CIENCIA Y SOCIEDAD

Recuperado de https://5palos.com/2020/03/26/smart-moves-en-tiempos-de-pandemia/

Modelo logístico aplicado al pronóstico diario de infectados por coronavirus en el Perú

Mg. Geraldo Schabauer Picasso, Profesor Investigador y Docente Emérito del ICTE, Gillermo Baca Calderon, Director de la Escuela de Post Grado del ICTE, Dr. Geraldo Schabauer Murguia, Investigador Colaborador

Resumen

El problema que se aborda en el presente estudio, consiste en pronosticar de manera confiable, la magnitud diaria de la cantidad de infectados por coronavirus en el Perú, con la precisión adecuada, para poder establecer medidas y decisiones más cercanas a la realidad observada, y así combatir de modo más efectivo a la enfermedad y su evolución en el país, a quienes deben hacerlo.

Por ello, tenemos el objetivo de determinar el modelo logístico simple, centrado en el punto de inflexión de la correspondiente curva logística, de la evolución de la cantidad de infectados, cuyo empleo permitirá pronosticar diariamente a dicha cantidad.

Empleando los datos oficiales que emite diariamente el Ministerio de Salud, mediante su Sala Situacional COVID-19, y haciendo uso de las propiedades de la curva logística, estimaremos la magnitud de la cantidad de infectados en el punto de inflexión, el cual tomaremos como el origen, para simplificar el modelo logístico y otorgarle mayor simplicidad en su manejo, para el pronóstico correspondiente.

La determinación del modelo logístico, permitirá establecer importantes pronósticos como lo son: Pronosticar diariamente el número de infectados por coronavirus, la capacidad potencial de infección del virus, el número máximo de personas que pueden infectarse teniendo en cuenta la respuesta sanitaria del sistema de Salud Peruano, las fechas de ocurrencia, etc.

El empleo de dicho modelo, permitirá la mejora de la calidad en las estrategias de lucha contra la enfermedad y los posibles impactos sociales y económicos, facilitando la conducción y el control, a quienes les corresponde hacerlo.

Plabras clave:

Modelo Logístico, Pronostico diario de la cantidad de infectados, Punto de Inflexión, Número máximo de infectados por coronavirus, Fechas de ocurrencia.

Abstract

The problem addressed in this study consists of reliably forecasting the daily magnitude of the number of people infected with coronavirus in Peru, with adequate precision, in order to establish measures and decisions closer to the reality observed, and thus fight more effectively the disease and its evolution in the country, to those who must do it.

For this reason, we have the objective of determining the simple logistic model, centered on the inflection point of the corresponding logistic curve, of the evolution of the number of infected people, whose use will allow us to forecast this number daily.

Using the official data issued daily by the Ministry of Health, through its COVID-19 Situation Room, and making use of the properties of the logistic curve, we will estimate the magnitude of the number of infected at the inflection point, which we will take as the origin, to simplify the logistic model and give it greater simplicity in its management, for the corresponding forecast.

The determination of the logistic model will allow establishing important prognoses such as: Forecasting the number of people infected by coronavirus daily, the potential capacity of virus infection, the maximum number of people who can be infected taking into account the health response of the Peruvian Health, the dates of occurrence, etc.

The use of said model will allow the improvement of the quality in the strategies of fight against the disease and the possible social and economic impacts, facilitating the conduction and the control, to those who corresponds to do it.

Key words:

Logistic Model, Daily forecast of the number of infected, Inflection Point, Maximum number of coronavirus infected, Dates of occurrence.

