>%
  .[ , p_deaths := deaths / sum(deaths), .(year, sex)] %>%
  merge( def_pro[ is.na(age),
                 .(sex, year, na_deaths=deaths)],
        by = c("sex", "year")) %>%
  .[ , deaths_adj := deaths + na_deaths * p_deaths] %>%
  .[ , .(year, sex, age, deaths = deaths_adj) ]

# Guardar tabla de DEF prorrateadas----
write.csv(def_pro, "data/def_pro.csv", row.names = F)

# Carga de tablas de datos ----
def_pro <- fread("data/def_pro.csv") %>%
  .[year %in% c(2009, 2010, 2011, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022)]

```

```

## calculo del promedio para el año de referencia
def_pro[ , year_new := case_when(
  year %in% 2009:2011 ~ 2010,
  year %in% 2018:2019 ~ 2019,
  year %in% 2020:2022 ~ 2021,
  TRUE ~ as.numeric(year)
)]

# datos preparados de defunciones
def <- 
  def_pro[ ,
    .( deaths = mean( deaths ) ),
    .( year = year_new, sex, age ) ]

# Guardar tabla de DEF ----
write.csv(def, "data/def.csv", row.names = FALSE)

```



Figure 3: Grafica Evolución de Defunciones en Guanajuato

La gráfica evidencia una evolución estable durante tres décadas, seguida de un incremento progresivo antes del 2020. El impacto de la pandemia es claro y extraordinario, con un pico máximo en 2021 que rompe completamente con la tendencia histórica. Posteriormente, las defunciones descienden pero permanecen en niveles más altos que en la década previa al COVID-19, lo que refleja cambios demográficos y sanitarios de largo plazo.

### Defunciones Promedio por Edad y Sexo (2010-2020)

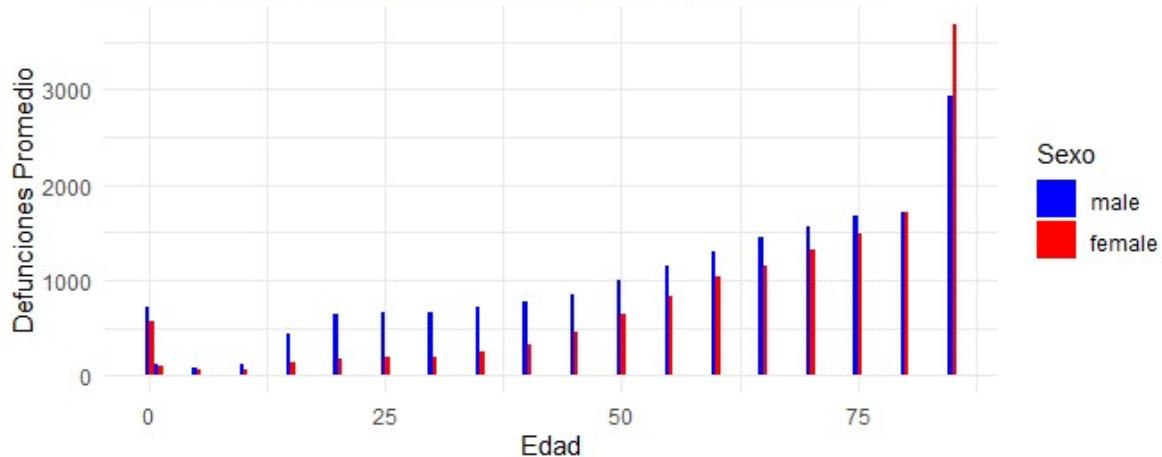


Figure 4: Defunciones Promedio 2010 vs 2020

La gráfica confirma el patrón clásico de mortalidad por edad y sexo:mortalidad muy alta en los primeros años, periodo de baja mortalidad entre la niñez y los treinta, aumento gradual desde los 40 años, incremento acelerado en adultos mayores, mayor mortalidad masculina en casi todas las etapas, excepto en edades muy avanzadas, donde las mujeres, al vivir más, concentran un mayor número de defunciones.

En conjunto, la gráfica permite comprender cómo la edad y el sexo influyen de manera diferencial en la mortalidad, mostrando una estructura coherente con tendencias demográficas esperadas para poblaciones modernas.

### ***Life Tables (03\_It)***

Las tablas de vida son instrumentos demográficos fundamentales que permiten analizar los patrones de mortalidad de una población y estimar la esperanza de vida. El método de Reed-Merrell, implementado en este código, constituye una aproximación robusta para la construcción de tablas de vida abreviadas a partir de tasas de mortalidad observadas

### **Funciones Biométricas Principales**

#### **1. Probabilidad de muerte ( $q_x$ )**

$$q_x = \frac{n_x \cdot m_x}{1 + (n_x - a_x) \cdot m_x}$$

## 2. Sobrevidentes (l)

$$l_0 = 100,000$$

$$l_{x+n} = l_x \cdot (1 - q_x)$$

## 3. Defunciones (d)

$$d_x = l_x \cdot q_x$$

## 4. Años persona vividos (L)

$$L_x = n_x \cdot l_{x+n} + a_x \cdot d_x$$

## 5. Esperanza de vida (e)

$$e_x = \frac{T_x}{l_x} \quad \text{donde} \quad T_x = \sum_{i=x}^{\omega} L_i$$

```
## Carga de paquetes ----
library(readxl)
library(reshape2)
library(lubridate)
library(ggplot2)
library(data.table)
library(dplyr)

# Función expo simplificada ----
expo <- function(N_0, N_T, t_0, t_T, t){
  # Convertir fechas a años decimales manualmente
  date_to_decimal <- function(date_str) {
    date <- as.Date(date_str)
    year <- as.numeric(format(date, "%Y"))
    start <- as.Date(paste0(year, "-01-01"))
    end <- as.Date(paste0(year + 1, "-01-01"))
    year + as.numeric(date - start) / as.numeric(end - start)
  }

  dt <- date_to_decimal(t_T) - date_to_decimal(t_0)
  r <- log(N_T/N_0)/dt
  h <- t - date_to_decimal(t_0)
  N_0 * exp(r*h)
}
```

