

Revista Latinoamericana de Difusión Científica



Modelación por mínimos cuadrados de la mortalidad en el Perú (1960-2020), causada por enfermedades respiratorias y por Coronavirus Disease 2019

DOI: <https://doi.org/10.38186/difcie.23.03>

Ángel Huacal Vásquez *

RESUMEN

En la presente investigación el objetivo es demostrar la validez del método de mínimos cuadrados para el problema de la mortalidad en el Perú desde 1960-2020. Se usó datos anuales de mortalidad (macro desde 1960-2017, Ministerio de Salud (MINSA) desde 1999-2011, Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) desde 2000-2015), datos de mortalidad por enfermedades respiratorias del MINSA en el período 2005-2014; datos diarios de número de personas muestreadas, infectados y fallecidos por Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) de los diarios *El Comercio* y *La República* para el período 6 de marzo al 15 de mayo del 2020; datos MINSA de población desde 1999-2011. Se aplicó el método de los mínimos cuadrados y sus proyecciones lineales al 2020, criterios de programación lineal para maximización, y la base de estudios epidemiológicos 2018 en el Perú para referenciar el pico de pandemia. Los resultados de proyecciones lineales indican una maximización de 189415 fallecidos corresponde a julio 2018, una población al 2020 de 33474504 personas, una tasa máxima de mortalidad de 0.60%, y un porcentaje de 14.2% de mortalidad en el 2020 por enfermedades respiratorias alcanzando los 28630 fallecidos. Los resultados del análisis COVID-19 presenta un comportamiento cuadrático, la proyección anual sobre una muestra de 1.8% de la población, indica que el porcentaje de mortalidad es de 12.2% y la tasa de mortalidad es de 0.07%. Se concluye que la mortalidad es oscilatoria y crece linealmente o como máximo tiene un comportamiento cuadrático y la mortalidad anual por COVID-19 en Perú está dentro de la ocurrencia de mortalidad por enfermedades respiratorias al 2020.

PALABRAS CLAVE: Perú; proyección lineal; mínimos cuadrados; COVID-19; mortalidad; enfermedades respiratorias.

*Licenciado en Física. Colegio de Físicos del Perú (CFP N° 0350), angelhuacalvasquez@gmail.com

Recibido: 12/06/2020

Aceptado: 30/07/2020

Least squares modeling of mortality in Peru (1960-2020), caused by respiratory diseases and by Coronavirus Disease 2019

ABSTRACT

In the present investigation the objective is demonstrate the validity of the least square method for the problem of general mortality in Perú since 1960-2020. Annual mortality data was used (macro since 1960-2017, Ministry of Health (MINSA) since 1999-2011, National Institute of Statistics and Informatics (INEI) since 2000-2015), mortality data for respiratory diseases of the MINSA in the period 2005-2014, daily data on number of people sampled, infected and dead for Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) of the newspapers *El Comercio* and *La República* for the period March 6 to May 15, 2020; MINSA population data since 1990-2011. The method of least squares was applied and its linear projections to 2020, linear programming criteria for maximization, and the 2018 epidemiological study base in Peru to reference the peak of the pandemic. The linear projection indicate a maximization of 189415 deaths corresponds to July 2018, a 2020 population of 33474504 people, a maximum mortality rate of 0.60%, and a percentage of 14.2% of mortality in 2020 due to respiratory diseases reaching 28630 deaths. The results of the COVID-19 analysis show a quadratic behavior, the annual projection on a sample of 1.8% of the population, indicates that the mortality percentage is 12.2%, and the mortality rate is 0.07%. It is concluded that mortality is oscillatory and grows linearly or at most has a quadratic behavior and the annual mortality from COVID-19 in Peru is within mortality from respiratory diseases by 2020.

KEYWORDS: Peru, linear projection, least squares, COVID-19, mortality, respiratory diseases.

