

Trabajo Final Demografía (Versión Preliminar)

**Informe Técnico: Construcción de Tablas de Mortalidad del estado de Colima
2010, 2019 y 2021**

Ingrid Dayana Martinez Mendoza Ana Karen Morelos Bojórquez

Introducción

Las tablas de mortalidad son herramientas fundamental en el análisis demográfico y actuarial para cuantificar los patrones de mortalidad poblacional. Este informe describe el procedimiento seguido para la construcción de las tablas de vida por sexo para el estado de Colima (2010, 2019 y 2021), documentando las características demográficas relevantes de la entidad y detallando metodología, fuentes de información, algoritmos y resultados, con énfasis especial en el impacto de la pandemia de COVID-19 sobre la mortalidad y la esperanza de vida en el estatal.

A través de este análisis, se busca proporcionar una base sólida para la comprensión de los patrones de mortalidad en Colima y su evolución durante un período que incluye el crítico evento de la pandemia, ofreciendo percepciones o conocimientos valiosos para la toma de decisiones en el ámbito de la salud pública y la planificación actuarial.

Contexto Demográfico del Estado de Colima

Características Poblacionales y su Relación con la Mortalidad

Colima, siendo uno de los estados con menor extensión territorial en México, presenta particularidades demográficas que influyen directamente en su estructura de mortalidad:

Estructura Poblacional:

- Población concentrada estimada de 731,391 habitantes (2020) distribuidos en 10 municipios, con densidad media-alta
- Urbanización acelerada (85% en zonas urbanas)
- Transición demográfica acelerada: Proceso de envejecimiento poblacional acelerado en la última década

- Distribución etaria cambiante: Base infantil reducida con expansión de adultos mayores

Indicadores Demográficos Clave (2020):

- Tasa de crecimiento poblacional: 1.2% anual
- Estructura por edad: 0-14 años (25%), 15-64 años (65%), 65+ años (10%)
- Índice de envejecimiento: 40 adultos mayores por cada 100 niños
- Relación de dependencia: 54 dependientes por cada 100 en edad productiva

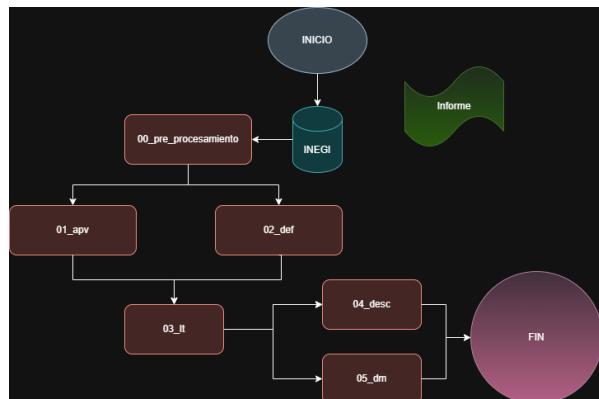
Determinantes Sociales y Económicas:

- Indicadores educativos favorables: superiores al promedio nacional
- Economía especializada basada en actividades portuarias, comerciales y turísticas
- Cobertura de servicios de salud con disparidades regionales
- Movilidad constante: flujo permanente de personas y mercancías por actividad portuaria

Patrones Epidemiológicos:

- Transición epidemiológica avanzada con predominio de enfermedades crónico-degenerativas
- Mortalidad por causas externas relacionadas con actividad portuaria y turística
- Vulnerabilidad específica ante eventos pandémicos por densidad poblacional

Diagrama de flujo



Descripción del Proceso:

El diagrama ilustra el flujo completo desde la obtención de datos brutos del INEGI hasta la generación de tablas de vida y análisis avanzados. Incluye las etapas de preprocesamiento,

cálculo de poblaciones, procesamiento de defunciones, construcción de tablas de vida, y los análisis de descomposición y causa-eliminada.

