

# COMPARACIÓN DE COVID-19 CON LAS PRINCIPALES CAUSAS DE MUERTES EN ARGENTINA. HACIA LA DEFINICIÓN DE UN PARÁMETRO DE COMPROMISO-SATURACIÓN-COLAPSO DEL SISTEMA SANITARIO

PAULA SAAVEDRA, IVANA GÓMEZ, MARÍA FLORENCIA ACOSTA,  
FEDERICO MORANA, HUGO AIMAR

PUE - IMAL

**Resumen.** Cuando se comparan los números absolutos de muertos anuales para las distintas causas de muertes en el mundo, se tiende a relativizar el impacto de las pandemias como COVID-19. Sin embargo, las crisis en los sistemas de salud tienen una relación mucho más estrecha con las velocidades de crecimiento de los casos graves que con su magnitud total anual. El problema mayor está dado por la concentración de la necesidad de internación de muchos pacientes en tiempos cortos. En matemática, algunos aforos usuales para tener en cuenta el tamaño de una magnitud y el tamaño de sus pendientes de crecimiento, son las llamadas normas de Sobolev. En este breve informe comparamos los números totales de las principales causas de muerte anuales Argentina con las muertes por COVID-19 y comparamos algunas de sus normas de Sobolev. Esto nos induce a construir coeficientes que cuantifican el impacto en los sistemas de salud. Los resultados empíricos ponen en evidencia las diferencias entre las exigencias que imponen al sistema de salud las principales causas de muertes y la causa COVID. Mientras que los datos de COVID en Argentina son profusos, están muy actualizados y tienen un detalle diario de evolución, no ocurre lo mismo con las otras causas de muertes para las que sólo disponemos de información anual. Sin embargo, desde un calendario anual asociado a las estaciones del año y con detalle mensual para los EEUU, podemos transportar la gráfica para obtener una aproximación de la gráfica local con una discretización mensual que nos resulta útil para estimar estos aforos basados en las seminormas de Sobolev para las distintas causas de muerte en Argentina.

## 1. Metodología

Para establecer una comparación entre las principales causas de muerte en Argentina, además del COVID-19, se recurrió a la base de datos nacional que brinda el número de fallecidos total en un año [3]. Debido a que no se dispone de información acerca de cuantas personas mueren por día o por mes, de dichas causas, se dispuso a utilizar información correspondiente a otros países (ver [2]) y hacer un escalamiento para obtener una curva plausible en Argentina. Para encontrar una relación entre la forma de la curva de los fallecimientos de distintas enfermedades en EEUU y poder aplicarla a Argentina, se optó por tener en cuenta las estaciones del año. De esta manera, en cada tabla se

listan 12 valores que se corresponden a la estación en la que se encuentran los meses. A continuación, se describe:

EEUU			ARG
Julio	V1	Primer mes de verano	Enero
Agosto	V2	Segundo mes de verano	Febrero
Septiembre	VO	Mes de transición entre verano y otoño	Marzo
Octubre	O1	Primer mes de otoño	Abril
Noviembre	O2	Segundo mes de otoño	Mayo
Diciembre	OI	Mes de transición entre otoño e invierno	Junio
Enero	I1	Primer mes de invierno	Julio
Febrero	I2	Segundo mes de invierno	Agosto
Marzo	IP	Mes de transición entre invierno y primavera	Septiembre
Abril	P1	Primer mes de primavera	Octubre
Mayo	P2	Segundo mes de primavera	Noviembre
Junio	PV	Mes de transición entre primavera y verano	Diciembre

Lo que hacemos es considerar que el comportamiento de la curva de fallecidos en cada mes del año en EEUU será similar al comportamiento de la curva en el mes antípoda en Argentina. De esta manera, conociendo el total de muertes anuales en Argentina, y conociendo la forma de la curva para EEUU, se construyó la curva de fallecimientos para nuestro país con detalle mensual. A partir de los datos en EEUU correspondientes a los fallecidos en 2017, 2018 y 2019 por enfermedades del sistema circulatorio (CIR), para enfermedades del sistema respiratorio (RES) y para tumores (TUM), se construyen las gráficas promedio para cada causa de muerte. Luego se transportan esas curvas promedio en EEUU a las correspondientes en Argentina. Las curvas de fallecimientos por COVID-19 en Argentina se obtienen con mucha precisión de [1]. Luego calculamos y graficamos las pendientes, en intervalos de un mes, para todas las curvas: CIR, RES, TUM y COVID-19. Puesto que el compromiso del sistema de salud hospitalario, tanto público como privado, se refleja en el rápido crecimiento de las curvas de fallecimientos, tomamos la parte positiva de las funciones pendiente (derivadas). Luego hacemos un análisis de los valores puntuales e integrales de estas curvas para cada una de las cuatro causas de muerte.

## 2. Construcción de las gráficas de CIR, RES y TUM para Argentina

**2.1. Enfermedades del sistema circulatorio (CIR).** En primer lugar, se presentan los datos correspondientes a los fallecidos totales en EEUU por CIR. Se informan los valores correspondientes a los años 2017, 2018 y 2019, y además, un promedio de los mismos.

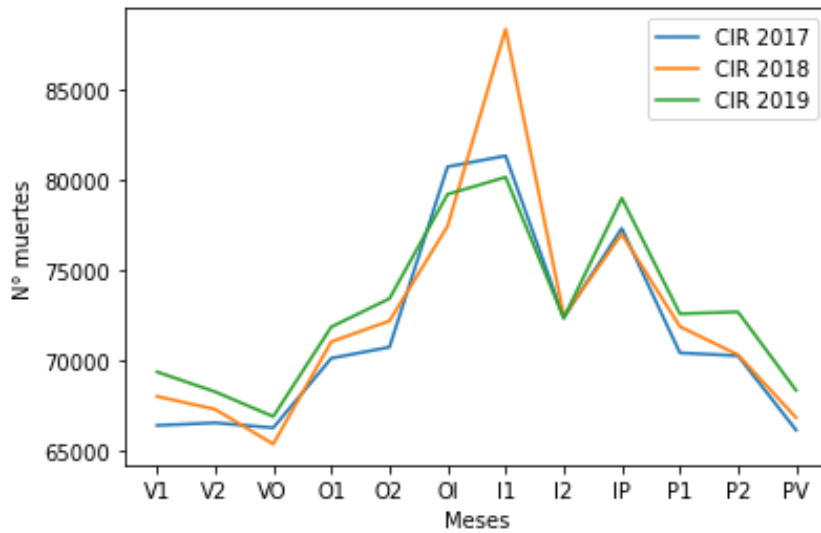


FIGURA 1. Muertes CIR en EEUU en los años 2017, 2018 y 2019.