Introducción

El interés por conocer los indicadores de mortalidad en el mundo inició en Londres en 1536 (INEI 2017); los estudios epidemiológicos en el Perú, Nakamoto, I. et al. (2003), afirma que el 12 de marzo del 2003 hubo una Alerta Global por una enfermedad respiratoria desconocida que producía la muerte por neumonía a la que posteriormente se le denominó Síndrome Respiratorio Agudo Grave (SARS), además indica que el Coronavirus es un grupo de virus que es causa común de enfermedades respiratorias en humanos. La Resolución N° 139-2020-MINSA informa respecto al Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) es una enfermedad y define los casos en función de infecciones respiratorias agudas (IRA), es causado por el virus SARS-COV-2 (coronavirus 2) y tiene comorbilidades (otras enfermedades asociadas); Fernanda, P. (25 de febrero 2020) afirma que el Centro Chino para el Control y Prevención de Enfermedades indica una tasa de mortalidad general por COVID-19 de 2.3%; el diario La República (6 de mayo 2020) respecto a COVID-19 señala:

“Una infección no crece ad infinitum. En un momento satura y ya no existen personas susceptibles”. Estudios Epidemiológicos de IRA en la niñez en el Perú, Suarez, L. (2018), indica que son un grupo de enfermedades causadas por virus y bacterias, entre ellas se encuentra la neumonía, tienen un patrón estacional, y la mortalidad por IRA baja se mantiene como la primera causa de muerte desde 1985 al 2015.

Los estudios de mortalidad MINSA (2013) afirma que las epidemias generan variaciones aleatorias produciendo fluctuaciones en la tasa anual de mortalidad, además señala que el 2011 las IRA alcanzaron el 13.3% y las causas externas el 9.3%, es decir, aproximadamente el 90% de mortalidad causada por enfermedades. Respecto a las omisiones de defunciones el INEI (2017) indica que continúa siendo alta y varía entre el 41.0% y 53,0%, señala que es útil técnicas de corrección de datos y modelos de mortalidad. Respecto a los modelos matemáticos hay modelos exponenciales para el crecimiento microbiano; pero INEI (2017) muestra que la mortalidad se puede ajustar a ecuaciones polinómicas; Zeña, S. y Barceló, C. (2014) indican que las series temporales de IRA tuvieron un comportamiento parabólico en un periodo de 3 años; los estudios de Dávila, E. y Meza, L. (2009) presentan proyecciones de mortalidad y población a nivel nacional en un periodo de 5 años; MINSA (2013) muestra que la tasa bruta de mortalidad tiene tendencia lineal.

En el presente estudio los conceptos de programación lineal son muy importantes. Al respecto, Cabrera, S. (2012) nos presenta un método gráfico para maximizar una variable. En este artículo se optó por usar el método de los mínimos cuadrados, prescindiendo así del modelo exponencial; sustentan las proyecciones lineales de población y mortalidad al 2020 los coeficientes de correlación; los datos COVID-19 tienen comportamiento cuadrático y se pueden aproximar a líneas rectas de máxima pendiente, ya que el concepto de tasas está ligado a los totales de fallecidos e infectados independiente del comportamiento matemático, considerando que la mortalidad en el Perú entre ellas las epidemias es un problema multidisciplinario, por eso se busca aportar el análisis matemático y su debida interpretación física.

1. Datos y métodos

Se descargaron datos de mortalidad (datosmacro.com, es una organización internacional), descargados de la web:

[-https://datosmacro.expansion.com/demografia/mortalidad/peru](https://datosmacro.expansion.com/demografia/mortalidad/peru)

Acá se tomó en cuenta el período 1960 hasta 2017, y datos anuales de mortalidad y población de MINSA (2013) en el periodo 1999-2011; datos de mortalidad defunción de estadísticas vitales de INEI (2017) periodo 2000-2015, datos anuales de mortalidad del MINSA en el periodo 2005-2014 descargado de la web:

[-http://www.minsa.gob.pe/estadisticas/estadisticas/Mortalidad/Macros.asp?00](http://www.minsa.gob.pe/estadisticas/estadisticas/Mortalidad/Macros.asp?00)

En este repositorio se identificaron las causales de mortalidad por enfermedades respiratorias: Influenza (gripe) y Neumonía, enfermedades respiratorias que afectan principalmente al intersticio, enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores, otras enfermedades del sistema respiratorio; datos diarios de muestras y casos confirmados por COVID-19 a nivel nacional proporcionados por el diario *El Comercio* (de fechas 22 de abril y 16 de mayo 2020, pág.6), datos diarios de casos confirmados y número de fallecidos por COVID-19 del diario *La República* (16 de mayo del 2020 pág.6 y 7); dicha información de ambos diarios corresponde al periodo de 6 de marzo hasta el 15 de mayo del 2020.