Algoritmos usados

1. Algoritmos de Cálculo de APV

- APV 2010:

```
N <- expo(censos_pro[year==2010]$pop,
            censos_pro[year==2020]$pop,
            t_0 = "2010-06-25", t_T = "2020-03-15", t = 2010.5)
apv2010 <- censos_pro[year==2010, .(age, sex, N)]
apv2010[, year := 2010]
```

- APV 2019:

```
N <- expo(censos_pro[year==2010]$pop,
            censos_pro[year==2020]$pop,
            t_0 = "2010-06-25", t_T = "2020-03-15", t = 2019.5)
apv2019 <- censos_pro[year==2010, .(age, sex, N)]
apv2019[, year := 2019]
```

- APV 2021:

```
N <- expo(censos_pro[year==2010]$pop,
            censos_pro[year==2020]$pop,
            t_0 = "2010-06-25", t_T = "2020-03-15", t = 2021.5)
apv2021 <- censos_pro[year==2020, .(age, sex, N)]
apv2021[, year := 2021]
```

2. Procesamiento de Defunciones

- Promedio para 2010 y datos directos para 2019, 2021:

```
def_pro <- fread("data/def_pro.csv") %>%
  .[year %in% c(2009, 2010, 2011, 2019, 2021)]

def_pro[, year_new := ifelse(year %in% 2009:2011, 2010,
                             ifelse(year %in% 2018:2019, 2019, year))]
```

```
def <- def_pro[, .(deaths = mean(deaths)),
               by = .(year = year_new, sex, age)]
```

3. Fórmulas Matemáticas Implementadas

- 3.1 Crecimiento Exponencial para APV

- Tasa de crecimiento instantánea:

$$r = \frac{\ln(P_T) - \ln(P_0)}{t_T - t_0}$$

- Crecimiento exponencial para APV:

$$P(t) = P_0 \cdot e^{r \cdot (t - t_0)}$$

- 3.2 Tasas de Mortalidad

- Tasa de mortalidad específica:

$$m_x = \frac{D_x}{E_x}$$

- Tasa central de mortalidad:

$${}_n m_x = \frac{{}_n D_x}{{}_n N_x} \approx \frac{{}_n d_x}{{}_n L_x}$$

- Fuerza de mortalidad (instantánea):

$$\mu(x) = \lim_{n \rightarrow 0} {}_n m_x = -\frac{d \ln l(x)}{dx}$$

- 3.3 Conversión m_x a q_x (Greville-Chiang):

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

- 3.4 Construcción tabla de vida:

$$l_0 = 100000$$

$${}_n d_x = l_x \cdot {}_n q_x$$

$$l_{x+n} = l_x - {}_n d_x$$

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

$$T_x = \sum_{y \geq x} L_y$$

$$e_x = \frac{T_x}{l_x}$$

- **3.5 Grupo final abierto:**

$$\infty L_x = \frac{l_x}{\infty m_x}$$

- **3.6 Descomposición de Arriaga:**

$$\Delta e_0 = \sum_x \left[\frac{l_x^1}{l_0^1} \cdot \left(\frac{L_x^2}{l_x^2} - \frac{L_x^1}{l_x^1} \right) + \frac{T_{x+1}^2}{l_0^1} \cdot \left(\frac{l_x^1}{l_x^1} - \frac{l_{x+1}^1}{l_x^1} \right) \right]$$

4. Función Principal de Tablas de Vida

```
lt_abr <- function(x, mx, sex="f", IMR=NA){

  m <- length(x)
  n <- c(diff(x), NA)
  ax <- n/2

  # Ajustes Coale-Demeny para edades 0 y 1-4
  if(sex=="m"){
    if(mx[1]>=0.107){
      ax[1] <- 0.330
      ax[2] <- 1.352
    } else {
      ax[1] <- 0.045+2.684*mx[1]
      ax[2] <- 1.651-2.816*mx[1]
    }
  } else if(sex=="f"){
    if(mx[1]>=0.107){
      ax[1] <- 0.350
      ax[2] <- 1.361
    } else {
      ax[1] <- 0.053+2.800*mx[1]
      ax[2] <- 1.522-1.518*mx[1]
    }
  }
}

# Construcción de la tabla de vida
qx <- (n*mx)/(1+(n-ax)*mx)
qx[m] <- 1
px <- 1-qx
lx <- 100000 * cumprod(c(1,px[-m]))
dx <- c(-diff(lx), lx[m])
Lx <- n* c(lx[-1], 0) + ax*dx
```

```

Lx[m] <- lx[m]/mx[m]
Tx <- rev(cumsum(rev(Lx)))
ex <- Tx/lx

return(data.table(x, n, mx, ax, qx, px, lx, dx, Lx, Tx, ex))
}

```

Código usado

- **Fuentes de Información Población:**
 - Censo de Población y Vivienda 2010: [INEGI 2010](#)
 - Censo de Población y Vivienda 2020: [INEGI 2020](#)
- **Defunciones:**
 - Estadísticas Vitales de Mortalidad 2010-2021: [INEGI EDR](#)

Limpieza y preparación de datos (**00_pre_procesamiento.R**)

Transformar los datos crudos del INEGI en tablas limpias y listas para análisis.