Itroducción

1. Antecedentes

El primer infectado por coronavirus en el Perú, fue detectado el día viernes 06 de marzo 2020 (paciente "cero"), y el día miércoles 11 de marzo 2020 la Organización Mundial de la Salud (OMS), declara el estado de Pandemia por dicha enfermedad; mientras que el Gobierno Peruano declara el Estado de Emergencia en el país, el día lunes 16 de marzo 2020; sin embargo, más de noventa días después, tenemos más de 200,000 infectados, de acuerdo con la Sala Situacional COVID 19 del Ministerio de Salud[1] del Perú, superando a muchos países tales como Francia, según el Centro de Ciencias de Sistemas e Ingenieria[2] (CSSE) de la Universidad John Hopkins. Esta situación ha causado asombro a nivel mundial, porque a pesar de que el Gobierno Peruano, tomó tempranamente medidas de contención contra el virus, la cantidad de infectados es bastante alta, comparada con otros países; por ejemplo, el Diario Clarin[3] de Argentina con fecha 05 de junio 2020, hace referencia a esta situación en su artículo: "Coronavirus en el Perú: Mas de 5000 muertos y la curva en ascenso", otro periódico que comenta al respecto es The New York Times[4], que en su edición en español del día 30 de abril 2020, publica el artículo: "En Perú el virus provoca que miles de personas regresen al campo", en donde, hace referencia, que el temor al coronavirus y la pérdida de empleos, han generado una migración de muchos peruanos desde la ciudad hacia el campo, otros han explicado las razones de la gran cantidad de infectados, como por ejemplo, el Portal de Noticias de Microsoft News[5], el que con fecha 25 de mayo 2020, publica el artículo: "5 factores que explican porque la estricta cuarentena no impidió que Perú sea el segundo país de América Latina con más casos de COVID-19"; otros han ido más lejos, criticando los pronósticos y las estimaciones erróneas que han producido los modelos matemáticos epidemiológicos, como, por ejemplo, el periódico de España El Diario[6], en donde, formula extensos comentarios muy variados; entre los cuales, señalamos los siguientes: Alfonso Gordaliza, Coordinador de la Acción Matemática contra el coronavirus, señala: "Habían distintos pronósticos sobre el pico de la curva", "También grupos internacionales han hecho estimaciones erróneas, incluida la Organización Mundial de la Salud (OMS); en gran medida por el desconocimiento de los parámetros esenciales para modelizar una enfermedad causada por un patógeno del todo nuevo en la ciencia", "Las modelos son de distintos tipos y, dadas las incertidumbres, han tenido que ser construidos sobre valores hipotéticos, que cada grupo de investigadores han optado por estimar", "Si para los modelos el reto es predecir con exactitud el pico de la epidemia, para la sociedad lo difícil es lidiar con la incertidumbre".

También el Físico Yamir Moreno de la Universidad de Zaragoza y de la Fundación Italiana ISI; opina: "Es necesario predecir con precisión, no basta saber el pico más o menos, sino cuándo será exactamente; de nada te vale tomar medidas muy drásticas, que van a salir muy caras económicamente, antes de tiempo. Quieres saber cuándo de verdad no queda más remedio, y eso los modelos no podían decirlo, por el desconocimiento de la enfermedad".

Un ejemplo de pronóstico fallido sobre el caso peruano, se puede encontrar en el artículo[7]: "¿Cuándo se termina el coronavirus?; en donde su autor pronostica fechas del final del coronavirus en el Perú, asociados a un nivel de probabilidad: con probabilidad del 97%, termina el 15 de mayo 2020, con probabilidad del 99%, termina el 25 de mayo 2020 y, con probabilidad del 100%, termina el 13 de julio 2020.

Actualmente, tenemos más de 200,000 infectados por coronavirus en el Perú, aumentando diariamente entre 4,000 a 5,000 infectados en promedio. En estas condiciones, es muy difícil que la enfermedad termine en el Perú en las fechas indicadas anteriormente, porque a la curva que está creciendo continuamente, le falta llegar a su nivel máximo (su pico), y desde allí, comienzan a descender hasta la extinción de la enfermedad, lo cual debe tardar varios meses lógicamente.