```

# Función lt_abr ----
lt_abr <- function(x, mx, sex, l0 = 1e5) {
  n <- c(diff(x), NA)
  ax <- rep(0.5, length(x))

  if (x[1] == 0) {
    ax[1] <- ifelse(sex == "m",
                     ifelse(mx[1] >= 0.107, 0.33, 0.045 + 2.684 * mx[1]),
                     ifelse(mx[1] >= 0.107, 0.35, 0.053 + 2.800 * mx[1]))
  }

  if (x[2] == 1) {
    ax[2] <- ifelse(sex == "m",
                     ifelse(mx[1] >= 0.107, 1.352, 1.651 - 2.816 * mx[1]),
                     ifelse(mx[1] >= 0.107, 1.361, 1.522 - 1.518 * mx[1]))
  }

  if (!is.na(n[length(n)])) ax[length(ax)] <- 1 / mx[length(mx)]

  qx <- n * mx / (1 + (n - ax) * mx)
  qx[length(qx)] <- 1

  lx <- numeric(length(x))
  lx[1] <- 10
  for (i in 2:length(lx)) lx[i] <- lx[i - 1] * (1 - qx[i - 1])

  dx <- lx * qx
  Lx <- numeric(length(x))
  for (i in 1:(length(Lx) - 1)) Lx[i] <- n[i] * lx[i + 1] + ax[i] * dx[i]
  Lx[length(Lx)] <- lx[length(lx)] * ax[length(ax])

  Tx <- rev(cumsum(rev(Lx)))
  ex <- Tx / lx

  data.frame(x = x, mx = mx, qx = qx, ax = ax, lx = lx, dx = dx,
             Lx = Lx, Tx = Tx, ex = ex)
}

# Defunciones
def <- fread("data/def_pro.csv") [year %in% c(2009:2011, 2018:2022)]
def[, year_new := fcase(
  year %in% 2009:2011, 2010,

```

```

year %in% 2018:2019, 2019,
  year %in% 2020:2022, 2021
)]
def <- def[, .(deaths = mean(deaths, na.rm = TRUE)),
           .(year = year_new, sex, age)]
write.csv(def, "data/def.csv", row.names = FALSE)

# Población - cálculo simplificado
censos <- fread("data/censos_pro.csv")
censos_wide <- dcast(censos, age + sex ~ year, value.var = "pop")

# Calcular años persona vividos
censos_wide[, N_2010 := expo(`2010`, `2020`, "2010-03-15",
                           "2020-03-15", 2010.5)]
censos_wide[, N_2019 := expo(`2010`, `2020`, "2010-03-15",
                           "2020-03-15", 2019.5)]
censos_wide[, N_2021 := `2020` * 1.01] # Proyección simple

apv <- rbind(
  censos_wide[, .(age, sex, N = N_2010, year = 2010)],
  censos_wide[, .(age, sex, N = N_2019, year = 2019)],
  censos_wide[, .(age, sex, N = N_2021, year = 2021)])
)
write.csv(apv, "data/apv.csv", row.names = FALSE)

# Análisis principal ----
def <- fread("data/def.csv")
apv <- fread("data/apv.csv")

lt_input <- merge(apv, def, by = c("year", "sex", "age"), all.x = TRUE)
lt_input[, mx := deaths/N]

# Asegurar que la codificación de sexo sea consistente
lt_input[, sex := ifelse(sex == "male", "m",
                         ifelse(sex == "female", "f", sex))]

lt_input <- lt_input[!is.na(mx) & is.finite(mx) & mx > 0]

# Tablas de mortalidad
lt_output <- data.table()
for(s in c('m', 'f')) {
  for(y in c(2010, 2019, 2021)) {

```

```

temp_dt <- lt_input[sex == s & year == y] [order(age)]
if(nrow(temp_dt) > 0) {
  cat(sprintf("Calculando tabla de vida para %s, año=%d\n",
              ifelse(s == "m", "hombres", "mujeres"), y))
  temp_lt <- lt_abr(x = temp_dt$age, mx = temp_dt$mx, sex = s)
  temp_lt$year <- y
  temp_lt$sex <- s
  lt_output <- rbind(lt_output, temp_lt, fill = TRUE)
}
}