Proceso:

1. **Carga de datos originales**
 - Lectura de archivos Excel del INEGI con información censal y de defunciones
 - Extracción de datos desde rangos específicos de las hojas de cálculo
2. **Limpieza y estandarización**
 - **Edades:** Conversión de formato texto a numérico (“0-4 años” → 0)
 - **Valores numéricos:** Transformación de formatos con comas (“1,000” → 1000)
 - **Estructura:** Eliminación de filas de totales y encabezados redundantes
 - **Consistencia:** Homogenización de grupos de edad entre diferentes años
3. **Tratamiento de valores missing**
 - **Prorrateo inteligente:** Distribución proporcional de valores “No especificado” en edad y sexo
 - **Método:** Asignación basada en la estructura conocida de los datos
 - **Objetivo:** Maximizar la información disponible sin distorsionar los patrones demográficos

4. Almacenamiento de datos procesados

- Exportación de tablas limpias en formato CSV
- Preservación de la estructura consistente para análisis posteriores

Resultado final: Conjuntos de datos censales y de defunciones completamente depurados, consistentes metodológicamente y listos para el cálculo de indicadores demográficos.

Tabla Censos pro

```
datos <- read.csv("../data/censos_pro.csv")
head(datos, 10)
```

	X	year	sex	age	pop
1	1	2010	male	0	5807.782
2	2	2010	male	1	24234.356
3	3	2010	male	5	30708.257
4	4	2010	male	10	31085.859
5	5	2010	male	15	31932.173
6	6	2010	male	20	29850.806
7	7	2010	male	25	26314.710
8	8	2010	male	30	24893.388
9	9	2010	male	35	24162.480
10	10	2010	male	40	20349.003

Tabla Defunciones pro

```
datos <- read.csv("../data/def_pro.csv")
head(datos, 10)
```

	year	sex	age	deaths
1	1990	male	0	208.41996
2	1990	male	1	68.58290
3	1990	male	5	16.37801
4	1990	male	10	17.40163
5	1990	male	15	39.92139
6	1990	male	20	52.20489
7	1990	male	25	59.16843
8	1990	male	30	45.03952
9	1990	male	35	56.29939
10	1990	male	40	45.03952

Calculo de poblaciones a mitad de año (01_apv.R)

Estimar las poblaciones por edad y sexo en puntos intermedios entre los censos, esencial para el cálculo preciso de tasas de mortalidad.

Proceso:

1. Interpolación exponencial de poblaciones

- **Método:** Aplicación de crecimiento exponencial entre censos 2010 y 2020
- **Puntos calculados:**
 - 2010.5 (mitad de año 2010)
 - 2019.5 (mitad de año 2019)
 - 2021.5 (mitad de año 2021)
- **Fórmula:** $P(t) = P_0 \cdot e^{r \cdot (t-t_0)}$

2. Visualización de estructura poblacional

- **Pirámides poblacionales:** Gráficas comparativas por edad y sexo
- **Análisis visual:** Identificación de patrones demográficos y cambios temporales
- **Escalas adaptadas:** Presentación en millones para mejor interpretación

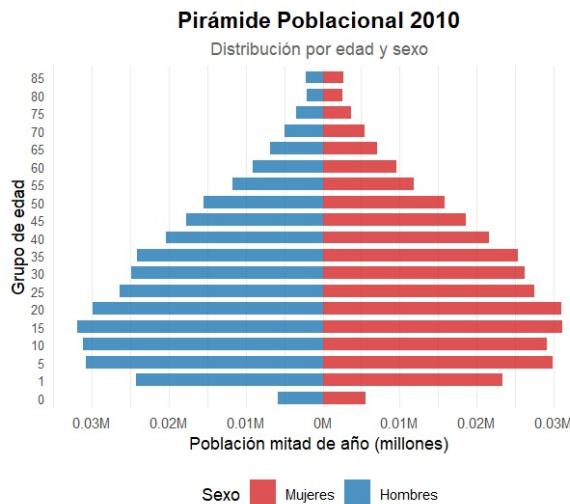
3. Consolidación de datos

- **Unificación:** Integración de APV para los tres años de estudio
- **Estructura consistente:** Mismo formato para todos los períodos
- **Validación:** Verificación de coherencia entre estimaciones