Los pronósticos fallidos de los modelos epidemiológicos sobre el caso peruano, han propiciado varios momentos de incertidumbre y confusión en el Gobierno Peruano, manifestados por el Señor Presidente de la República, en las entrevistas dadas al periodismo y en sus mensajes a la nación[8]. En efecto, señalamos algunos de ellos:

El día miércoles 01 de abril 2020: "En 9 días llegamos al pico de curva", el día lunes 06 de abril 2020: "Estamos en el tercio superior de la curva de infectados"; "las 2 semanas que siguen serán muy difíciles"; "con una semana es suficiente", el día lunes 13 de abril 2020: "La curva de infectados muestra un posible punto de inflexión, en el día domingo 12 de abril 2020, el día viernes 08 de mayo 2020: "La evolución de la enfermedad en el país, ha sido mucho más rápida de lo que esperábamos"; "Nadie sabe exactamente, cual es la evolución del virus en el mundo", el día lunes 25 de mayo 2020: "Pido disculpas por no explicar bien el concepto de meseta en mi mensaje anterior (domingo 24 de mayo 2020). Ahora estamos en una meseta irregular que no es plana, pero que lentamente va a producir que la curva descienda", el día lunes 01 de junio 2020, en una entrevista televisada, señalo: "No estamos en ninguna meseta y ni siquiera estamos en el punto de inflexión. Estamos creciendo aun y muy lejos del final, que tardará por lo menos 6 semanas; tampoco son de olvidar, los "2 martillazos a la curva de infectados por coronavirus", en los intentos por "aplanar" dicha curva, para evitar el rápido aumento de la cantidad de infectados, aplicando medidas y estrategias más radicales para esta finalidad. Sin embargo, la cantidad de infectados sigue creciendo rápidamente en el momento actual.

Como es de notar, los pronósticos fallidos de los modelos epidemiológicos, causaron mucha confusión en el Gobierno Peruano, y por ende, aquello conllevó a la incertidumbre de sus ciudadanos, en donde, muchos de ellos, dejaron de tomar en cuenta el aislamiento y distanciamiento social, y aun la cuarentena, propiciando rebrotes de las infecciones. Estos rebrotes de las infecciones, generan cambios de tendencia en el aumento de la cantidad de infectados, y aquello dificulta aún más, el pronóstico preciso de la cantidad de infectados por coronavirus, y también, afecta a otros parámetros relacionados.

Por otro lado, es necesario reconocer la gran importancia que tienen las medidas epidemiológicas, como puede verse en Montesinos y Hernandez[9] (2007); los que están fundamentados en base a sistemas de ecuaciones diferenciales y en simulación estocástica, tanto para fines de investigación, como se puede observar en De la Hoz y Lopez[10] (2016,) como para fines educativos, como se puede notar en Vidal, Boigues y Estruch[11] (2016).

También puede observarse en Navas[12] (2002), aplicaciones a la Biología y a la simulación de la evolución de una determinada epidemia. Además, las características y parámetros de los modelos matemáticos sobre epidemiologia, pueden notarse con plenitud, en la tesis para obtener el título de licenciado en ciencias matemáticas de Pliego[13] (2011), en donde, se plantean los sistemas de ecuaciones diferenciales de diferentes modelos matemáticos, como por ejemplo el SIR (Susceptibles-Infecciosos-Recuperados), y el SIRS (Susceptibles-Infecciosos-Recuperados-Susceptibles) entre otros modelos descritos, y también , se explican sus valores umbrales, tales como el Número Reproductivo Básico (Ro), el Número de Contactos (σ), y el Número de Reemplazos (R), además, puede observarse en Zill Dennis G.[14] (2009), las aplicaciones en el modelamiento en base a ecuaciones diferenciales.