Para evaluar la mortalidad general se graficó las respectivas series anuales desde 1960 -2017, por datos macro MINSA e INEI, se elaboró una tabla para la mortalidad parcial por enfermedades respiratorias e Influenza y Neumonía, se estimaron regresiones lineales para maximizar la mortalidad desde 1960-2020 estableciendo 4 escenarios (macro 1 desde 1960-2017, macro 2 desde 2005-2017, MINSA desde 1999-2011 y INEI desde 2000-2015), se hizo uso de Excel para los cálculos y gráficos.

Para el análisis COVID-19 se usaron series temporales diarias, se tuvo en cuenta el número del día que le corresponde en el año, es decir los 366 días del 2020, el inicio de pandemia es el 6 de marzo (día 66 del año) y finalmente se reemplazó el tiempo por su respectiva semana epidemiológica (SE), ya que es la metodología epidemiológica presentada por Suarez, L. (2018); fue necesario saber el valor pico de pandemia, se consideró en base al estudio epidemiológico del 2018 que indica se encuentra entre la SE 16 a la SE39, resultando el día 13 de julio (día 195 del año), valor tentativo, como pico máximo para poder tener una referencia para los cálculos; otra razón es el análisis de maximización que coincide para julio 2018; otra razón es que se pretende un estudio anual. Finalmente, con los totales anuales máximos se calcularon los porcentajes y tasas de mortalidad y letalidad para COVID-19 comparando con años anteriores.

2. Resultados y discusión

2.1. Análisis de la mortalidad general y parcial por enfermedades respiratorias

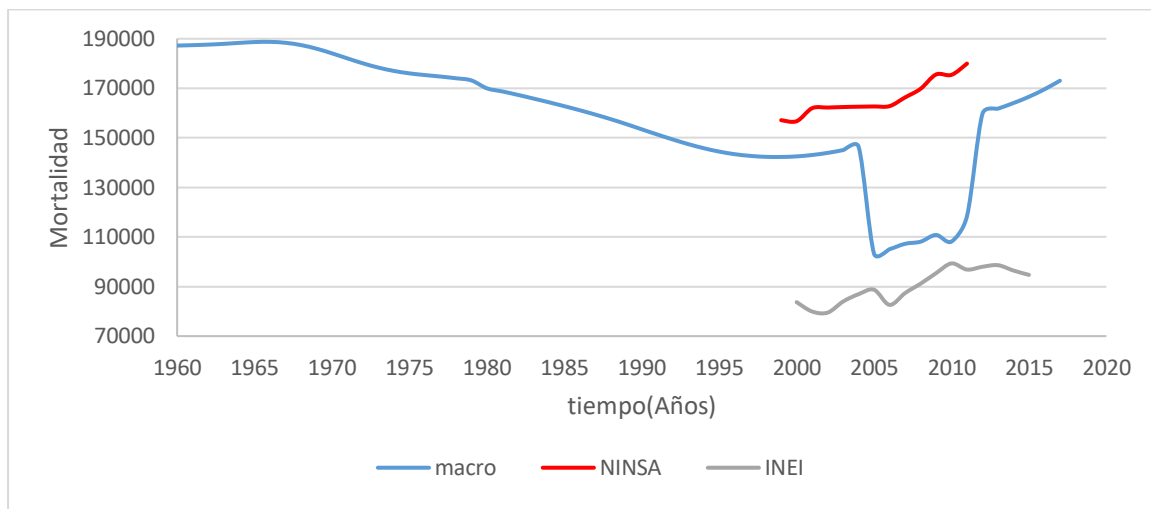


Figura N° 01. Mortalidad anual en el Perú desde 1960-2017, fuente de datos macro, MINSA e INEI.