# Renombrar columna x a age para evitar errores
if("x" %in% names(lt_output)) {
  setnames(lt_output, "x", "age")
}

# Guardar resultados completos
write.csv(lt_output, "data/tabla_mortalidad_guanajuato_2010_2019_2021.csv",
          row.names = FALSE)

```

A partir del código implementado obtenemos diversos resultados relevantes para el análisis demográfico; entre ellos destaca la **tabla completa de mortalidad**, de la cual seleccionamos un conjunto de **edades específicas** que concentran la mayor parte de la información significativa para el estudio.

### **Patrones de Mortalidad a través del Ciclo Vital**

La elección de estas edades responde a hitos demográficos fundamentales dentro de la estructura de mortalidad:

**Primera Infancia (0-1 año)**: Corresponde a la etapa de mayor vulnerabilidad biológica. En contextos de desarrollo medio, esta fase concentra entre el 40% y 60% de las defunciones ocurridas en menores de cinco años, lo que la convierte en un indicador crítico de condiciones sanitarias y socioeconómicas.

**Transición a la Vida Adulta (30 años)** : Esta edad es representativa del grupo económicamente activo. Bajo condiciones de salud óptimas, la mortalidad debería ser relativamente baja, por lo que su análisis permite identificar riesgos emergentes o patrones anómalos dentro de la población adulta.

**Inicio de la Senectud (65 años)**: Considerada internacionalmente como el umbral para el estudio de la mortalidad en personas mayores.

**Longevidad Avanzada (85 años):** Representa la etapa en la que se concentra la mortalidad asociada al envejecimiento profundo. Su análisis permite observar la supervivencia extrema y evaluar la calidad del sistema de salud y los apoyos sociales, ya que la mortalidad a estas edades está fuertemente influida por enfermedades crónicas, fragilidad acumulada y condiciones de cuidado de largo plazo.

Su evaluación es clave para comprender el envejecimiento poblacional, así como para proyectar necesidades en sistemas de salud, seguridad social y pensiones

Table 1: Tabla de Mortalidad - Edades Clave - Guanajuato 2010-2021

age	mx	qx	ax	lx	dx	Lx	Tx	ex	year	sex
0	0.015350	0.015137	0.086199	100000.0	1513.7	98616.7	7106925.4	71.07	2010	Hombres
1	0.000625	0.002495	1.607775	98486.3	245.7	393357.3	7008308.7	71.16	2010	Hombres
5	0.000276	0.001378	0.500000	98240.6	135.4	490593.5	6614951.4	67.33	2010	Hombres
30	0.002208	0.010929	0.500000	95521.3	1044.0	472908.4	4186803.2	43.83	2010	Hombres
65	0.021046	0.096127	0.500000	77079.9	7409.5	352056.7	1101431.2	14.29	2010	Hombres
85	0.147977	1.000000	0.500000	34692.0	34692.0	17346.0	17346.0	0.50	2010	Hombres
0	0.012237	0.012102	0.087264	100000.0	1210.2	98895.4	7520007.1	75.20	2010	Mujeres
1	0.000539	0.002154	1.503424	98789.8	212.8	394627.8	7421111.6	75.12	2010	Mujeres
5	0.000225	0.001123	0.500000	98577.0	110.7	492386.6	7026483.8	71.28	2010	Mujeres
30	0.000673	0.003355	0.500000	97564.9	327.3	486351.8	4574497.5	46.89	2010	Mujeres
65	0.016108	0.075097	0.500000	85143.9	6394.0	396946.3	1305543.6	15.33	2010	Mujeres
85	0.137993	1.000000	0.500000	44571.5	44571.5	22285.8	22285.8	0.50	2010	Mujeres
0	0.012779	0.012630	0.079299	100000.0	1263.0	98837.1	6864517.0	68.65	2019	Hombres
1	0.000519	0.002075	1.615015	98737.0	204.9	394459.3	6765679.9	68.52	2019	Hombres
5	0.000247	0.001235	0.500000	98532.1	121.7	492112.9	6371220.6	64.66	2019	Hombres
30	0.004467	0.021896	0.500000	93420.8	2045.5	457898.8	3955136.4	42.34	2019	Hombres
65	0.020668	0.094547	0.500000	71778.3	6786.4	328352.9	1035310.1	14.42	2019	Hombres
85	0.145974	1.000000	0.500000	33020.8	33020.8	16510.4	16510.4	0.50	2019	Hombres
0	0.010941	0.010832	0.083635	100000.0	1083.2	99007.4	7524291.0	75.24	2019	Mujeres
1	0.000475	0.001897	1.505392	98916.8	187.6	395198.9	7425283.7	75.07	2019	Mujeres
5	0.000212	0.001057	0.500000	98729.1	104.4	493176.0	7030084.7	71.21	2019	Mujeres
30	0.001018	0.005065	0.500000	97433.4	493.5	484946.0	4575828.4	46.96	2019	Mujeres
65	0.014965	0.070105	0.500000	85148.4	5969.3	398879.8	1319005.8	15.49	2019	Mujeres
85	0.143572	1.000000	0.500000	45289.2	45289.2	22644.6	22644.6	0.50	2019	Mujeres
0	0.010221	0.010125	0.072433	100000.0	1012.5	99060.8	6533716.8	65.34	2021	Hombres
1	0.000448	0.001790	1.622217	98987.5	177.1	395528.8	6434656.0	65.00	2021	Hombres
5	0.000254	0.001269	0.500000	98810.3	125.4	493487.5	6039127.2	61.12	2021	Hombres
30	0.005078	0.024822	0.500000	93237.3	2314.3	455772.2	3620613.6	38.83	2021	Hombres
65	0.033120	0.144119	0.500000	64336.0	9272.0	279955.6	798882.5	12.42	2021	Hombres
85	0.187672	1.000000	0.500000	21183.7	21183.7	10591.8	10591.8	0.50	2021	Hombres
0	0.008367	0.008303	0.076428	100000.0	830.3	99233.2	7275125.3	72.75	2021	Mujeres

age	mx	qx	ax	lx	dx	Lx	Tx	ex	year	sex