2. Planteo de la solución del problema invetigado

En primer lugar, se abordó el problema haciendo uso del Modelo Logístico de Pierre Verhulst (1838):

$$I= \frac{B}{(1+A[\exp(-kt)])}$$

Que tiene muchas aplicaciones a diversos temas de estudio, entre ellos al del crecimiento de una población; sus diferentes características y casos de aplicación pueden observarse en abundante literatura científica, como por ejemplo, en Stewart J.[15] (2001). En este modelo aplicado a nuestro estudio, los parámetros del Modelo Logístico tienen las interpretaciones siguientes: La asíntota horizontal superior (B), representa a la capacidad potencial infecciosa del virus, que se mide con la cantidad acumulada de personas infectadas. (Es el "Techo" que limita el crecimiento de la curva logística), la altura de punto de inflexión (B/2), que tiene la misma unidad de medida que la asíntota (B), y que divide a la curva logística en dos etapas de crecimiento: exponencial y logarítmica. La etapa exponencial, se subdivide en dos fases de crecimiento lento y rápido, mientras que la etapa logarítmica, se subdivide en dos fases de crecimiento rápido y lento, la razón de crecimiento intrínseco (k), que es la tasa del aumento de la cantidad_de infectados, propia de las infecciones de ese virus, medida desde el dato origen, hasta el dato final empleado y el factor de ubicación del punto de inflexión (A), que es la razón del distanciamiento desde el dato origen hasta el valor del punto de inflexión.

En segundo lugar, se consideró adaptar el caso anterior al modelo con captura de la especie, que puede verse en Verdes, M.[16] (2015); en donde, a la ecuación diferencial del modelo logístico de Verhulst se le resta un factor que llamaremos "c", que representa la tasa promedio de la recuperación sanitaria del Sistema de Salud del Gobierno Peruano, lo que se mide en la forma siguiente:

$$c= \frac{\text{(Número total de personas infectadas dadas de alta médica)}}{\text{(Número de días transcurridos en la emergencia sanitaria)}}$$

En tercer lugar, se simplificó el modelo logístico, al ser centrado su origen en el punto de inflexión, lo que hace que A=1, y entonces, toma la forma:

$$I= \frac{B}{1 + \exp(-kt)}$$

Este modelo será el que vamos a emplear, para el ajuste diario de los datos oficiales y así proporcionar el pronóstico de la cantidad acumulada diaria de los infectados. Además, nos proporcionará una estimación de la cantidad máxima acumulada de infectados (el pico de la curva), y también la posible fecha de ocurrencia.

Para el ajuste de los datos oficiales (Sala Situacional COVID-19/MINSA), al modelo logístico con captura de la especie, se empleara el método de las sumas de King y Hardy, el que puede verse por ejemplo en el Programa Académico de Master en Ciencias Actuariales y Financieras del Post Grado de la Universidad de Valencia, España, en el Modulo: Métodos Cuantitativos[17].

Para la ubicación del punto de inflexión, se emplearan propiedades de la curva logística.

3. Popósito de la Investigación

Establecer un modelo logístico, cuyo origen sea el punto de inflexión de la curva logística, para darle sencillez, y además, que sea confiable y preciso en los pronósticos diarios, de la cantidad acumulada de los infectados por coronavirus en el Perú; que también permita estimar adecuadamente, el numero acumulado máximo de infectados, y con ello, estimar su fecha de ocurrencia; con la idea de contribuir con la mejora de las estrategias y de la toma de decisiones del Gobierno Peruano, y que sea de interés para el público en general.

4. Materiales

Emplearemos la fuente de datos oficiales que provienen del Ministerio de Salud del Perú, quien publica diariamente dichos datos, en su Sala Situacional COVID-19; dichos datos oficiales, los emplearemos a partir de la fecha del día miércoles 08/04/2020, puesto que, a partir de ella, se tomaron diariamente una cantidad importante de muestras médicas, cuyo acumulado tiene un nivel estadístico de confianza del 99%, y con errores muestrales, que son por lo general, menores o iguales al 1%; es decir, que con ello existe una gran precisión y confiabilidad en la cantidad acumulada de los infectados por coronavirus.