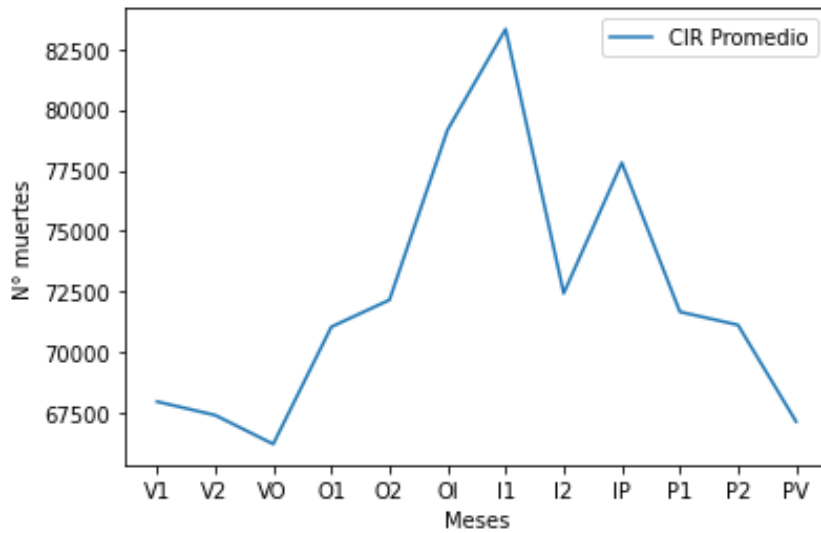


FIGURA 2. Promedio de muertes por CIR en EEUU en los años 2017, 2018 y 2019.

A partir de la curva promedio de muertes por CIR en 2017, 2018 y 2019 en EEUU, y la cantidad de muertes totales en Argentina 2019, se construye la curva de muertes por dicha causa.

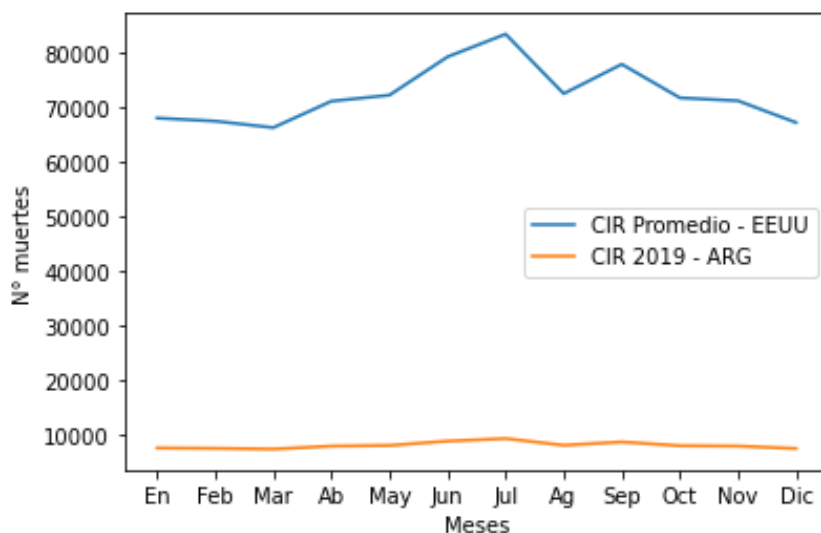


FIGURA 3. Promedio de muertes por CIR en EEUU en los años 2017, 2018 y 2019, y muertes por CIR en 2019 en Argentina.

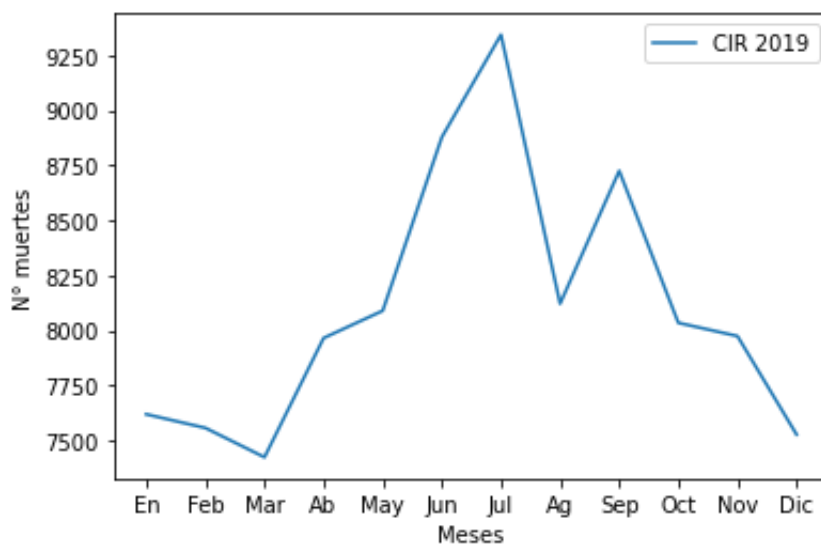


FIGURA 4. Muertes por CIR en 2019 en Argentina.

**2.2. Enfermedades del sistema respiratorio (RES).** Para este caso, nuevamente se consideraron las curvas para EEUU para los años 2017, 2018 y 2019, y se realizó un promedio.