Se observa que la mortalidad con datos macros (registro internacional) indica que la mortalidad decrece linealmente hasta el año 2005, y luego empieza a crecer; MINSA e INEI evidencian las omisiones de registros, los coeficientes de correlación lineal en sus respectivos periodos son: Macro -0.75, MINSA es 0.93, INEI es 0.89. Entre otras causas del crecimiento de la mortalidad a partir del 2005 puede estar relacionado al cambio climático según los estudios de Zeña, S. y Barceló, C. (2014) en la que se afirman que los mínimos anuales de temperaturas corresponden a la mayor incidencia de IRAS; además, Suarez, L. (2018) indica que las IRA se incrementan durante las bajas temperaturas. Las ecuaciones para los mínimos cuadrados para (Y) en función de (x) son referenciadas para n datos por Martínez, A.(2008).

$$Y =$$

$$a + bx + cx^2 \dots (1)$$

Donde se tiene el sistema de ecuaciones para hallar las constantes a,b,c.

$$an + b \sum x + c \sum x^2 = \sum Y$$

$$a \sum x +$$

$$b \sum x^2 + c \sum x^3 = \sum xY$$

$$a \sum x^2 +$$

$$b \sum x^3 + c \sum x^4 = \sum x^2Y$$

Para el ajuste lineal es necesario hacer c=0. En el presente estudio se relacionará la mortalidad, población e infectados en función del tiempo. En la Figura N° 02 se ha

maximizado la mortalidad con criterios de programación lineal (Cabrera, S., 2012), obteniéndose 189417 fallecidos en julio del 2018, intersección de líneas E1macro y MINSA. Las proyecciones máximas de mortalidad para el 2020 es 199392 fallecidos según el Escenario macro 2005-2017, y el menor valor de la mortalidad 2020 es de 106403 fallecidos según registro INEI. La proyección lineal de la población desde el periodo 1999-2011 para el 2020 nos da un valor de 33474504 personas, dicho valor es más preciso que la proyección del INEI, Dávila, E. y Meza, L. (2009); pero el indicador demográfico de mortalidad general en dicho estudio para el 2020 está muy próximo al encontrado.

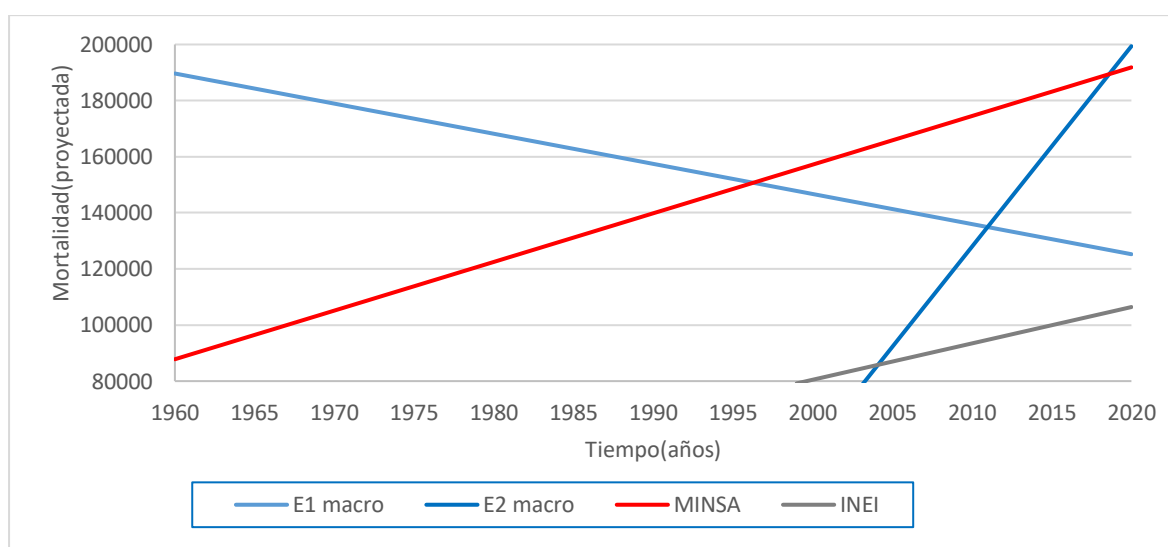


Figura N° 02. Maximización lineal de la mortalidad en el Perú 1960-2020.

