

# **Análisis de la evolución de muertes diarias por COVID-19 en Argentina usando la ley de Farr. Predicción del número total de decesos y la fecha de finalización del brote epidémico. Usando datos del 9 de Marzo al 15 de Abril de 2020.**

Cesar A. Barbero\*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Química, Facultad de Ciencias Exactas, Fisicoquímicas y Naturales, Universidad Nacional de Rio Cuarto.

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones en Tecnologías Energéticas y Materiales Avanzados

Campus UNRC- Ruta 36, km 601- 5800- Rio Cuarto-Pcia de Córdoba

E-mail: [cbarbero@exa.unrc.edu.ar](mailto:cbarbero@exa.unrc.edu.ar), cesarbarbero@gmail.com

## **Introducción**

La pandemia de COVID-19 está afectando a la República Argentina desde Febrero-Marzo de 2020. Las predicciones de modelos epidemiológicos predicen cantidades de infectados significativas ( $>40.000$ )<sup>\*</sup> al 11 de Abril. En base a estas predicciones el 20 de Marzo se implanto el aislamiento social preventivo y obligatorio (**ASPO**), con el objeto de lentificar la propagación del virus (“achatar la curva”). De esta manera se aseguraría que el sistema de salud no sea saturado por pacientes graves del COVID-19. La manera de predecir la evolución de las infecciones consiste en dos tipos de modelos. En un tipo (**Susceptible Infected Removed**, SIR) se plantea un sistema de ecuaciones diferenciales que tiene en cuenta la cantidad relativa de personas susceptibles, infectadas y removidas (recuperadas o fallecidas) en el área.[1] En este caso se tiene que incorporar un parámetro de infección ( $R_0$ , cuantas personas infecta un infectado) que es ajustable y de difícil conocimiento. La aplicación del ASPO obviamente disminuye significativamente el  $R_0$ . El otro modelo, llamado de agente, es más complicado e implica estimar cuantas personas son encontradas por el infectado y cuan probable es la transmisión. Nuevamente, dependiendo de los parámetros que se usen, puede predecir un problema menor o una catástrofe. Específicamente, el grupo del Imperial College, dirigido por Neil Fergusson,[2] predijo que habría 2.200.000 muertes en EEUU y 200.000 en Gran Bretaña (GB), si no se aplicaba el distanciamiento social. Luego de la declaración de distanciamiento social en ambos países, el modelo predijo ca. 200.000

---

\* A. Fernandez, Presidente de la nación, Conferencia de prensa del 11-04-2020

muertes en EEUU y 50.000 en GB.<sup>†</sup> El comportamiento del virus en diferentes países es muy distinto y esas diferencias no parecen recogidas por los modelos.

Una alternativa a estos modelos matemáticos consiste en ajustar los datos actuales usando un programa estadístico y una ecuación que describa el problema. En este caso, la conocida ley de Farr utiliza una distribución gaussiana para ajustar los datos.[3] Extrapolando la curva ajustada al futuro es posible predecir los valores futuros de casos o fallecidos.

Un problema con COVID-19 es la confiabilidad de los datos de infectados ya que requeriría realizar análisis una cantidad significativa de personas, o realizar un muestreo estadístico. Específicamente en la Argentina, por protocolo médico (que optimiza el uso de recursos escasos), solo analiza las personas con síntomas por lo cual por definición no puede detectar asintomáticos o no reportados (síntomas leves). Esto lleva a que analice ca. 450 personas por millón de habitantes, un número bajo para permitir un análisis epidemiológico.

Por otra parte, el número de fallecidos es de alta calidad para el análisis estadístico y puede alegarse que es el de verdadera importancia para proponer intervenciones. El **Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME)** de la University of Washington (EEUU), ha realizado el análisis estadístico de los datos de fallecidos por COVID-19 de diferentes países del mundo y estados de EEUU. (<https://covid19.healthdata.org/>). Lamentablemente, el IHME no ajusta los datos de Argentina u otros países del hemisferio Sur. La ecuación usada es una distribución gaussiana que concuerda con la ley de Farr.[3]

En base a estos se propuso desarrollar el programa de cálculo (ya que no se pudo acceder la del IHME) y, luego de su ensayo con trayectorias conocidas, ajustar los datos de Argentina, prediciendo parámetros relevantes como la duración del brote, el periodo en el cual ocurre el máximo, y el número total de fallecidos.