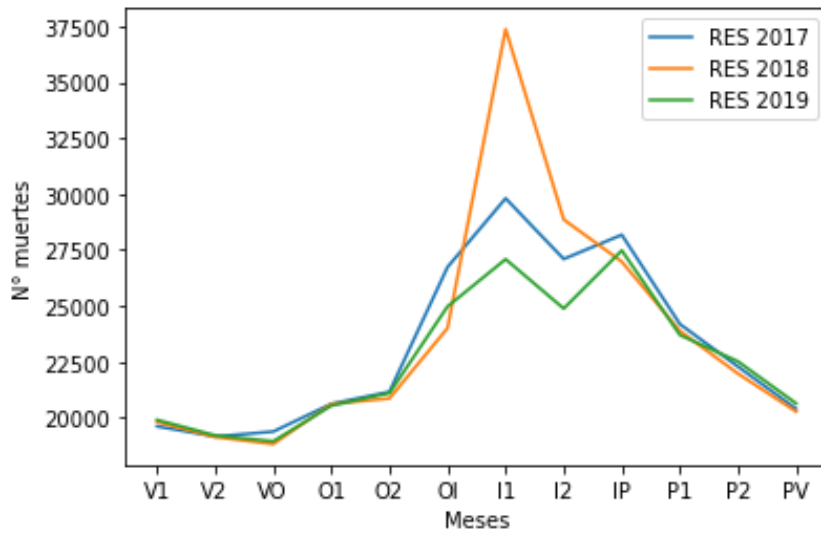


FIGURA 5. Muertes RES en EEUU en los años 2017, 2018 y 2019.

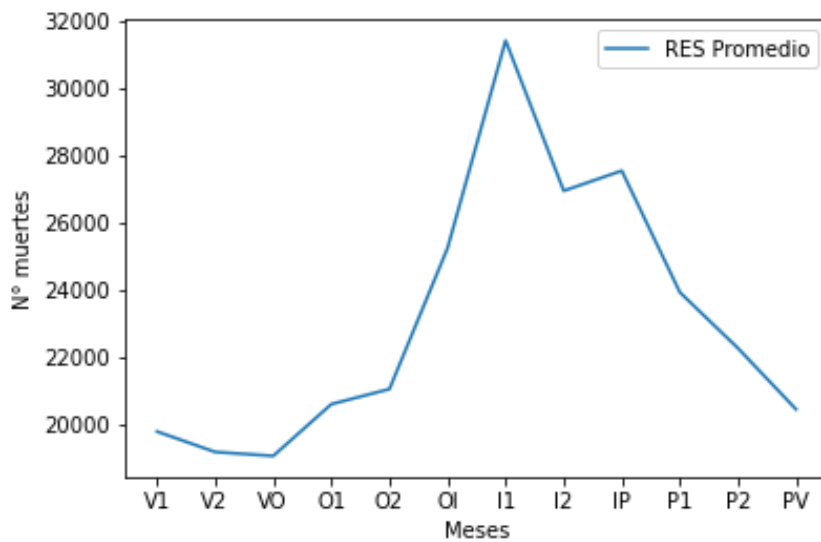


FIGURA 6. Promedio de muertes por RES en EEUU en los años 2017, 2018 y 2019.

A partir de la curva promedio de muertes por RES en 2017, 2018 y 2019 en EEUU, y la cantidad de muertes totales en Argentina 2019, se construye la curva de muertes por dicha causa.

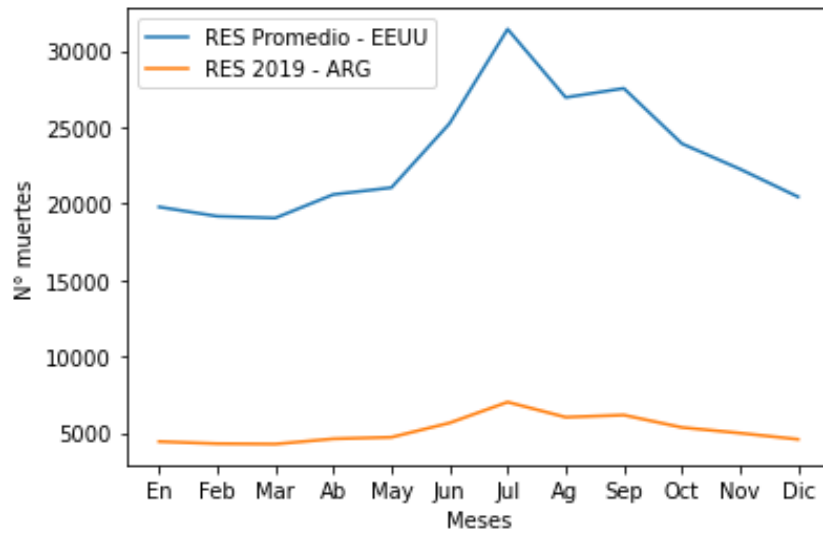


FIGURA 7. Promedio de muertes por RES en EEUU en los años 2017, 2018 y 2019, y muertes por RES en 2019 en Argentina.

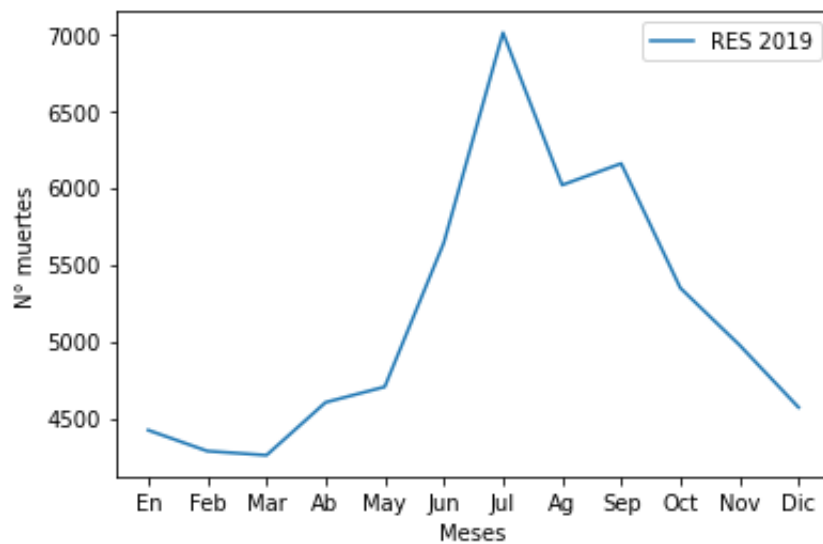


FIGURA 8. Muertes por RES en 2019 en Argentina.