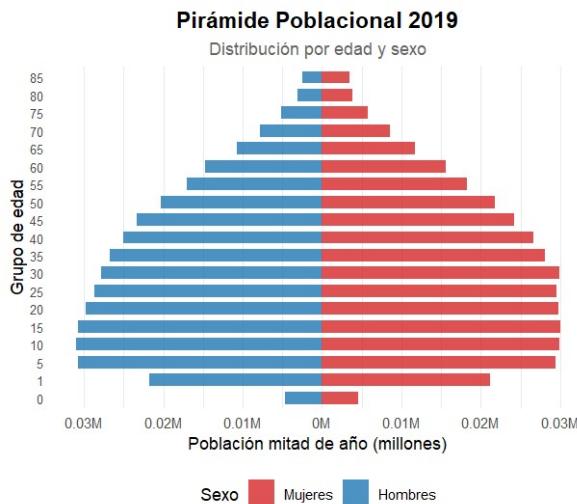
Resultado final: Poblaciones estimadas por edad y sexo para 2010, 2019 y 2021, fundamentales para el cálculo robusto de indicadores de mortalidad.

Gráficas de los APV por año

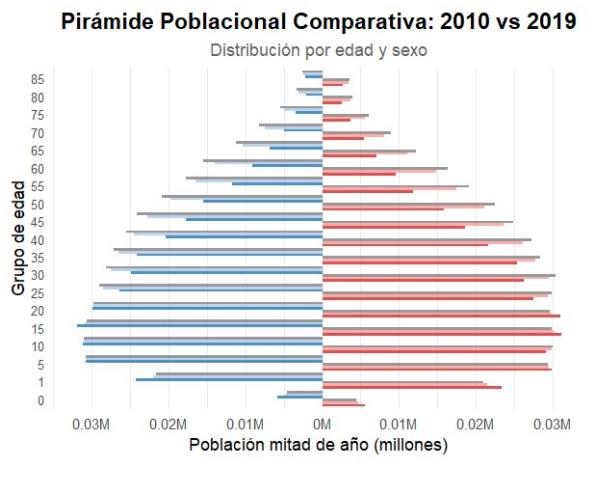
Gráfica comparativa



Fuente: INEGI



Fuente: INEGI



10

Tabla Años Persona Vividos

```
datos <- read.csv("../data/apv.csv")  
head(datos, 10)
```

	X	age	sex	N	year
1	1	0	male	5805.255	2010
2	2	1	male	24229.116	2010
3	3	5	male	30708.301	2010
4	4	10	male	31085.753	2010

```

5   5  15 male 31929.628 2010
6   6  20 male 29850.524 2010
7   7  25 male 26319.462 2010
8   8  30 male 24899.129 2010
9   9  35 male 24167.592 2010
10 10  40 male 20357.604 2010

```

Procesamiento de defunciones (02_def.R)

Preparar y estabilizar los datos de defunciones para asegurar comparabilidad temporal y minimizar fluctuaciones anuales aleatorias.

Proceso:

1. Selección estratégica de años

- **Para 2010:** Inclusión de 2009-2011 (promedio trianual)
- **Para 2019 y 2021:** Datos directos según especificaciones del proyecto
- **Objetivo:** Balance entre estabilidad estadística y precisión temporal

2. Asignación de años de referencia

- **Sistema coherente:** Asignación consistente con las poblaciones calculadas
- **Agrupación inteligente:** Consolidación de años alrededor de cada punto de estudio
- **Compatibilidad:** Aseguramiento de correspondencia con las APV

3. Cálculo de promedios

- **Método:** Media aritmética para suavizar variaciones anuales
- **Ventaja:** Reduce el impacto de fluctuaciones estadísticas temporales
- **Aplicación:** Específica para cada combinación edad-sexo-año

Resultado final: Defunciones procesadas y estabilizadas, listas para el cálculo preciso de tasas de mortalidad específicas por edad.

Tabla Defunciones

```

datos <- read.csv("../data/def.csv")
head(datos, 10)

```

	year	sex	age	deaths
1	2010	male	0	79.154649
2	2010	male	1	13.218513
3	2010	male	5	7.792236

```

4 2010 male 10 5.760814
5 2010 male 15 32.539257
6 2010 male 20 45.415026
7 2010 male 25 54.570811
8 2010 male 30 63.721834
9 2010 male 35 84.050791
10 2010 male 40 87.436340

```

Conctrucion de tablas de vida (03_lt.R)

Integrar toda la información procesada para generar tablas de mortalidad completas y calcular los indicadores demográficos clave del estudio.