En cuanto al modelo logístico, se trata del modelo con captura de la especie, en razón de que tomamos en cuenta la respuesta sanitaria (c) del Sistema de Salud Peruano, que está medido como el promedio del número de infectados que son dados de alta médica diaria; también, emplearemos el Modelo Logístico simplificado, cuyo origen es la ubicación y la fecha del punto de inflexión de la curva logística. A partir de este modelo, se estimará la cantidad acumulada máxima de infectados y su posible fecha de ocurrencia.

5. Métodos

Se empleará el Método de Ajuste de King y Hardy, para obtener los modelos logísticos con captura de la especie, que se requieran.

Resolveremos la ecuación diferencial del modelo logístico con captura de la especie, que está presente en el libro de Stewart, J. (2001, pág. 549):

$$\frac{dI}{dt} = kI[1-\frac{I}{B}]-c$$

y a la expresión matemática de su solución le tomamos límites cuando el parámetro “t” tiende a más infinito; y así obtenemos:

$$I_\infty = \frac{B}{2} + \sqrt{(B^2/4-Bc/k)}$$

la cual es el valor asintótico de dicho modelo, que por ser de magnitud inferior a la asíntota (B) del Modelo Logístico Clásico, la emplearemos como estimador del número máximo acumulado de infectados, que el modelo clásico podría alcanzar (Imax); es decir, será su estimador:

$$\text{Imax.} = (B)/2+\sqrt{(B^2/4-Bc/k)}$$

$$\text{donde : Cmáx} = \frac{Bk}{4}$$

La magnitud de la cantidad acumulada de infectados en el punto de inflexión (B/2), la estimaremos por propiedades de la curva logística. En efecto, se sabe que en el punto de inflexión, el valor de la derivada primera de la ecuación logística es un máximo; es decir, es una magnitud mayor, que la derivada en cualquier otro punto de la curva logística.

Como aproximación de la derivada emplearemos incrementos; es decir que: $dI/(dt) \approx \Delta I/\Delta t$

, pero como el incremento de tiempo diario Δt tiene por magnitud constante $\Delta t = 1$ día; entonces en la expresión anterior, se tiene que:

$$dI/(dt) \approx \Delta I/\Delta t= \Delta I/1= \Delta I$$

Esto implica para obtener la localización del punto de inflexión, bastará hallar el máximo valor de ΔI (Número diario de infectados por coronavirus), de manera tal que sea sostenible en el tiempo; es decir, que para el seguimiento en los valores de ese máximo, todos sean menores en magnitud que dicho máximo.

Por otro lado, ajustaremos algunos modelos logísticos con el método de King y Hardy, que sean convergentes con el valor del punto de inflexión, cuyo procedimiento de cálculo se acaba de señalar.

6. Resultados

De los datos oficiales registrados en la Sala Situacional COVID-19, hacemos un seguimiento diario, determinando la cantidad diaria de infectados (ΔI), restando los dos valores sucesivos de las magnitudes de la cantidad diaria de infectados:

$$\Delta I = I(\text{Actual})-I(\text{anterior})$$

Este seguimiento diario, nos conduce al día domingo 31 de Mayo 2020, en donde ΔImáx.=8805 infectados. Esta magnitud es sostenible en el tiempo como valor máximo, porque haciendo el seguimiento en los 14 días siguientes, todos los valores de ΔI son menores que él: 8805 es mayor que: 5563, 4845, 4030, 4284, 4202, 4358, 4757, 3181, 4040, 5087, 5965, 5961, 4383, 4604.

Por lo tanto, establecemos que la magnitud del punto de inflexión es: B/2=164476 infectados, y ocurre el día domingo 31 de Mayo de 2020.

Entonces, el valor asintótico será: B=328952 infectados.

Con esto podemos recurrir al modelo logístico simplificado, con origen en el punto de inflexión:

$$I= \frac{328952}{(1+\exp(-kt))}$$, con t=0 el día 31 de Mayo de 2020.

Para el día lunes 01 de Junio de 2020 (t=1), sabemos que: I=170039 infectados; entonces:

$$170039= \frac{328952}{1+\exp(-k)}$$; de donde: k=0.067671

Luego: $I= \frac{328952}{1+\exp(-0.067671)t}$; lo que nos permite hacer el pronóstico de la cantidad de infectados para el día martes 02 de Junio de 2020.