**2.3. Tumores (TUM).** Se procede igual que en los casos anteriores, con curvas para EEUU en 2017, 2018 y 2019 y un promedio. Luego se construye la curva para los fallecidos en Argentina en 2019.

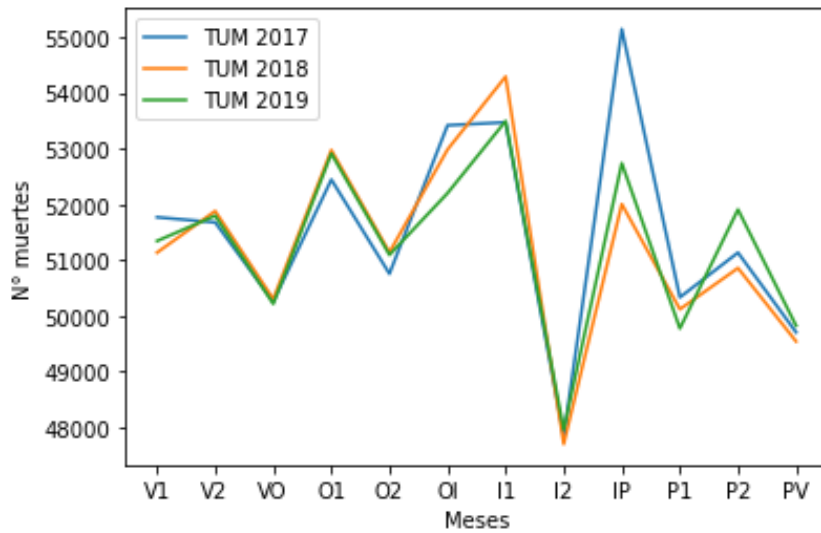


FIGURA 9. Muertes TUM en EEUU en los años 2017, 2018 y 2019.

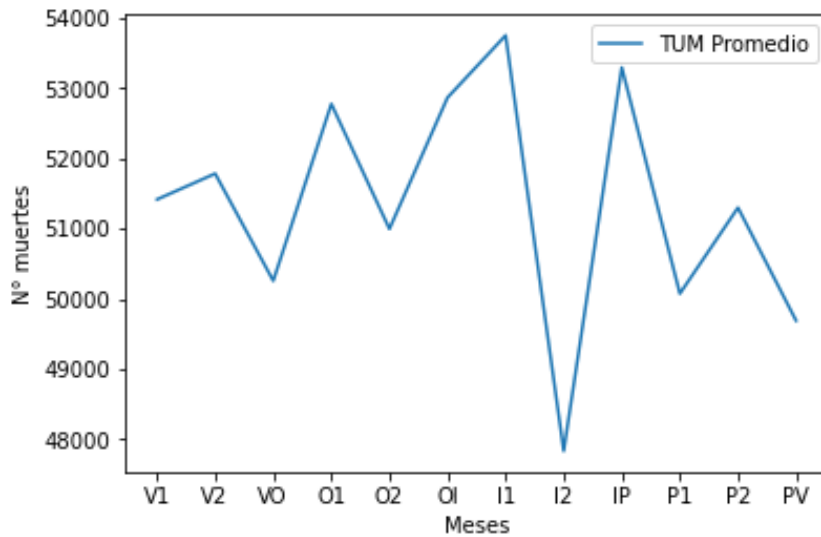


FIGURA 10. Promedio de muertes por TUM en EEUU en los años 2017, 2018 y 2019.

A partir de la curva promedio de fallecimientos por TUM en 2017, 2018 y 2019 en EEUU, y la cantidad de muertes totales en Argentina 2019, se construye la curva de muertes por dicha causa.

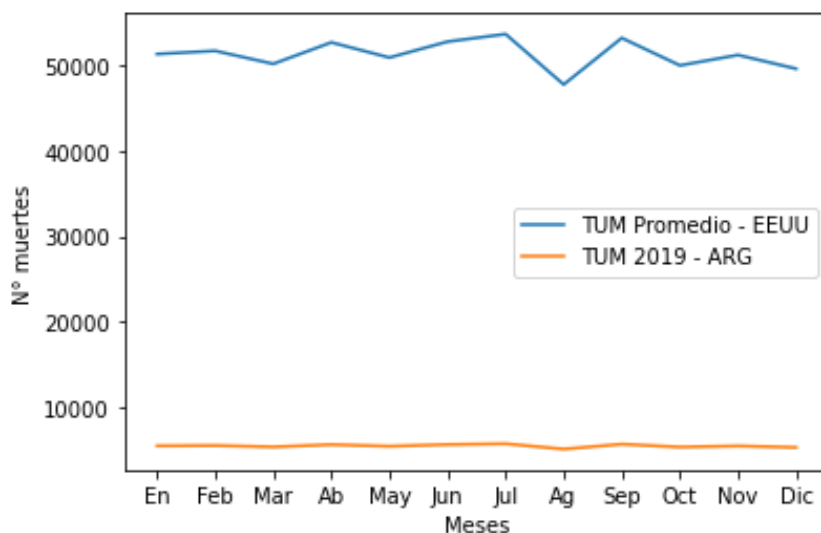


FIGURA 11. Promedio de muertes por TUM en EEUU en los años 2017, 2018 y 2019, y muertes por RES en 2019 en Argentina.

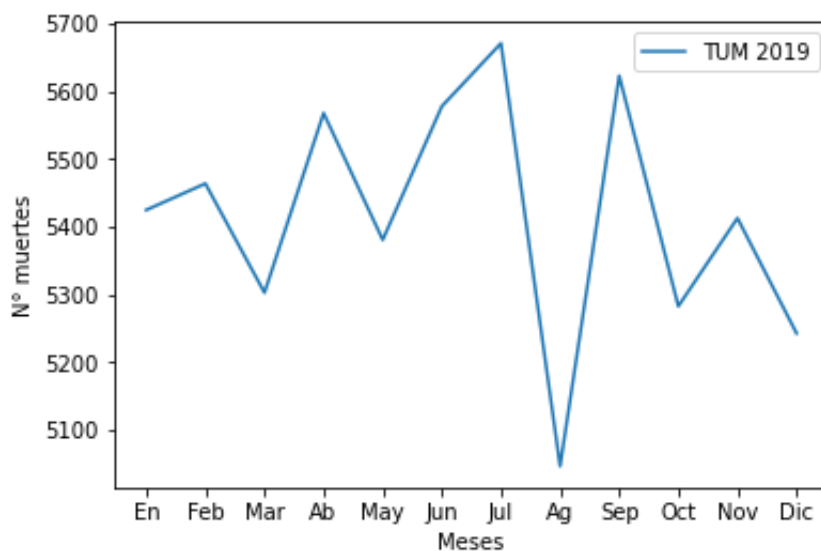


FIGURA 12. Muertes por TUM en 2019 en Argentina.