1	0.000400	0.001598	1.509299	99169.7	158.5	396284.0	7175892.1	72.36	2021	Mujeres
5	0.000193	0.000963	0.500000	99011.2	95.3	494627.0	6779608.1	68.47	2021	Mujeres
30	0.001284	0.006384	0.500000	97453.3	622.1	484467.0	4320851.1	44.34	2021	Mujeres
65	0.022475	0.102054	0.500000	80126.2	8177.2	363833.8	1124992.9	14.04	2021	Mujeres
85	0.168051	1.000000	0.500000	34864.5	34864.5	17432.2	17432.2	0.50	2021	Mujeres

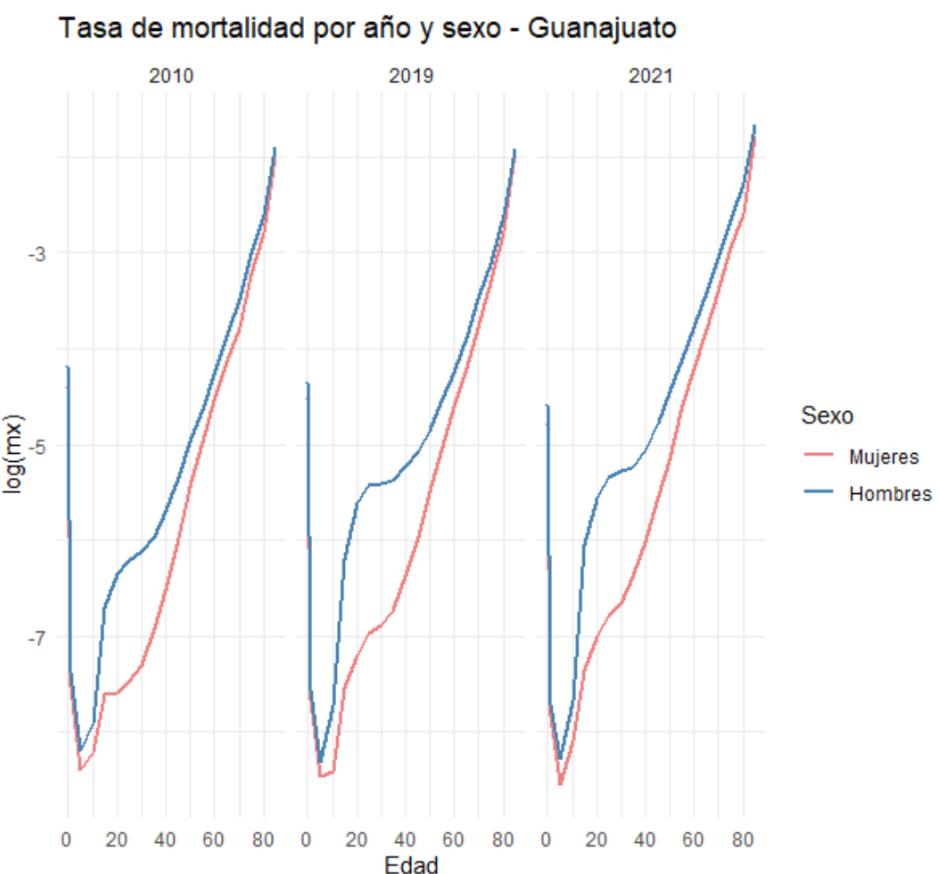


Figure 5: Tasa de Mortalidad por año y sexo

Las curvas de mortalidad de Guanajuato muestran una progresión clara; en 2010 se observa una mortalidad relativamente baja y estable, en 2019 las tasas ya habían aumentado por cambios demográficos y epidemiológicos .

En 2021, las curvas exhiben un ascenso marcado y atípico, evidenciando el fuerte impacto de la pandemia, con afectación más severa en hombres y en edades intermedias y avanzadas.

Este análisis confirma cómo la mortalidad no solo depende de la edad y el sexo, sino también del contexto sanitario, siendo 2021 un año excepcional en la serie histórica.

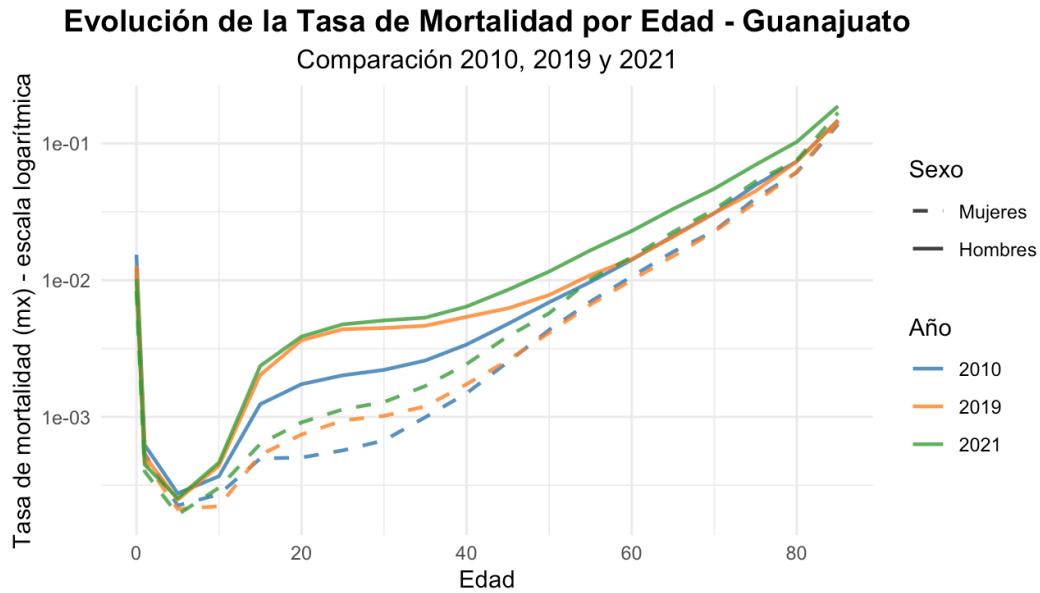


Figure 6: Evolución tasa de mortalidad

La gráfica evidencia cómo la mortalidad en Guanajuato se mantenía en crecimiento moderado (2010–2019) hasta que en 2021 ocurrió una ruptura histórica debido a la pandemia, con aumentos significativos en todas las edades adultas, y más marcados en hombres.

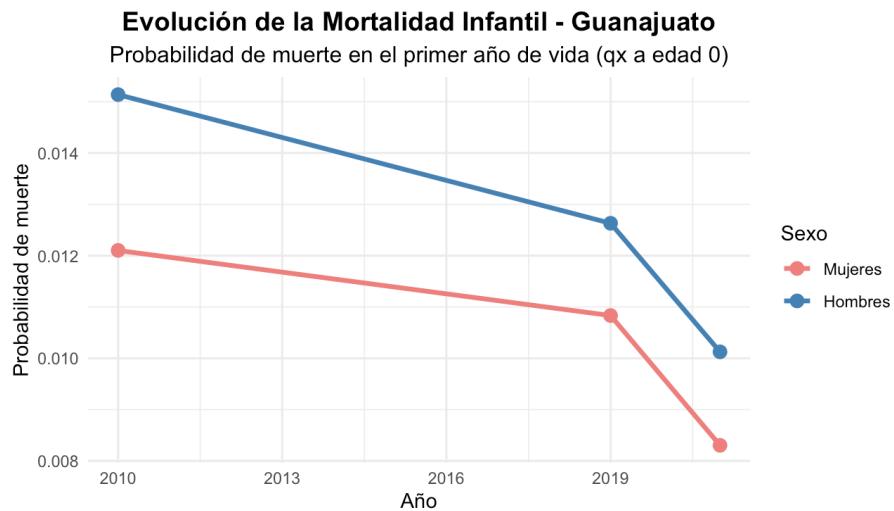


Figure 7: Evolución de la Mortalidad Infantil

La gráfica muestra que la mortalidad infantil en Guanajuato ha disminuido de manera constante entre 2010 y 2020 para ambos sexos. Los niños presentan siempre una probabilidad de muerte más alta que las niñas, aunque la diferencia entre ellos se reduce con el tiempo. El descenso más notable ocurre entre 2019 y 2020, lo cual sugiere mejoras recientes en atención médica infantil y cambios en las dinámicas poblacionales.

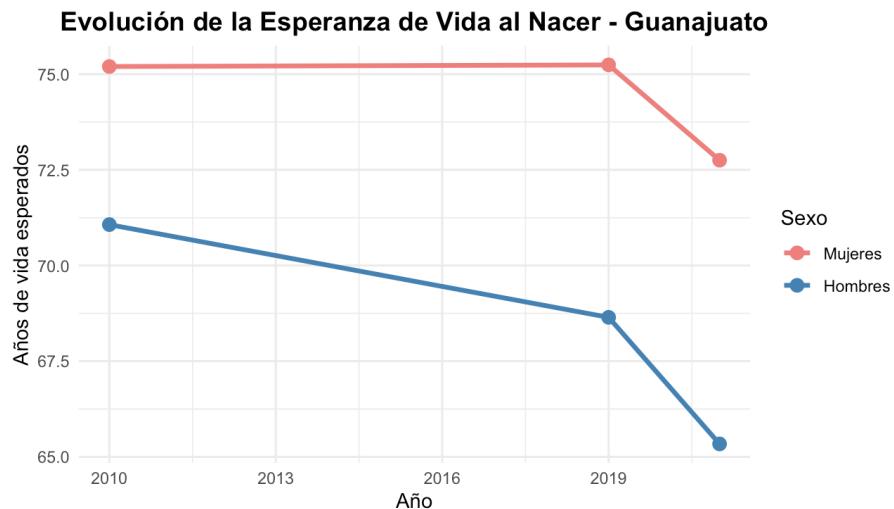


Figure 8: Evolución de la Esperanza de Vida al Nacer

La esperanza de vida al nacer ( $e$ ) constituye uno de los indicadores más sintéticos y elocuentes del nivel de mortalidad de una población, resumiendo en una sola cifra las condiciones de

salud, desarrollo socioeconómico y acceso a servicios sanitarios prevalecientes en un momento histórico determinado. Representa el número promedio de años que se espera viva una persona desde su nacimiento, bajo el supuesto de que las tasas de mortalidad por edad observadas en el año de cálculo se mantendrán constantes a lo largo de su vida.

El análisis de la evolución de este indicador para el estado de Guanajuato durante los años 2010, 2019 y 2021 permite no solo cuantificar el progreso en la supervivencia de la población, sino también discernir el impacto diferencial de fenómenos críticos



Figure 9: Tabla Esperanza de Vida

### ***Descomposición por Arriaga (04\_desc)***

El método de descomposición desarrollado por Eduardo Arriaga permite analizar los cambios en la esperanza de vida al nacer entre dos períodos, identificando la contribución específica de cada grupo de edad. Esta técnica desagrega la diferencia total en esperanza de vida en componentes atribuibles a cambios en la mortalidad por edad, separando los efectos directos, indirectos y de interacción.

El método de descomposición desarrollado por Eduardo Arriaga permite analizar los cambios en la esperanza de vida al nacer entre dos períodos, identificando la contribución específica de cada grupo de edad. Esta técnica desagrega la diferencia total en esperanza de vida en

componentes atribuibles a cambios en la mortalidad por edad, separando los efectos directos, indirectos y de interacción.

### 1. Contribución por edad x a la diferencia en esperanza de vida

Para cada edad x (excepto la última):

$$\Delta e_0(x) = \frac{l_1(x)}{l_1(0)} \cdot \left[ \frac{L_2(x)}{l_2(x)} - \frac{L_1(x)}{l_1(x)} \right] \quad (\text{Efecto directo}) + \frac{l_1(x)}{l_1(0)} \cdot \left[ \frac{l_2(x+1)}{l_2(x)} - \frac{l_1(x+1)}{l_1(x)} \right] \cdot \frac{L_2(x+1)}{l_2(x+1)} \quad (\text{Efecto indirecto}) + \\ \frac{l_1(x)}{l_1(0)} \cdot \left[ \frac{L_2(x)}{l_2(x)} - \frac{L_1(x)}{l_1(x)} \right] \cdot \left[ \frac{l_2(x+1)}{l_2(x)} - \frac{l_1(x+1)}{l_1(x)} \right] \quad (\text{Efecto de interacción})$$

### 2. Para el último grupo de edad ( )

$$\Delta e_0(\omega) = \frac{l_1(\omega)}{l_1(0)} \cdot \left[ \frac{L_2(\omega)}{l_2(\omega)} - \frac{L_1(\omega)}{l_1(\omega)} \right]$$

### 3. Propiedad fundamental

$$\Delta e_0 = e_2(0) - e_1(0) = \sum_x \Delta e_0(x) \quad \text{para todas las edades } x$$

donde la suma de todas las contribuciones por edad debe igualar a la diferencia total en esperanza de vida entre los períodos.