Si t=2, entonces: Î=175589 infectados.

Pero realmente la cifra oficial del día martes 02 de Junio de 2020, fue de: 174884 infectados.

Entonces, el error porcentual del pronóstico es:

$$e\%=((175589-174884)/174884)*100\%=+0.403124\%$$

luego corregimos el modelo reajustándolo al dato real: si t=2; I=174884; entonces: $174884 = \frac{328952}{1+\exp(-2k)}$ de donde: k=0.063364; luego el modelo corregido será: $I= \frac{328952}{1+\exp(-0.063364)t}$

con el cual podemos efectuar el pronóstico para el día miércoles 03 de Junio de 2020, con t=3; y así sucesivamente.

En la tabla siguiente, se indican los pronósticos sucesivos:

FECHA	t	I (Infectados reales)	Î (Infectados estimados)	e%	k
Dom 31/06/2020	0	164476	----	----	----
Lun 01/06/2020	1	170039	----	----	0.067611
Mart 02/06/2020	2	174884	175589	+0.403124%	0.063364
Mié 03/06/2020	3	178914	180062	+0.641649%	0.058672
Jue 04/06/2020	4	183198	183688	+0.267470%	0.057162
Vie 05/06/2020	5	187400	187822	+0.225187%	0.056116
Sab 06/06/2020	6	191758	191907	+0.077702%	0.055806
Dom 07/06/2020	7	196515	196199	-0.160802%	0.056376
Lun 08/06/2020	8	199696	200950	+0.627954%	0.054375
Mart 09/06/2020	9	203736	203937	+0.098657%	0.054087
Mié 10/06/2020	10	208823	207903	-0.442514%	0.055292
Jue 11/06/2020	11	214788	213007	-0.829190%	0.057456
Vie 12/06/2020	12	220749	219112	-0.741566%	0.059418
Sab 13/06/2020	13	225132	225019	-0.050193%	0.059541
Dom 14/06/2020	14	229736	229316	-0.182819%	0.059974
Lun 15/06/2020	15	-----	233842	----	----

Fuente: Elaboración propia

Enseguida, calculamos el número acumulado máximo de infectados (el pico de la curva), a través de su estimador, que fue indicado en la sección 5, literal b. Para ello, calcularemos la tasa promedio intrínseca de crecimiento $k = 0.815250/14 \approx 0.058232$. De este modo, obtenemos el modelo logístico:

$$I = \frac{328952}{1+\exp(-0.058232)t}$$, con t=0 el día domingo 31 de Mayo de 2020.

Además, obtenemos el valor de la tasa de recuperación (c), del día domingo 14 de Junio de 2020, según los datos de "dados de alta médica" en ese día y de acuerdo con los datos oficiales de la Sala Situacional COVID-19: 115579 "dados de alta médica", en el día N° 91 del Estado de Emergencia Sanitaria; entonces:

$c = 115579/91 \approx 1270$ (dados de alta)/día ; luego:

$$Imáx = 328952/2 + \sqrt{((328952/2)^2 - [((328952)(1270))/0.058232])}$$

$Imáx \approx 164476+140990=305466$ Infectados

Para determinar la fecha de ocurrencia del caso anterior, hacemos que: $305466 = \frac{328952}{1+\exp(-0.058232)t}$

de donde: $t \approx 44$

Como t=0 el día domingo 31 de Mayo 2020; entonces, para t=44, se obtiene: día martes 14 de Julio de 2020.

En consecuencia, el número acumulado máximo de infectados (el pico de la curva), se estima que sea de 305446 infectados aproximadamente, y su fecha probable de ocurrencia sea el día martes 14 de Julio de 2020, aproximadamente.