Finalmente, dado que los datos que tenemos de COVID-19 en Argentina son para 18 meses, y con el objeto de tener una comparación más robusta para distintos momentos de la pandemia, extrapolamos a un año y medio las tres gráficas obtenidas para CIR, RES y TUM para Argentina. Es decir, se considera desde enero 2020 hasta junio 2021.



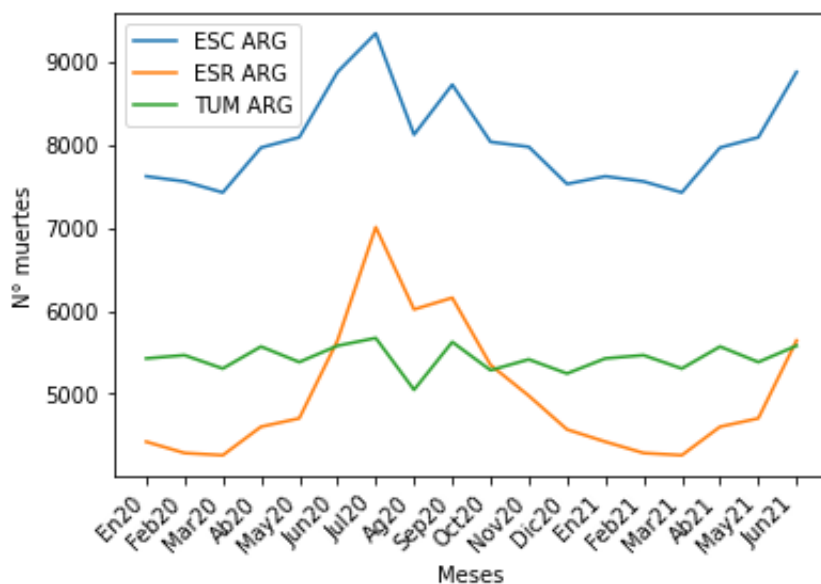


FIGURA 13. Muertes en 2019 en Argentina debido a CIR, RES y TUM, en 18 meses.

### 3. Comparación de las gráficas CIR, RES, TUM y COVID-19 para Argentina

Con los datos obtenidos en [1] para todo el desarrollo del COVID-19 en Argentina tenemos la siguiente gráfica:

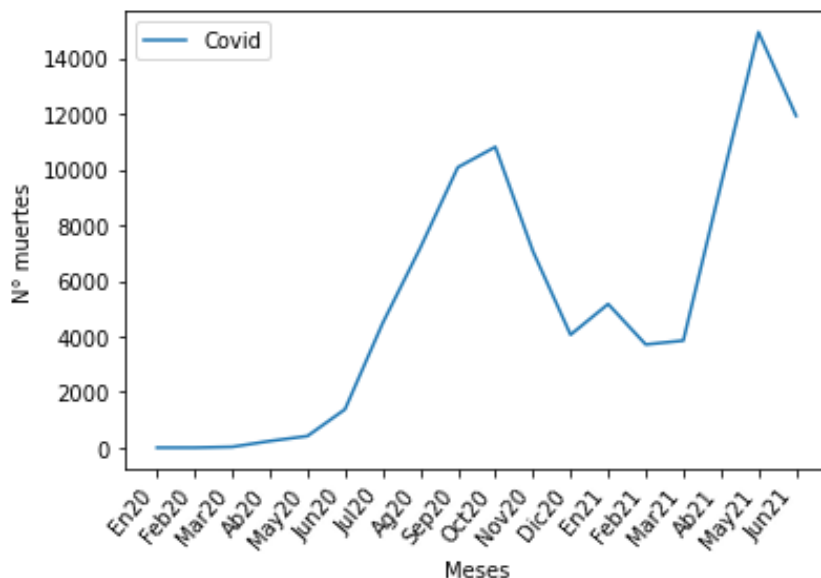


FIGURA 14. Muertes por COVID-19 en Argentina en los últimos 18 meses.

En esta imagen se puede ver claramente las dos “olas” de COVID-19 en Argentina. La primera teniendo su pico máximo entre septiembre 2020 y octubre 2020, y la segunda ola teniendo su pico máximo entre abril 2021 y mayo 2021. A continuación, se comparan las

muerres por CIR en Argentina frente a los fallecimientos por COVID-19 en el período enero 2020 - junio 2021.

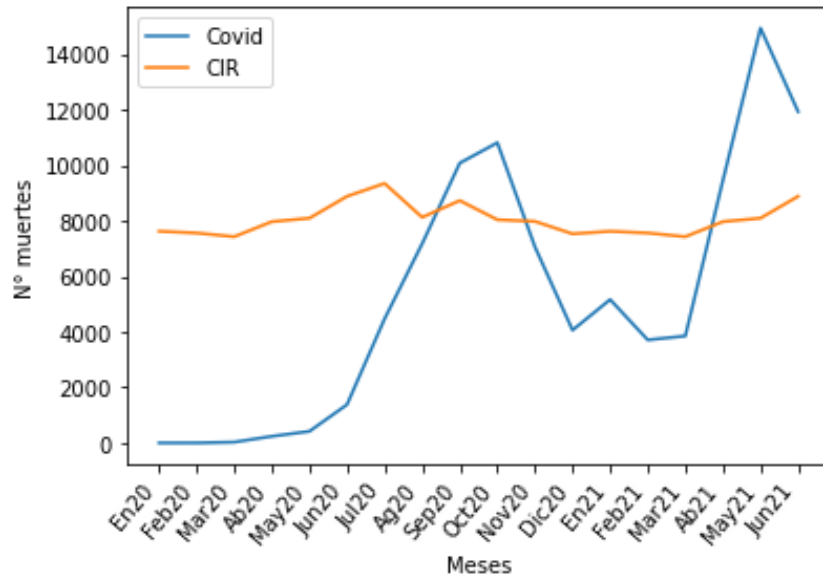


FIGURA 15. Muertes por COVID-19 y por CIR en Argentina en un período de 18 meses.