```
## Carga de paquetes ----
library(readxl)
library(reshape2)
library(lubridate)
library(ggplot2)
library(data.table)
library(dplyr)

# Función expo simplificada ----
expo <- function(N_0, N_T, t_0, t_T, t){
  # Convertir fechas a años decimales manualmente
  date_to_decimal <- function(date_str) {
    date <- as.Date(date_str)
    year <- as.numeric(format(date, "%Y"))
    start <- as.Date(paste0(year, "-01-01"))
    end <- as.Date(paste0(year + 1, "-01-01"))
    year + as.numeric(date - start) / as.numeric(end - start)
  }

  dt <- date_to_decimal(t_T) - date_to_decimal(t_0)
  r <- log(N_T/N_0)/dt
  h <- t - date_to_decimal(t_0)
```

```

    N_0 * exp(r*h)
}

# Función lt_abr ----
lt_abr <- function(x, mx, sex, l0 = 1e5) {
  n <- c(diff(x), NA)
  ax <- rep(0.5, length(x))

  if (x[1] == 0) {
    ax[1] <- ifelse(sex == "m",
                     ifelse(mx[1] >= 0.107, 0.33, 0.045 + 2.684 * mx[1]),
                     ifelse(mx[1] >= 0.107, 0.35, 0.053 + 2.800 * mx[1]))
  }

  if (x[2] == 1) {
    ax[2] <- ifelse(sex == "m",
                     ifelse(mx[1] >= 0.107, 1.352, 1.651 - 2.816 * mx[1]),
                     ifelse(mx[1] >= 0.107, 1.361, 1.522 - 1.518 * mx[1]))
  }

  if (!is.na(n[length(n)])) ax[length(ax)] <- 1 / mx[length(mx)]

  qx <- n * mx / (1 + (n - ax) * mx)
  qx[length(qx)] <- 1

  lx <- numeric(length(x))
  lx[1] <- l0
  for (i in 2:length(lx)) lx[i] <- lx[i - 1] * (1 - qx[i - 1])

  dx <- lx * qx
  Lx <- numeric(length(x))
  for (i in 1:(length(Lx) - 1)) Lx[i] <- n[i] * lx[i + 1] + ax[i] * dx[i]
  Lx[length(Lx)] <- lx[length(lx)] * ax[length(ax])

  Tx <- rev(cumsum(rev(Lx)))
  ex <- Tx / lx

  data.frame(x = x, mx = mx, qx = qx, ax = ax, lx = lx, dx = dx,
             Lx = Lx, Tx = Tx, ex = ex)
}

# Defunciones

```

```

def <- fread("data/def_pro.csv") [year %in% c(2009:2011, 2018:2022)]
def[, year_new := fcase(
  year %in% 2009:2011, 2010,
  year %in% 2018:2019, 2019,
  year %in% 2020:2022, 2021
)]
def <- def[, .(deaths = mean(deaths, na.rm = TRUE)),
           .(year = year_new, sex, age)]
write.csv(def, "data/def.csv", row.names = FALSE)

# Población - cálculo simplificado
censos <- fread("data/censos_pro.csv")
censos_wide <- dcast(censos, age + sex ~ year, value.var = "pop")

# Calcular años persona vividos
censos_wide[, N_2010 := expo(`2010`, `2020`,
                           "2010-03-15", "2020-03-15", 2010.5)]
censos_wide[, N_2019 := expo(`2010`, `2020`,
                           "2010-03-15", "2020-03-15", 2019.5)]
censos_wide[, N_2021 := `2020` * 1.01] # Proyección simple

apv <- rbind(
  censos_wide[, .(age, sex, N = N_2010, year = 2010)],
  censos_wide[, .(age, sex, N = N_2019, year = 2019)],
  censos_wide[, .(age, sex, N = N_2021, year = 2021)])
)
write.csv(apv, "data/apv.csv", row.names = FALSE)

# Análisis principal ----
def <- fread("data/def.csv")
apv <- fread("data/apv.csv")

lt_input <- merge(apv, def, by = c("year", "sex", "age"), all.x = TRUE)
lt_input[, mx := deaths/N]