7. Discusión de los Resultados

En primer lugar, presentaremos evidencias matemáticas, para justificar que el punto de inflexión está localizado en la fecha: domingo 31 de Mayo de 2020. Para ello, presentamos tres ajustes de modelos logísticos mediante el método de King y Hardy, empleando los datos oficiales de la Sala Situacional COVID-19: Empleando esos datos oficiales, a partir del día jueves 23 de Abril de 2020 (t=0), hasta el día viernes 12 de Junio de 2020; formamos tres grupos de 17 datos cada uno, obteniendo: $I=313834.6563/(1+12.054449\exp(-0.06678t))$

la localización del punto de inflexión: $t=\ln 12.054449/0.06678=37.28 \approx 37$; como t=0 en el día jueves 23 de Abril de 2020, entonces para t=37 Fecha: 31 de Mayo de 2020.

Empleando datos oficiales, a partir del día sábado 25 de Abril de 2020 (t=0), hasta el día jueves 11 de Junio de 2020 (t=47); formamos tres grupos de 16 datos cada uno, obteniendo:

$I=322006.7345/(1+10.770993\exp(-0.065815t))$;la localización del punto de inflexión:

$t=\ln 10.770993/0.065815=36.10 \approx 36$ como t=0 en el día sábado 25 de Abril de 2020, entonces para t=36 Fecha: 31 de Mayo de 2020.

Empleando datos oficiales, a partir del domingo 26 de Abril de 2020 (t=0), hasta el día martes 09 de Junio de 2020 (t=44); formamos tres grupos de 15 dato cada uno, obteniendo:

$I=323112.1108/(1+10.013086\exp(-0.06527t))$; la localización del punto de inflexión: ; como t=0 en el día domingo 26 de Abril de 2020, entonces t=35 Fecha: 31 de Mayo de 2020.

En segundo lugar, con relación a los valores oficiales de la cantidad acumulada de infectados (I) y sus pronósticos correspondientes (); que figuran en la tabla construida en la Sección N° 6, literal f; queremos destacar la similitud entre estos valores, entre los cuales hay errores que allí se indican, que en valor absoluto son menores del 1%; lo que implica confiabilidad y precisión de los pronósticos efectuados. Sin embargo, abundaremos sobre este tema, hallando el coeficiente de Correlación lineal de Pearson (r), efectuando una regresión lineal entre los logaritmos neperianos de (I) y de (); haciendo que: x= , y=.

Después de ejecutar los cálculos correspondientes; hallaremos: r%=99.907665%, lo que implica, que ambos están relacionados de manera prácticamente total.

En tercer lugar, debemos referirnos a las limitaciones, que tienen los modelos logísticos que hemos presentado en esta investigación, en el sentido de que su validez, está supeditada a que no hayan posteriormente a la fecha de este trabajo, rebrotes importantes de la cantidad de infectados, lo que podría alterar la ubicación y la magnitud del punto de inflexión, y con ello, alterar los modelos logísticos aquí presentados. Por esta razón, continuaremos este trabajo de investigación, haciendo el seguimiento diario, de la cantidad acumulada de infectados por coronavirus en el Perú.

En cuarto lugar, podemos señalar, que si no ocurren los rebrotes de la infección anteriormente señalados, y así mantener la precisión, la confiabilidad y la validez, de los hallazgos científicos que aquí hemos presentado; entonces, los resultados, los podrían aprovechar aquellos que emplean los modelos epidemiológicos, para estimar con mayor certeza, los parámetros que usan para mejorar sus pronósticos. De esta manera, todos contribuimos a la lucha contra el virus.

En quinto lugar, señalar que nuestras investigaciones no han terminado por el seguimiento diario de los modelos logísticos conseguidos, al ser confrontados con los datos oficiales. Además, a partir del punto máximo de infectados, este seguimiento diario debe conllevar a lograr, un modelo logístico de extinción de la enfermedad en el Perú.

8. Conclusiones

Luego de lo expuesto en los párrafos anteriores nos permitimos concluir indicando:

El punto de inflexión, de la curva de infectados por coronavirus en el Perú, está localizado con fecha: 31 de Mayo de 2020, aproximadamente.