Seguidamente, se repite para RES:

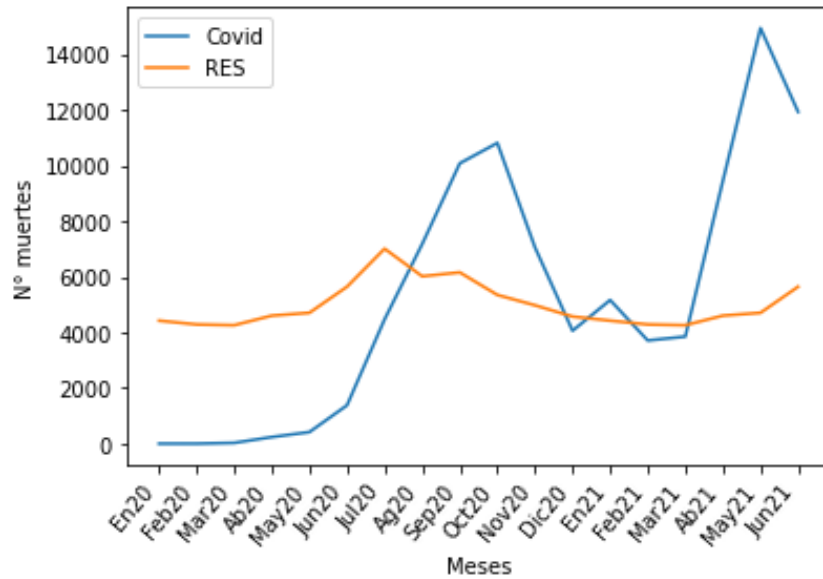


FIGURA 16. Muertes por COVID-19 y por RES en Argentina en un período de 18 meses.

Nuevamente, se repite el procedimiento para TUM:

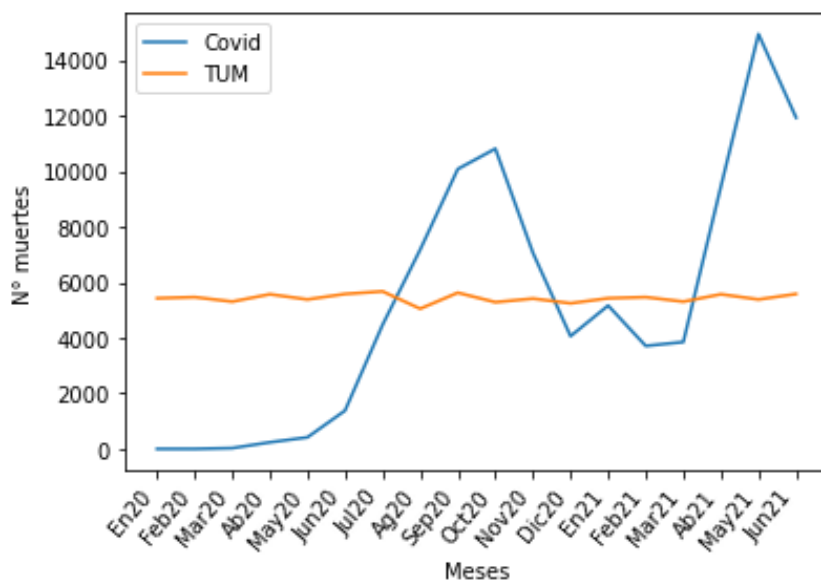


FIGURA 17. Muertes por COVID-19 y por TUM en Argentina en un período de 18 meses.

Por último, se comparan las 3 principales causas de muerte en Argentina antes de la pandemia (CIR, RES y TUM) y los fallecimientos por COVID-19.

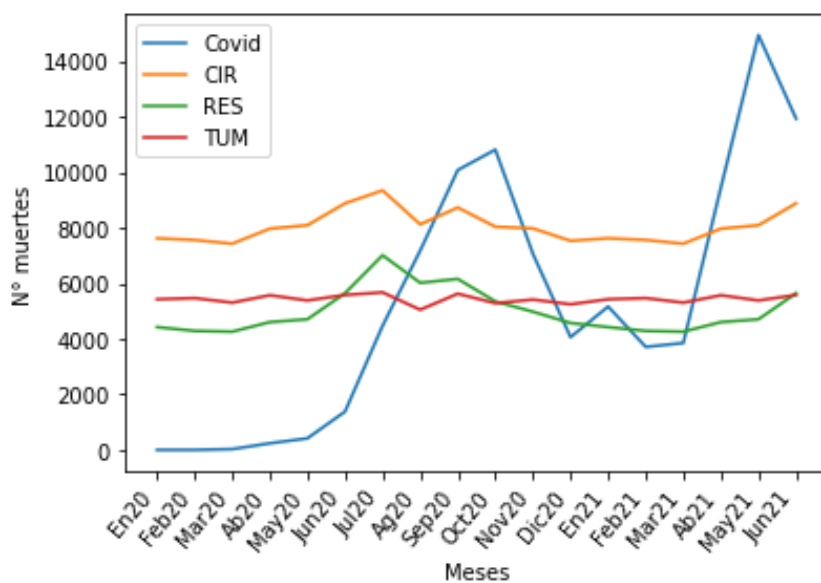


FIGURA 18. Muertes por COVID-19 y por las 3 principales causas en Argentina en un período de 18 meses.