## Experimental

El programa se desarrolló en Python 3.76 (<https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=python>) en la IDE Spyder (<https://www.spyder-ide.org/>) lanzada por Anaconda (<https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=anaconda+python>) en una laptop Dell Latitude 3460 (i3, 4 Gb de memoria y 600 Gb de disco). La ecuación gaussiana (ley de Farr) se integró simbólicamente con Euler (<http://euler.rene-grothmann.de/index.html>) agregando una constante de integración.

---

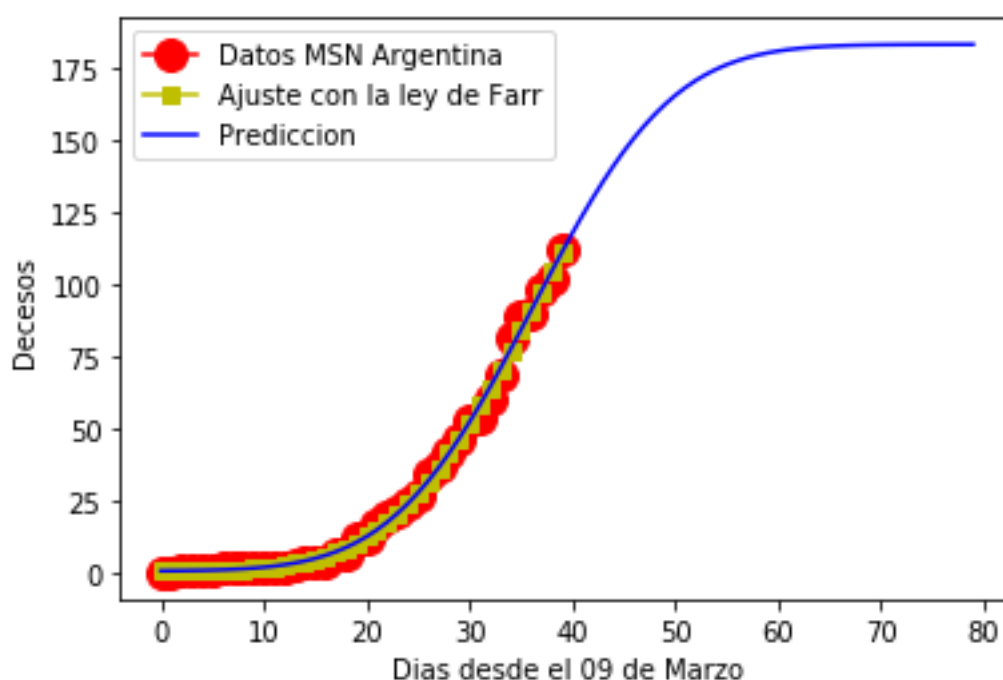
<sup>†</sup> Es significativo que las actuales predicciones del IHME son mucho menores: 68.000 para EEUU y 20.000 para GB.

**Método:** ajuste con rutinas en Python (scipy.optimize, <https://www.scipy.org/>) en programas propios en Python (disponible en <https://github.com/cesarbarbero/programas-para-predecir-COVID-19/>). Testeada con datos de Italia (<https://covid19.healthdata.org/italy>) que contiene más de 2/3 del pico de fallecidos por día. El programa predice los mismos parámetros usando los datos totales de Italia (53 días) o 35 días (los mismos que hay datos en Argentina) de Italia, mostrando que es capaz de predecir adecuadamente la evolución de los fallecimientos en el tiempo.

Los programas, test suite (datos de Italia obtenidos de IHME) y archivos de datos están subidos a github y son de acceso público. (<https://github.com/cesarbarbero/programas-para-predecir-COVID-19/>).

Los datos de Argentina fueron obtenidos del Ministerio de Salud de la Nación (MSN) (<https://www.argentina.gob.ar/coronavirus/informe-diario>).