# Asegurar que la codificación de sexo sea consistente
lt_input[, sex := fifelse(sex == "male", "m",
                           fifelse(sex == "female", "f", sex))]

lt_input <- lt_input[!is.na(mx) & is.finite(mx) & mx > 0]

# Tablas de mortalidad

```

```

lt_output <- data.table()
for(s in c('m', 'f')) {
  for(y in c(2010, 2019, 2021)) {
    temp_dt <- lt_input[sex == s & year == y][order(age)]
    if(nrow(temp_dt) > 0) {
      cat(sprintf("Calculando tabla de vida para %s, año=%d\n",
                  ifelse(s == "m", "hombres", "mujeres"), y))
      temp_lt <- lt_abr(x = temp_dt$age, mx = temp_dt$mx, sex = s)
      temp_lt$year <- y
      temp_lt$sex <- s
      lt_output <- rbind(lt_output, temp_lt, fill = TRUE)
    }
  }
}

# Renombrar columna x a age para evitar errores
if("x" %in% names(lt_output)) {
  setnames(lt_output, "x", "age")
}

mortalidad_infantil <- lt_output[age == 0, .(year, sex, qx)]
esperanza_vida <- lt_output[age == 0, .(year, sex, ex)]

# Calcular diferencias entre años
dif_ex <- dcast(esperanza_vida, sex ~ year, value.var = "ex")
dif_ex[, diferencia := `2021` - `2010`]

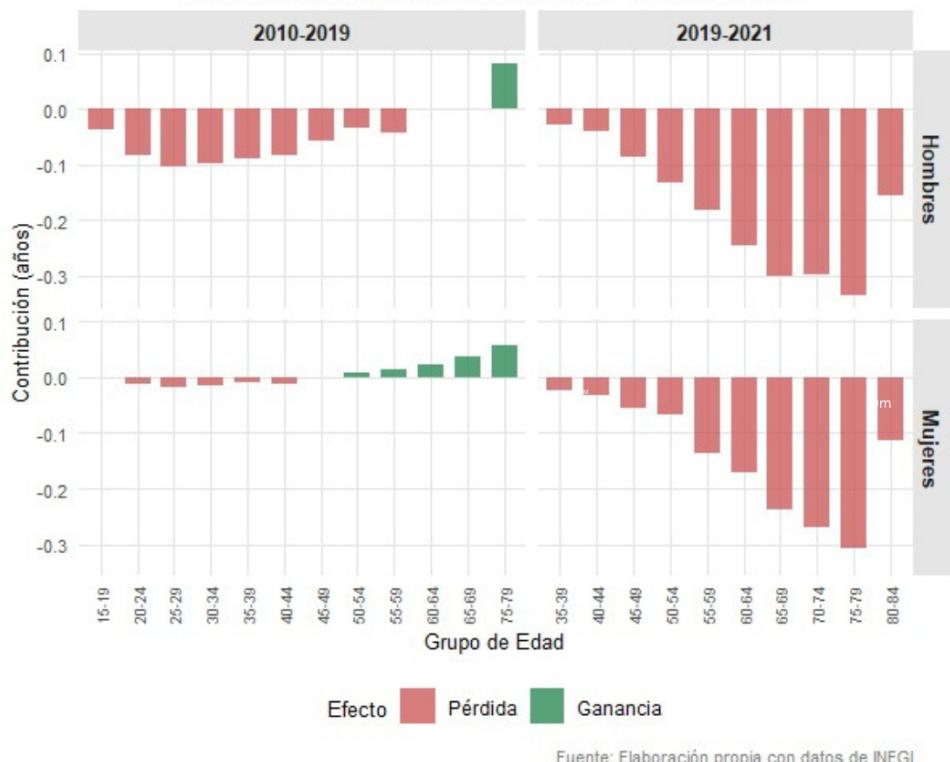
dif_qx <- dcast(mortalidad_infantil, sex ~ year, value.var = "qx")
dif_qx[, diferencia := `2021` - `2010`]

# Guardar resultados completos
write.csv(lt_output, "data/tabla_mortalidad_guanajuato_2010_2019_2021.csv"
          ,row.names = FALSE)

```

## Descomposición de Cambios en Esperanza de Vida Guanajuato 2010-2019 y 2019-2021

Contribución por grupos de edad quinquenales - Método de Arriaga



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI

Figure 10: Descomposición de Cambios en Esperanza de Vida

La gráfica muestra cómo distintos grupos de edad influyeron en los cambios de la esperanza de vida en Guanajuato.

Entre 2010 y 2019 hubo pérdidas pequeñas en edades jóvenes y medias, pero ganancias claras en adultos mayores, lo que indica una mejora gradual en la supervivencia, especialmente en mujeres y personas de más de 70 años.

En contraste, 2019–2021 presenta una caída abrupta en la esperanza de vida para casi todos los grupos, con pérdidas mucho más fuertes en hombres de 50 a 79 años y también en mujeres mayores. Este periodo coincide con la pandemia, lo que explica el impacto generalizado y la magnitud de las pérdidas. En resumen, los avances logrados antes de 2019 fueron prácticamente anulados por el choque de 2019–2021.

## **Decremento Multiple (05\_dm)**

El análisis de decrementos múltiples constituye una herramienta demográfica fundamental para evaluar el impacto específico de causas particulares de muerte sobre la supervivencia poblacional. En el contexto de la violencia en Guanajuato, este enfoque permite cuantificar de manera aislada el efecto de los homicidios en la esperanza de vida, proporcionando una medida precisa de su carga mortal.

La implementación de esta metodología para el período 2010-2021 revela la evolución temporal del impacto de la violencia homicida, con especial atención a las diferencias por sexo y grupos etarios. Los resultados proporcionan evidencia cuantitativa robusta sobre el deterioro de la supervivencia asociado al incremento de la violencia en la entidad.

### **Fórmulas para el Análisis de Decrementos por Homicidios**

#### **1. Prorrateo de valores no especificados**

$$p_{\text{male}} = \frac{\text{male}}{\text{male} + \text{female}} ; \quad p_{\text{female}} = \frac{\text{female}}{\text{male} + \text{female}}$$

#### **2. Defunciones ajustadas**

$$\text{male}_{\text{adj}} = \text{male} + p_{\text{male}} \times \text{ns} ; \quad \text{female}_{\text{adj}} = \text{female} + p_{\text{female}} \times \text{ns}$$

#### **3. Tasa central de mortalidad**

$$m_x = \frac{D_x}{N_x} \quad \text{con } N_x = 100,000$$

#### **4. Defunciones**

$$d_x = l_x \times q_x$$

#### **5. Esperanza de vida**

$$e_x = \frac{T_x}{l_x} \quad \text{donde } T_x = \sum_{i=x}^{\omega} L_i$$