Suponiendo que se consideran las 3 causas principales de muerte (CIR, RES y TUM) como una sola, frente al COVID-19, tendríamos:

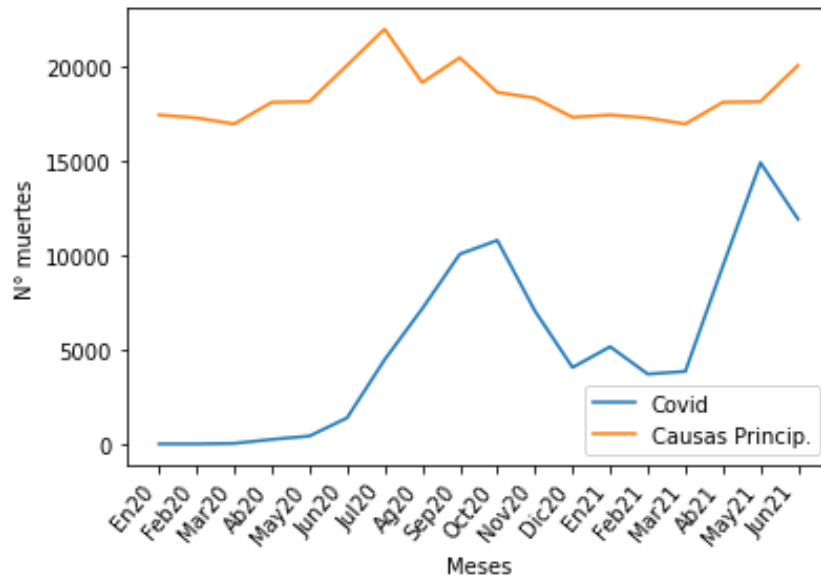


FIGURA 19. Las 3 principales causas de muerte en Argentina, consideradas como una sola, frente al COVID-19 en un período de 18 meses.

#### 4. Análisis de las pendientes en relación con la saturación del sistema de salud para las distintas causas de muerte

La última gráfica de la sección anterior muestra las distribuciones de muertes por COVID-19 y por la suma de todas las demás causas principales de muertes en la Argentina. Si bien el valor promedio de la curva de COVID-19 es inferior al valor promedio de la curva CIR + RES + TUM, los intervalos de crecimiento pronunciados son los que muestran el compromiso del sistema de salud porque el ingreso a internaciones se concentra en el tiempo y la infraestructura y el personal resultan insuficientes. Procedemos ahora a producir algunas cuantificaciones de estas magnitudes. Para ello construimos las gráficas de las pendientes mensuales cada una de las causas de muerte en Argentina.

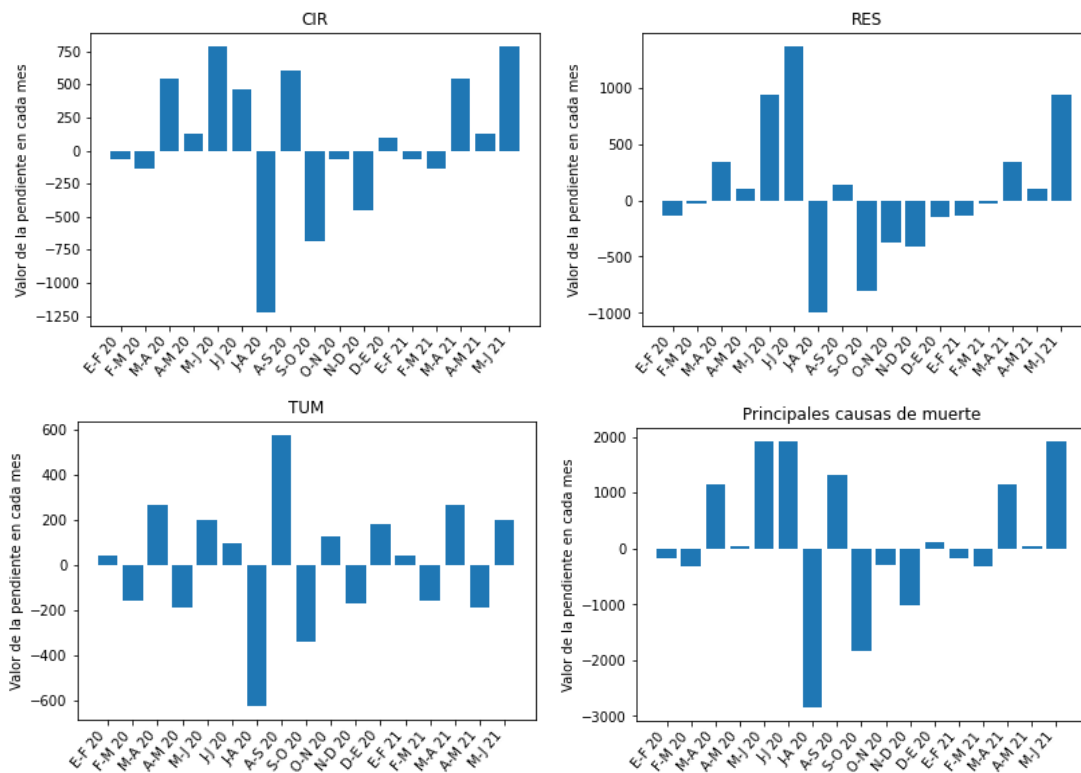


FIGURA 20. Pendientes de las curvas de fallecimientos de CIR, RES, TUM y la sumatoria en Argentina.

Puesto que el compromiso del sistema de salud ocurre en los momentos de crecimiento y no en los de decrecimiento, tomamos las partes positivas de ambas gráficas.

Ahora comparamos la suma de las principales causas de muerte en Argentina con las muertes por COVID-19.