## Resultados



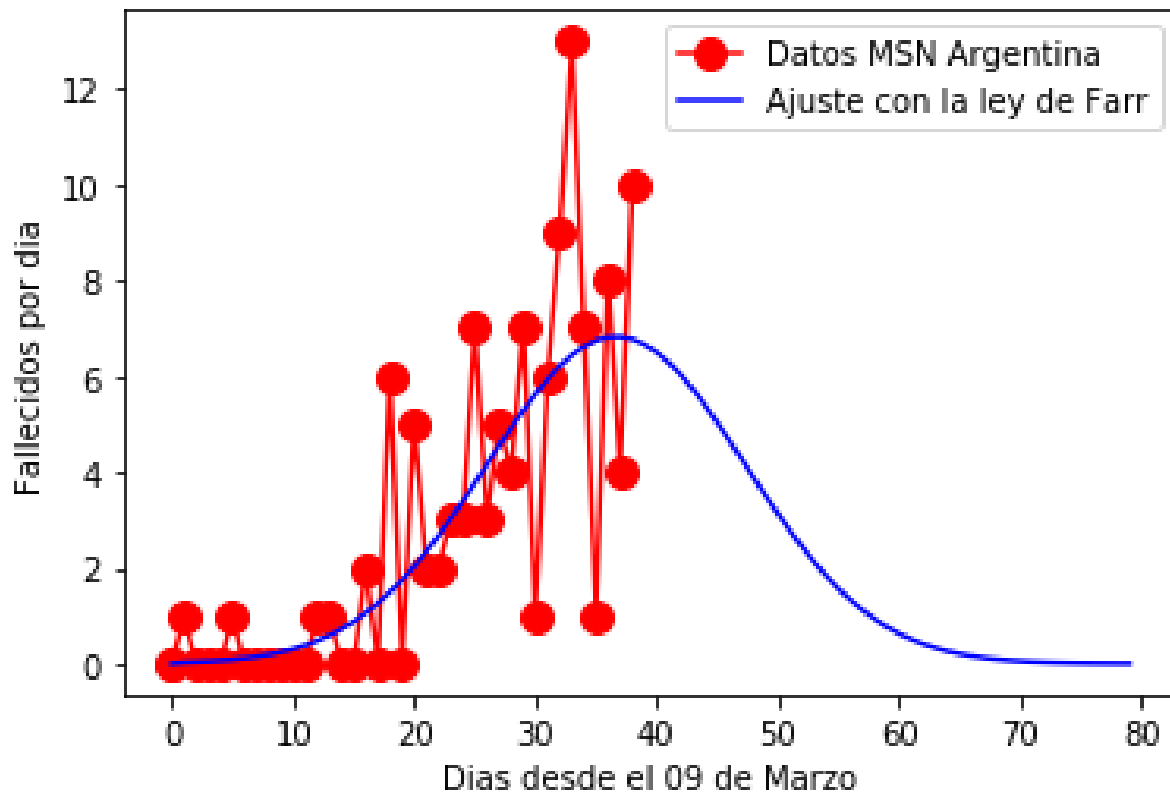
**Figura 1.** Círculos rojos = datos del Ministerio de Salud de la Nación. Cuadrados amarillos = ajuste con función integral gaussiana. Línea azul = predicción.

Se realizó el ajuste de los datos hasta el 14 de Abril de 2020, que se muestra en la Figura 1. Inicialmente, se realizó el ajuste con la función gaussiana pero los datos presentan una gran variación

diaria debida al método de colección de los datos en el país. Por lo tanto, se prefirió realizar la sumatoria de datos reportados diariamente.

El ajuste observado es excelente y permite predecir la evolución de la sumatoria de fallecimientos (curva roja en Figura 1). El ajuste permite predecir que la máxima cantidad de fallecidos será de 128 a 237 (media 183).

En base a la ecuación ajustada se propuso colocarla en otra forma informada por el IHME que es la cantidad de fallecidos por día a través del tiempo. Esta se obtiene por derivada numérica de la curva de sumatoria (curva roja en Figura 1).



**Figura 2.** Círculos rojos = datos del Ministerio de Salud de la Nación (MSN). Línea azul = derivada numérica de la curva de ajuste integral gaussiana.