Tabla N° 01. Serie temporal anual por enfermedades respiratorias desde 2005-2014.

Año	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Influenza y Neumonía	9839	8623	9630	9919	11948	12373	12188	13484	13608	13349
Enf. Respiratorias	13123	8623	14476	17154	19052	20199	20022	20721	20548	19078

Fuente (<http://www.minsa.gob.pe/estadisticas/estadisticas/Mortalidad/Macros.asp?00>).

El coeficiente de correlación (Tabla N° 01) por enfermedades respiratorias es de 0.81 y por Influenza y Neumonía es de 0.93; las proyecciones lineales al 2020 por enfermedades respiratorias es de 28630 fallecidos y por Influenza y Neumonía es de 17414 fallecidos. Según el INEI (2017) define la tasa de mortalidad (m) como:

$$m = \frac{\text{Defunciones}}{\text{Población}} \dots (2)$$

Con la ecuación (2) para los valores máximos proyectados al 2020, se tiene una tasa de mortalidad de 0.60%, es decir, la mortalidad general es mucho menor al 1% de la población, y un porcentaje de mortalidad por enfermedades respiratorias de 14.4%.

2.2. Análisis para la mortalidad por Covid-19 en el 2020

El ajuste cuadrático para el número de infectados en el periodo 6 de marzo y 15 de mayo es:

$$Y = 208504.7634 - 5058.8086x + 30.2469x^2 \dots (3)$$

Para el día 195 del año se tiene 372175 infectados a nivel anual por simetría será 744350 infectados. En los datos de mortalidad a partir del día 21 de abril del 2020 se observó una tendencia lineal.

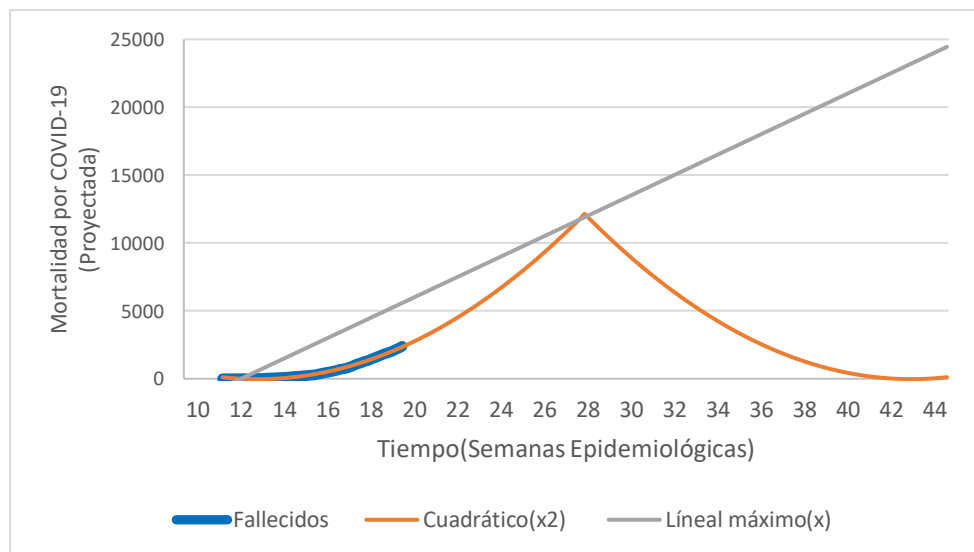


Figura N° 04. Mortalidad por COVID-19 y sus proyecciones anuales 2020.