```
##Carga paquetes
library(readxl)
library(data.table)
library(dplyr)
library(ggplot2)
```

```

# PROCESAMIENTO CORREGIDO DE INEGI_defH.xlsx ----
defH <- read_xlsx("data/INEGI_defH.xlsx", sheet = 1, range = "A6:G20560")
names(defH) <- c("age_group", "tipo", "year", "tot", "male", "female", "ns")
setDT(defH)

# Filtro - eliminar filas totales y no especificadas
defH <- defH[age_group != "Total" & age_group != "No especificado" &
            tipo == "Total" & year >= 1990]

# Limpieza de grupos de edad - convertir a edades simples
defH[, age := case_when(
    age_group == "Menores de 1 año" ~ 0,
    age_group == "1-4 años" ~ 1,
    age_group == "5-9 años" ~ 5,
    age_group == "10-14 años" ~ 10,
    age_group == "15-19 años" ~ 15,
    age_group == "20-24 años" ~ 20,
    age_group == "25-29 años" ~ 25,
    age_group == "30-34 años" ~ 30,
    age_group == "35-39 años" ~ 35,
    age_group == "40-44 años" ~ 40,
    age_group == "45-49 años" ~ 45,
    age_group == "50-54 años" ~ 50,
    age_group == "55-59 años" ~ 55,
    age_group == "60-64 años" ~ 60,
    age_group == "65-69 años" ~ 65,
    age_group == "70-74 años" ~ 70,
    age_group == "75-79 años" ~ 75,
    age_group == "80-84 años" ~ 80,
    age_group == "85 años y más" ~ 85,
    TRUE ~ NA_real_
)]
# Limpieza de valores numéricos
defH[, tot := as.numeric(gsub(",","", "", tot))]
defH[, male := as.numeric(gsub(",","", "", male))]
defH[, female := as.numeric(gsub(",","", "", female))]
defH[, ns := as.numeric(gsub(",","", "", ns))]

# Eliminar filas con edad NA
defH <- defH[!is.na(age)]

```

```

# Prorratoe de valores perdidos ----
## Por sexo ----
def_proH <- defH[ , .(male = sum(male, na.rm = TRUE),
                      female = sum(female, na.rm = TRUE),
                      ns = sum(ns, na.rm = TRUE)),
                  .(year, age)]

# Prorratear los no especificados entre hombres y mujeres
def_proH[ , tot := male + female]
def_proH[ , p_male := male / tot]
def_proH[ , p_female := female / tot]
def_proH[ , male_adj := male + p_male * ns]
def_proH[ , female_adj := female + p_female * ns]
def_proH <- def_proH[ , .(year, age, male = male_adj, female = female_adj)]

# Formato long
def_proH <- melt.data.table(def_proH,
                               id.vars = c("year", "age"),
                               measure.vars = c("male", "female"),
                               variable.name = "sex",
                               value.name = "deaths")

# CÁLCULO DE TABLAS DE DECREMENTO MÚLTIPLE ----

# 1. Preparar datos para años de referencia ----
def_proH[ , year_new := case_when(
  year %in% 2009:2011 ~ 2010,
  year %in% 2018:2019 ~ 2019,
  year %in% 2020:2022 ~ 2021,
  TRUE ~ as.numeric(year)
)] 

def_base <- def_proH[ , .(deaths = mean(deaths)),
                     .(year = year_new, sex, age)]

# 2. USAR POBLACIÓN CONSTANTE para calcular tasas ----
def_base[ , population := 100000] # Para calcular tasas mx

# 3. CALCULAR TASAS DE MORTALIDAD ----
def_base[ , mx := deaths / population]

# 4. FUNCIÓN CORREGIDA PARA TABLAS DE VIDA ----

```

```

calcular_tabla_vida <- function(data) {
  # Limpiar y ordenar datos
  data_clean <- data[!is.na(age) & !is.na(mx) & is.finite(mx)]
  data_clean <- data_clean[order(year, sex, age)]

  if(nrow(data_clean) == 0) {
    return(data.table())
  }

  # Para cada grupo (año, sexo), calcular tabla de vida
  resultados <- data_clean[, {
    # Ordenar por edad
    grupo <- .SD[order(age)]

    # Calcular probabilidad de muerte
    grupo[, qx := 1 - exp(-mx)]

    # INICIALIZAR lx SOLO PARA LA EDAD MÍNIMA = 100,000
    edad_min <- min(grupo$age)
    grupo[age == edad_min, lx := 100000]

    # Calcular lx iterativamente para las demás edades
    if(nrow(grupo) > 1) {
      edades_ordenadas <- sort(grupo$age)

      for(i in 2:length(edades_ordenadas)) {
        edad_actual <- edades_ordenadas[i]
        edad_anterior <- edades_ordenadas[i-1]

        lx_anterior <- grupo[age == edad_anterior, lx]
        qx_anterior <- grupo[age == edad_anterior, qx]

        if(length(lx_anterior) > 0 && length(qx_anterior) > 0) {
          lx_actual <- lx_anterior * (1 - qx_anterior)
          grupo[age == edad_actual, lx := lx_actual]
        }
      }
    }
  }

  # Calcular demás funciones de la tabla de vida
  grupo[, dx := lx * qx]
  grupo[, Lx := lx - dx/2]
}

```

```

grupo[ , Tx := rev(cumsum(rev(Lx)))]
grupo[ , ex := Tx / lx]

grupo
}, by = .(year, sex)

return(resultados)
}

# 5. CALCULAR TABLA DE VIDA ----
decremento_observado <- calcular_tabla_vida(def_base)

# 6. RESULTADOS PRINCIPALES ----
# Esperanza de vida al nacer (edad 0)
esperanza_vida <- decremento_observado[age == 0, .(ex_0 = ex), .(sex, year)]