Como se observa la función gaussiana muestra una curva simétrica con un media máxima de 6 (+/- 5) fallecidos por día. La curva (línea azul en Fig.2) traza la dispersión de datos experimentales (círculos verdes en Fig.2) pero estos presentan una gran dispersión debido al método de recolección de datos.

La curva permite predecir cuándo será el máximo de muertes diarias, que fue el 15 (+/-2) de Abril) y la primera fecha con cero muertes sería el 20(+/-3) de Mayo. Sin embargo, ya el 1 (+/- 2) de Mayo habrán ocurrido el 95% de los decesos.

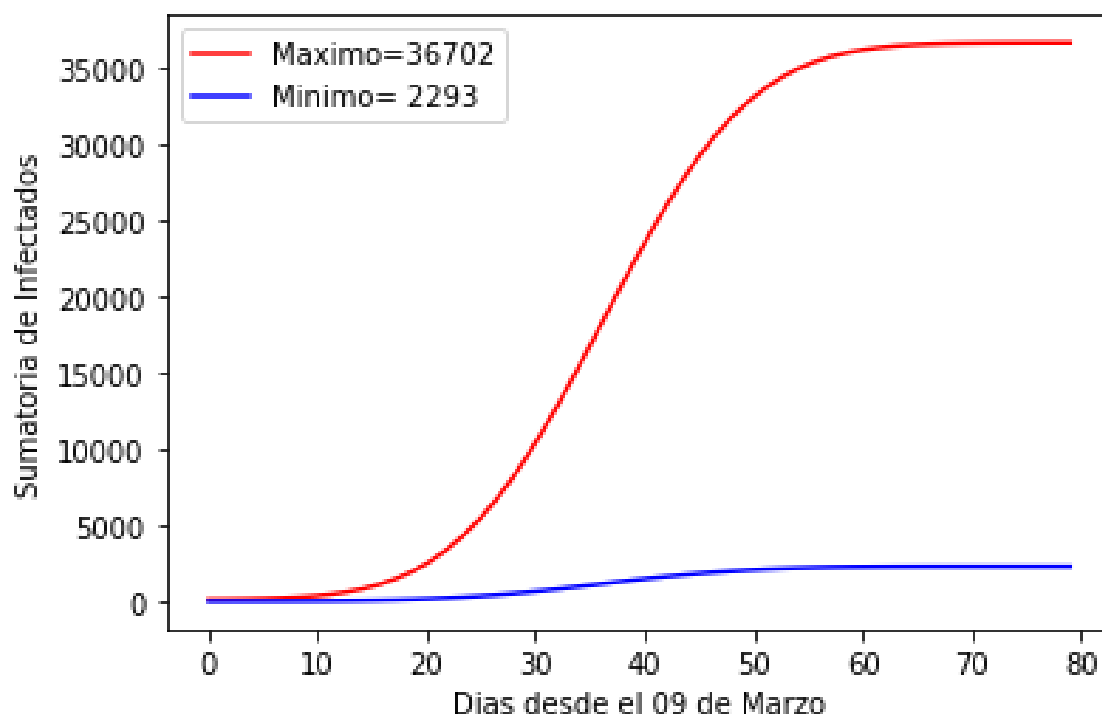
### Total de infectados

Máximo (baja tasa de mortalidad (0.5 % (Corea))= 36702 infectados

Mínimo (alta tasa de mortalidad (8.0 % (Italia))= 2293 infectados

Usando los datos de fallecidos, es posible calcular el número de infectados. Los posibles escenarios extremos son la más baja tasa de mortalidad (0,5%, Corea del Sur) o la más alta (8%, Italia).

La figura 3 muestra los dos escenarios, con un máximo de ca. 35500 casos y un mínimo de ca. 2300 casos.



**Figura 3.** Predicciones de infectados por aplicación de la tasa de mortalidad. Línea azul = escenario de mínima. Línea roja = escenario de máxima

## Conclusiones

El modelo aplicado permite ajustar satisfactoriamente los datos de evolución de fallecimientos por COVID-19 en Argentina. Las predicciones de otros modelos para otros países,[2] difieren significativamente de la realidad (ver introducción).