Proceso:

1. Integración de datos fundamentales

- **Unión precisa:** Combinación de poblaciones (APV) y defunciones por edad, sexo y año
- **Cálculo de tasas:** $m_x = \frac{\text{defunciones}}{\text{población}}$ para cada grupo
- **Estandarización:** Conversión de sexo a formato abreviado (male→m, female→f)

2. Aplicación del método actuarial

- **Función lt_abr():** Implementación del método Greville-Chiang para tablas abreviadas
- **Conversión:** Transformación de tasas (m_x) a probabilidades (q_x)
- **Indicadores:** Cálculo de sobrevivientes (l_x), defunciones (d_x), años vividos (L_x), esperanzas de vida (e_x)

3. Generación de indicadores estratégicos

- **Esperanza de vida al nacer:** e_0 por sexo y año
- **Mortalidad infantil:** q_0 como indicador de salud poblacional
- **Análisis comparativo:** Evolución temporal 2010-2019-2021

4. Visualización avanzada

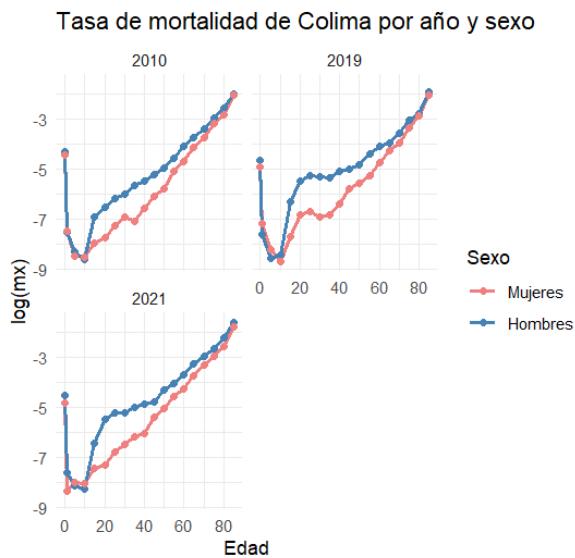
- **Tasas de mortalidad:** Gráficas de $\log(m_x)$ por edad y sexo
- **Probabilidades de muerte:** Escala logarítmica para mejor visualización de patrones
- **Análisis temporal:** Comparación entre los tres períodos de estudio

Resultado final: Tablas de vida completas para Colima 2010-2021, con todos los indicadores necesarios para el análisis demográfico y evaluación del impacto de COVID-19.

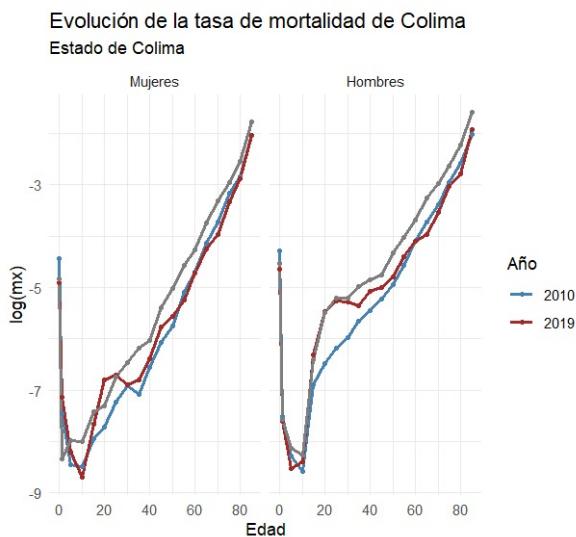
Estás tres gráficas nos muestran la transición demográfica avanzada y acelerada en el estado de Colima.

Hay un envejecimiento marcado, esto por la reducción de la base y la notable expansión de los grupos de adultos mayores entre 2010 y 2019.