En la Figura N° 04 se tiene el modelo cuadrático y su aproximación en un crecimiento lineal máximo de la mortalidad, para el día 95 se tiene en el modelo cuadrático 12135 fallecidos a nivel anual sería 24270 fallecidos (el modelo lineal estima 24450 fallecidos); la tasa de letalidad será 3.3%, superando a la letalidad en la niñez por Neumonía en el 2018 (Suarez, L.,2018); la tasa de mortalidad es de 0.07%, muy por debajo en lo ocurrido en China según Fernanda, P. (25 de febrero 2020), el porcentaje de mortalidad es de 12.2 %, dicho valor está debajo de los estudios MINSA (2013) para IRA en el 2011, debajo del porcentaje estimado para enfermedades respiratorias para el 2020. La muestra

COVID-19 fue de 605383 personas muestreadas lo que representa el 1.8% de la población peruana.

Conclusiones

Se concluye que la relación de las proyecciones anuales de actual pandemia COVID-19 en el Perú, proyectadas desde el período 6 de marzo al 15 de mayo del 2020 sobre una muestra poblacional de 1.8%, proyecta una tasa de mortalidad de 0.07% y un porcentaje de mortalidad de 12.2%, se encuentra comprendida por encima de la mortalidad por Influenza (gripe) y Neumonía, pero por debajo de la mortalidad por enfermedades respiratorias proyectadas al 2020 que alcanzaron un porcentaje de 14.2%. Respecto a la mortalidad, se concluye que tiene comportamiento oscilatorio y tiene una tasa mucho menor al 1% de la población, y se aproxima muy bien al método de los mínimos cuadrados, la maximización de la mortalidad se encuentra en julio del 2018 para el periodo 1960-2020.

Referencias

Cabrera, S. (2012). Aplicación de la Programación lineal a la Agronomía. Disponible en: http://matematicas.uclm.es/ita-cr/web_matematicas/trabajos/248/Programacion_lineal.pdf.

Dávila, E. y Meza, L. (2009). Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población Total, por Años Calendario y Edades Simples, 1950-2050, INEI. Boletín especial N° 17, hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2009-11868, Págs.1-150, Lima setiembre 2009.

Fernanda, P. (25 de febrero 2020). Tasa de mortalidad de COVID-19 con otras enfermedades infecciosas. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-51614537>.

INEI, Sánchez, A., Hidalgo, N., Benavides, H., Dávila, E., Meza, L., Bezada, R.(2017). Estimación y Análisis de la Mortalidad, según diversas fuentes, síntesis metodológica, pdf, Págs.1-27, Lima julio 2017. Disponible en <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/mortalidad.pdf>.

La República (6 de mayo 2020). Año 39,N° 14002,pág.12 y 13.

MINSA, Curioso, W., Pardo, K., Mendoza, L., Avila, C., Balta, A., Contreras, L., Guillermo, J., Ríos, A. (2013): Mortalidad General en el Perú 2007-2011. Estudio de la tendencia y nivel de la mortalidad general del país; por género y edad según departamentos, pdf, Págs.1-95, Lima setiembre 2013.

MINSA (2020). Documento Técnico Prevención y Atención de personas afectadas por COVID-19 en el Perú, Resolución MINSA N° 139-2020 de fecha 29 de marzo del 2020, Pág.1-38, Lima.

Nakamoto,I.,Ramírez,G.,Pachas,P.,Grijalva,C.,Gómez,J.,Cabanillas,O.,Richter,S.(2003). Síndrome Respiratorio Agudo Grave Información Básica para la Vigilancia Epidemiológica, PERU/MINSA/ OGE- Boletín Epidemiológico Especial Junio, pdf.Pág.1-24, Lima junio 2003.

Martínez, A. (2008). El ajuste de datos a fórmulas. Disponible en: <http://ajuste-de-datos.blogspot.com/2008/03/3-la-parbola-de-mnimos-cuadrados.html>

Suarez, L(2018). Boletín Epidemiológico del Perú, Vol.27-SE 52, Págs.1219-1301, del 23 al 29 diciembre. Disponible en <https://www.dge.gob.pe/portal/docs/vigilancia/boletines/2018/52.pdf>

Zeña, S. y Barceló, C. (2014). Clima e incidencia de infecciones respiratorias agudas en Ancash, Perú(2005-2013), Revista Cubana de higiene y epidemiología, 52(3), Pág.301-313.