La predicción del modelo es que habrá menos de 200 fallecidos y el brote ya ha comenzado a disminuir alrededor del 14 de Abril y terminara alrededor del 20 de Mayo.

El número total de fallecidos es bajo si se lo compara con los fallecidos en 2019 de enfermedades respiratorias ( $> 35.000$ [4]) o aun con el brote pandémico de gripe H1N1. ( $>600$  [5]).

Es posible presumir que la baja mortalidad es debida a la aplicación del ASOP. Sin embargo, si se ajusta la curva con los datos de decesos hasta el 23 de Marzo, se obtiene un número de decesos de 185. O sea que no hay evidencia que la curva de mortalidad se haya afectado significativamente por la aplicación de la ASOP. Sin embargo esta conclusión depende mucho de la sensibilidad de la curva a los valores iniciales Existe ausencia de evidencia, que no es evidencia de ausencia.

Por otra parte, dado los significativos efectos colaterales de la ASOP sobre la sociedad y la ausencia de evidencias científicas previas sobre su utilidad como intervención no farmacológica contra epidemias virales, cabe evaluar la utilidad de la intervención frente a otras alternativas como: i) aislamiento estricto de los grupos de riesgo; ii) detección y aislamiento estricto de los propagadores (infectados); iii) aislamiento geográfico de los lugares con circulación. Alemania y Suecia han aplicado la opción (i). Otros países (Corea del Sur, Hong Kong, Taiwan, Vietnam, Singapore) han aplicado la opción (ii), mientras que el sitio aparente de origen (China) aplico la ASOP solo en Wuhan, no en todo el país, configurando la opción (iii). Los resultados parecen haber sido mejores que aquellos que aplicaron la ASOP (Italia, España, Francia), con menores efectos colaterales sobre el sistema socioeconómico. Es importante mencionar que la evaluación de la pandemia por el IHME sugiere que el distanciamiento social es imprescindible pero no exige la aplicación de aislamiento (ASOP). Por otra parte, el IHME ha aplicado un método similar al de este informe (ley de Farr) a gran parte de los países del hemisferio norte y la forma de la curva parece ser un principio general. Actualmente estamos tratando de analizar todos los países de Sudamérica, el caribe y Méjico para ver si el comportamiento encontrado en Argentina se mantiene en el hemisferio sur y para analizar la evolución de la epidemia en países vecinos que pueden reiniciar el brote en Argentina.

En la discusión con otros científicos se me ha hecho notar que el análisis depende de que todos los decesos estén reportados, siendo que es posible que haya decesos por COVID 19 no reportados en

Argentina por razones operacionales o ausencia de ensayos. Este es un problema frecuente en situaciones de catástrofe, pero creo que afectaría a los valores absolutos en alguna medida, no a la forma de la curva.

### **Agradecimientos**

La laptop utilizada fue adquirida con fondos de un proyecto de la SPU. El autor agradece el uso de programas de código abierto (Python, Anaconda, Spyder, Matplotlib, Scipy, Numpy, Euler Math Toolbox, Vseuz graphics software)

### **Referencias**

- [1] <https://www.researchsquare.com/article/rs-16297/v1>
- [2] Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand, Neil M. Ferguson et al, 16 March 2020, Imperial College COVID-19 Response Team
- [3] M. Santillana, et al, Relatedness of the incidence decay with exponential adjustment (IDEA) model, “Farr's law” and SIR compartmental difference equation models, Infectious Disease Modelling, 3(2018)1-12,
- [4] <https://www.telam.com.ar/notas/202002/435411-casi-32-mil-personas-mueren-por-ano-en-argentina-por-neumonia-e-influenza.html>.
- [5] [https://es.wikipedia.org/wiki/Pandemia\\_de\\_gripe\\_A\\_\(H1N1\)\\_de\\_2009-2010\\_en\\_Argentina](https://es.wikipedia.org/wiki/Pandemia_de_gripe_A_(H1N1)_de_2009-2010_en_Argentina)
- [6] <http://www.healthdata.org/research-article/forecasting-covid-19-impact-hospital-bed-days-icu-days-ventilator-days-and-deaths>