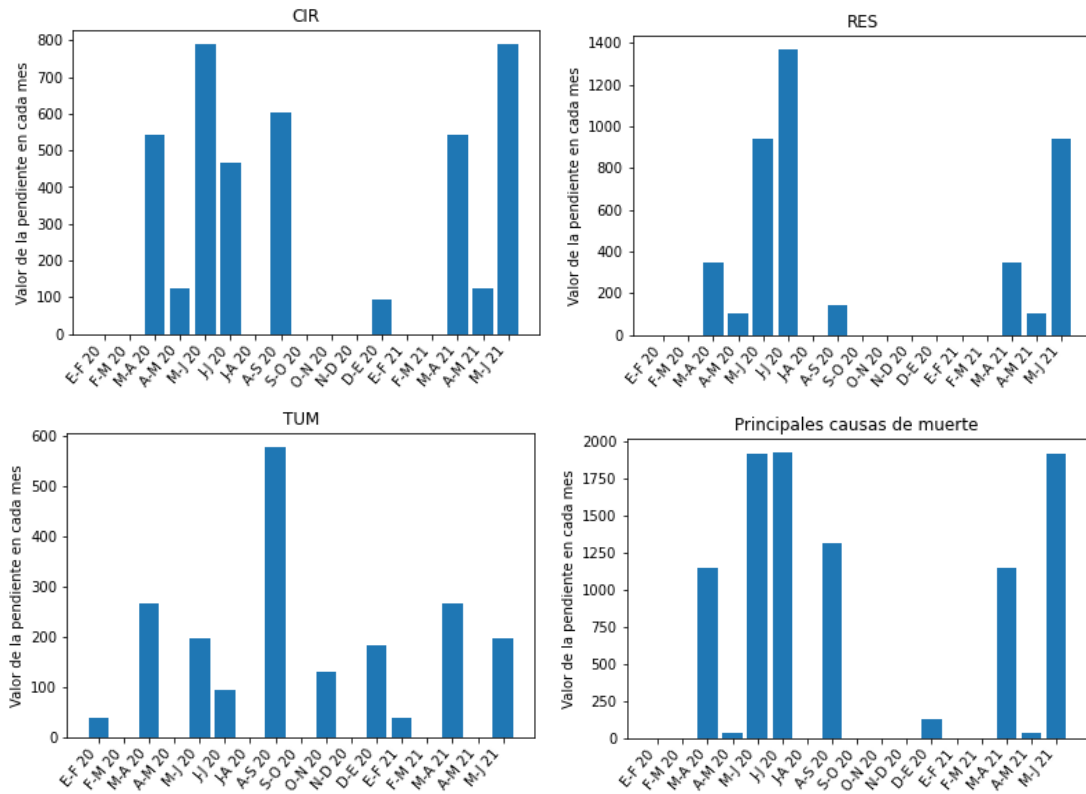


FIGURA 21. Pendientes positivas de las curvas de fallecimientos de CIR, RES, TUM y la sumatoria en Argentina.

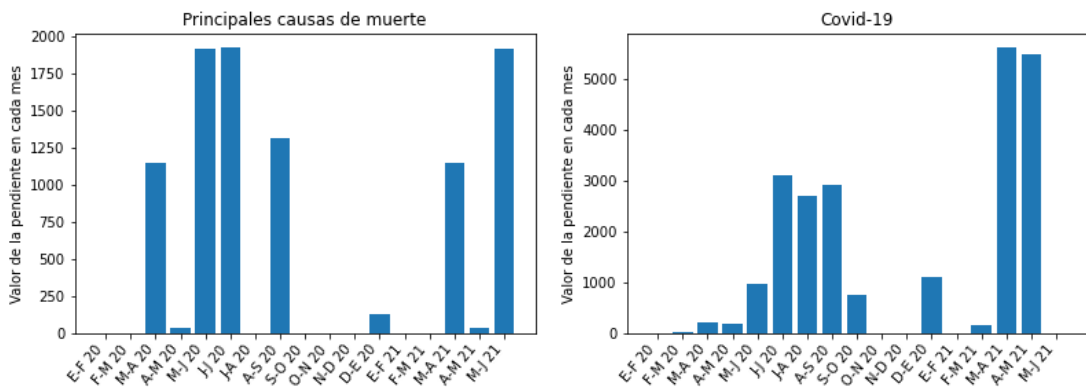


FIGURA 22. Pendientes positivas de las curvas sumadas de fallecimientos de CIR, RES, TUM y las muertes por COVID-19 en Argentina.

Ahora calculamos dos coeficientes para cada gráfica:  $\mu$  y  $\delta$ , donde  $\mu$  es el máximo y  $\delta$  es el área bajo las curvas. Así tenemos:  $\mu_C$  y  $\mu_P$  que son las alturas máximas para COVID-19 y para las principales causas de muerte en Argentina, respectivamente, y  $\delta_C$  y  $\delta_P$  el área bajo las curvas para COVID-19 y para las principales causas de muerte.

Con este algoritmo obtenemos que, mientras que  $\mu_P = 1925$ ,  $\mu_C = 5601$  y mientras que  $\delta_P = 9593$ ,  $\delta_C = 23193$ . Por lo tanto,

$$\frac{\mu_C}{\mu_P} = 2,909$$

y

$$\frac{\delta_C}{\delta_P} = 2,417.$$

Es decir, medido con estos cocientes el sistema de salud manifiesta una carga que es de casi tres veces la impuesta por todas las demás causas de muertes. Y claro, esto ocurre sin tener en cuenta la longitud de los períodos de internación que en COVID han mostrado ser prolongados.

## 5. Conclusiones

**5.1. Conclusión empírica.** Los coeficientes  $\mu$  and  $\delta$  reflejan mucho mejor que los números totales de muertes por cualquier causa los límites y saturaciones de los sistemas de salud.

**5.2. Conclusión teórica.** Si  $M(t)$  es la función que describe el número de muertes al tiempo  $t$ , los parámetros  $\mu$  y  $\delta$  se calculan así

$$\mu = \max_{0 \leq t \leq T} \left[ \frac{dM}{dt}(t) \right]^+$$

y

$$\delta = \int_0^T \left[ \frac{dM}{dt}(t) \right]^+ dt,$$

donde  $[a]^+$  denota la parte positiva de  $a$ , es decir,  $[a]^+ = a$  si  $a \geq 0$  y  $[a]^+ = 0$  si  $a < 0$ .

## Referencias

1. Covid Stats, *COVID-19 - Argentina*, <https://covidstats.com.ar>.
2. CDC Estados Unidos, *CDC Wid-ranging ONline Data for Epidemiologic Research (CDC WONDER)*, <https://wonder.cdc.gov/>.
3. Ministerio de Salud de la Nación Argentina, *Estadísticas vitales. Información Básica. Argentina 2019*, <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/serie5numero63.pdf>.