# GUARDAR RESULTADOS ----
write.csv(decremento_observado, "data/tabla_decremeno_homicidios.csv",
          row.names = FALSE)
write.csv(esperanza_vida, "data/esperanza_vida_homicidios.csv",
          row.names = FALSE)
write.csv(def_proH, "data/def_proH_homicidios.csv",
          row.names = FALSE)

```

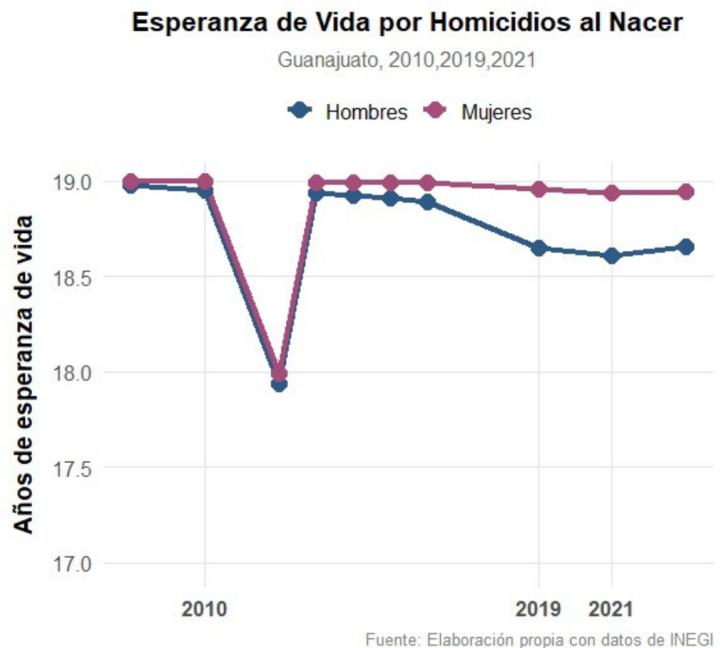


Figure 11: Esperanza de Vida por Homicidios al Nacer

La gráfica muestra la evolución de la esperanza de vida al nacer atribuible exclusivamente a los homicidios en Guanajuato, desagregada por sexo, durante el periodo 2010–2021. Los valores representan cuántos años “resta” esta causa específica a la expectativa de vida desde el nacimiento, bajo un modelo de tabla de vida.

Durante la mayor parte del periodo, tanto hombres como mujeres presentan valores cercanos a 19 años, lo que refleja que, en condiciones hipotéticas donde solo los homicidios influyen, la mortalidad por esta causa representa una pérdida relativamente acotada en la esperanza de vida, especialmente en comparación con causas crónicas o enfermedades.

Aunque la esperanza de vida perdida por homicidios es relativamente estable en términos absolutos, la tendencia para los hombres revela un deterioro progresivo desde 2018, asociado al incremento de violencia letal en Guanajuato.

En contraste, las mujeres presentan fluctuaciones más volátiles pero en niveles casi constantes,

reflejando su menor exposición a homicidios y el impacto estadístico de contar con cifras muy bajas.

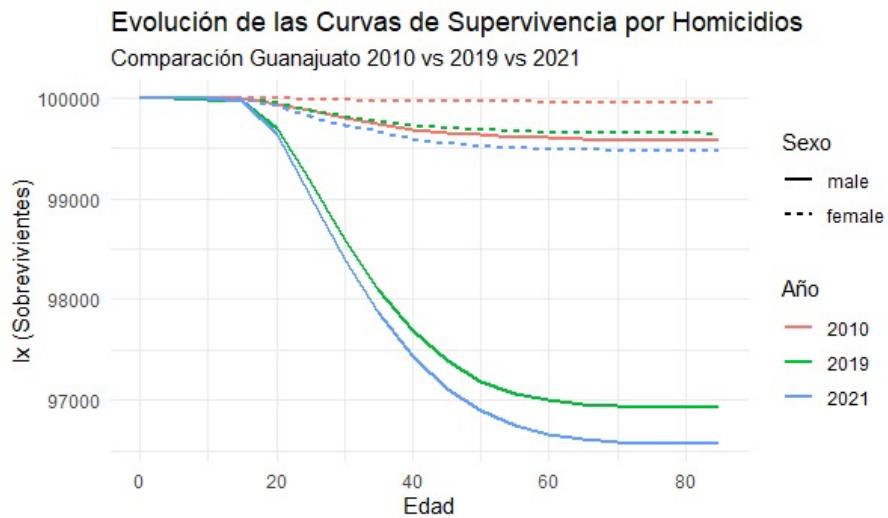


Figure 12: Evolución de las curvas de Supervivencia por Homicidio

La comparación temporal muestra una deterioración sostenida de la supervivencia masculina por homicidios en Guanajuato durante la última década.

2010: situación relativamente baja en homicidios.

2019: incremento importante.

2021: año con el impacto más severo.

Mientras tanto, la supervivencia femenina permanece estable, evidenciando que el fenómeno de homicidios tiene un carácter marcadamente masculino y que su intensificación reciente afecta de manera directa la estructura de mortalidad y la esperanza de vida de los hombres en el estado. Esta diferencia en los patrones de supervivencia entre hombres y mujeres no solo subraya la importancia de analizar la mortalidad desde una perspectiva de género, sino que también sirve como punto de partida para comprender la dinámica demográfica más amplia.

## Análisis de Resultados

En este estudio se examinaron las tendencias de natalidad y mortalidad en el estado de Guanajuato, con el propósito de identificar los cambios más relevantes en la estructura poblacional durante la década previa a la pandemia de COVID-19 y evaluar el impacto que esta tuvo en 2021. A partir de datos oficiales y comparaciones con el contexto nacional, se busca ofrecer una visión clara sobre la evolución de la esperanza de vida, así como de los factores que influyen en las diferencias por sexo y por tipo de municipio.

Como parte del estudio requerido, se analizó la natalidad y mortalidad en el estado de Guanajuato, las cuales se traducen a la esperanza de vida por sexo. El objetivo es entender la evolución demográfica de la entidad en la década previa al COVID-19 y el impacto que tuvo la pandemia en 2021.

Guanajuato históricamente ha presentado tasas de natalidad por encima del promedio nacional, especialmente en municipios rurales.

Sabemos que desde principios de este siglo, la natalidad ha disminuido; a pesar de esto, el estado todavía conservaba una población relativamente joven, con edades entre 0–14 hasta mediados de la década del 2010. Esto quiere decir que, previo a la pandemia, Guanajuato mantenía un crecimiento natural positivo y sostenido.

En cuanto a la mortalidad, hasta 2019 podemos notar que hay una reducción progresiva en las defunciones para las edades adultas; los niveles de mortalidad masculina permanecen significativamente más altos que los femeninos, patrón que existe en todo el país.

Cabe mencionar que Guanajuato destaca por una mortalidad alta en hombres adultos, lo cual puede ser asociado a causas violentas (homicidios, accidentes).

Por otro lado, vemos que el año 2021 muestra una ruptura clara en la tendencia.

Guanajuato tuvo una de las mayores tasas de mortalidad por COVID-19 en su población adulta, debido en parte a la alta cantidad de trabajadores del sector manufacturero, a las diversas enfermedades como diabetes o problemas cardiovasculares; también es importante mencionar que se tiene un menor acceso a servicios hospitalarios en zonas rurales.

Comprender estas dinámicas no solo permite dimensionar el impacto real de la emergencia sanitaria, sino también orientar futuras estrategias públicas que fortalezcan la resiliencia demográfica y mejoren la calidad de vida de la población guanajuatense.