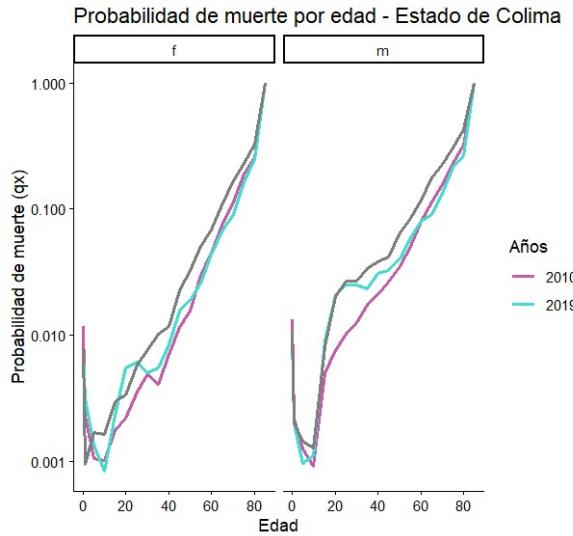
Tasa de mortalidad de Colima por año y sexo



Gráfica Evolución de la mortalidad



Gráfica Probabilidad de muerte por edad



De acuerdo con las gráficas, hay una baja y decreciente mortalidad infantil, mortalidad concentrada en la vejez, una brecha de género persistente pero estable y una mejoría en la supervivencia entre 2010 y 2019. Colima tiene una mortalidad controlada y en descenso, lo que acelera su proceso de envejecimiento poblacional.

Tabla lt_input

```
datos <- read.csv("../data/lt_input.csv")
head(datos, 10)
```

V1	age	sex	N	year	deaths	mx
1	1	0	m	5805.255	2010	79.154649 0.0136349996
2	2	1	m	24229.116	2010	13.218513 0.0005455632
3	3	5	m	30708.301	2010	7.792236 0.0002537501
4	4	10	m	31085.753	2010	5.760814 0.0001853201
5	5	15	m	31929.628	2010	32.539257 0.0010190929
6	6	20	m	29850.524	2010	45.415026 0.0015214147
7	7	25	m	26319.462	2010	54.570811 0.0020734015
8	8	30	m	24899.129	2010	63.721834 0.0025591994
9	9	35	m	24167.592	2010	84.050791 0.0034778306
10	10	40	m	20357.604	2010	87.436340 0.0042950211

Tabla lt_output

```
datos <- read.csv("../data/lt_output.csv")
head(datos, 10)
```

	lt_desc	year	sex	age	mx	qx	ax	lx	dx	Lx
1	LT VR/Census, COL	2010	m	0	0.013635	0.013466	0.08	100000	1347	98763
2	LT VR/Census, COL	2010	m	1	0.000546	0.002179	1.61	98653	215	394100
3	LT VR/Census, COL	2010	m	5	0.000254	0.001268	2.50	98438	125	491880
4	LT VR/Census, COL	2010	m	10	0.000185	0.000926	2.50	98314	91	491340
5	LT VR/Census, COL	2010	m	15	0.001019	0.005083	2.50	98222	499	489864
6	LT VR/Census, COL	2010	m	20	0.001521	0.007578	2.50	97723	741	486765
7	LT VR/Census, COL	2010	m	25	0.002073	0.010314	2.50	96983	1000	482413
8	LT VR/Census, COL	2010	m	30	0.002559	0.012715	2.50	95982	1220	476861
9	LT VR/Census, COL	2010	m	35	0.003478	0.017239	2.50	94762	1634	469726
10	LT VR/Census, COL	2010	m	40	0.004295	0.021247	2.50	93128	1979	460696
				Tx	ex					
1	7339764			73.40						
2	7241001			73.40						
3	6846901			69.56						
4	6355021			64.64						
5	5863681			59.70						
6	5373817			54.99						
7	4887052			50.39						
8	4404639			45.89						
9	3927778			41.45						
10	3458051			37.13						

Análisis de Descomposición (04_desc.R)

Aplicar el método de descomposición de Arriaga para cuantificar las contribuciones por edad a los cambios en la esperanza de vida entre períodos, con especial énfasis en el impacto diferenciado por sexo y el efecto de la pandemia de COVID-19.

Proceso:

1. Preparación de datos para descomposición

- **Filtrado estratégico:** Selección de tablas de vida por sexo y año para comparaciones pareadas (2010-2019, 2019-2021)
- **Estandarización etaria:** Unificación de grupos de edad hasta 85+ años para comparabilidad
- **Estructuración:** Organización de datos en formato requerido por el método Arriaga (l_x , nL_x , T_x , e_x)

2. Implementación del método de Arriaga

- **Función arriaga_decomp():** Aplicación de la fórmula de descomposición para calcular contribuciones directas e indirectas por edad