La magnitud de la cantidad de infectados en el punto de inflexión, es de $\frac{B}{2} = 164476$ infectados, aproximadamente.

La magnitud del valor de la asíntota, es de: B=328952 infectados, aproximadamente.

El modelo logístico con origen con origen en la ubicación del punto de inflexión, es: $I = \frac{328952}{1+\exp(-0.058232t)}$

con t=0 el día domingo 31 de Mayo de 2020.

El número máximo de infectados, es: 305466 infectados, aproximadamente.

Estos resultados tienen validez, siempre y cuando, no ocurran rebrotes de la infección en cantidades importantes, para que no alteren sus magnitudes.

Bibliografía

1. Sala situacional COVID-19 del Ministerio de Salud del Perú: https://covid19.minsa.gob.pe/sala-situacional.asp
2. Universidad John Hopkins, Centro de Ciencias de Sistemas e Ingeniería (CSSE):https://coronavirus.jhu.edu/map.html
3. Diario Clarín de Argentina: Edición N° 8,828 con fecha 05/junio/2020.
4. Diario The New York Times: Edición en español del 2020/04/30 https://www.nytimes.com/es/2020/04/30/espanol/america-latina
5. Portal de noticia de Microsoft News(MSN), con fecha 25/mayo/2020 https://www.msn.com/es-pe/noticias/peru
6. El Diario, edición con fecha 03/04/2020 https://www.eldiario.es/sociedad/ejercito-matematicos-evolucion-españa.confinamiento
7. Jianxi Luo: ¡When will COVID-19 end?. Predictive Monitoring of COVID-19/Data Driven Innovation Laboratory (http://ddi.sutd.edu.sg) , fechado el 11/mayo/2020, en Singapore University Of Technology and Design (http://www.sutd.edu.sg)

8. Mensajes televisados a la Nación.

9. Osval Antonio Montesinos-López y Carlos Hernández Suárez: Modelos Matemáticos para enfermedades infecciosas, (Scielo). Salud Publica de México/Vol.49, N° 3, Mayo-Junio del 2007.

10. Efraín de la Hoz Granadillo y Ludys López Polo: Análisis de Modelos Matemáticos de Predicción del Comportamiento de Epidemias en Grupos Sociales mediante simulación basada en Agentes. SABER, CIENCIA y LIBERTAD/Volumen11, N° 2, Julio-Diciembre del 2006.

11. Anna Vidal, Francisco José Borges y Vicente D. Estruch: Modelos matemáticos en un problema de epidemias/Universitat Politécnica de Valencia (Campus de Gandia)/Instituto Universitario de Matemática Pura y Aplicada/Revista: Modelling in Science Education and Learning. Volumen 9 (2), 2016.

12. Juan Navas Ureña: Laboratorio De modelos matemáticos en biología/Universidad de Jaén/Departamento de Matemáticas/Jaén/España/julio de 2002.

13. Emilene carmelita, Pliego Pliego 2011: Modelos Epistemológicos de Enfermedades, Virales Infecciosas/Benemérita Universidad autónoma de Puebla/Facultad de Ciencias Físico -Matemáticas/Puebla Puebla México/Junio de 2011.

14. Zill Dennis G. (2009): Ecuaciones Diferenciales con aplicaciones de modelado. México: Cengage Learning.

15. Stewart J. (2001). Calculus: Concept and Contexts, single variable (2nd.ed.).Brooks/Cole. Thonson Learning. Pacific Grove, California. USA.

16. Verdes M. (2015): Síntesis de dinámica de poblaciones, con aplicación na sistemas de pesca/capturas (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid, España.

17. Universidad de Valencia, Master en Ciencias Actuariales y Financieras, Modulo de Métodos Cuantitativos, Curso: 2011-2012.

https://www.uv.es/mlejarza/actuariales/modulos%20de%20supervivencia/THMS.pdf.