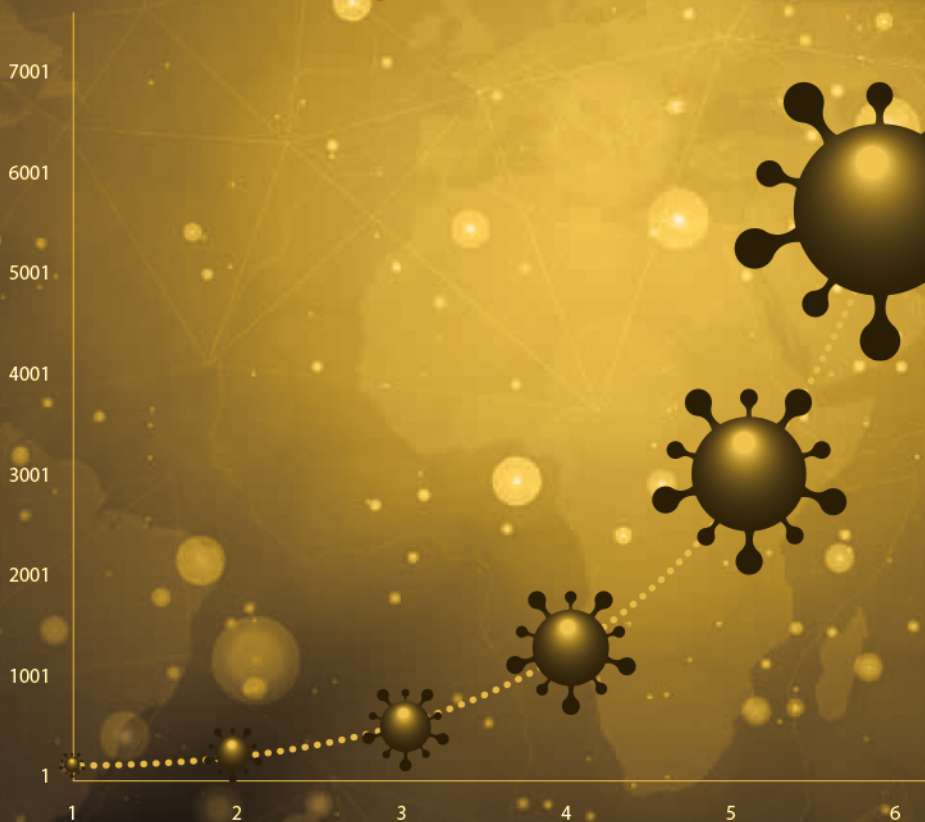


INVESTIGACIÓN Y METRÍA DE LA INFORMACIÓN SOBRE COVID-19: diversos enfoques de la pandemia

Salvador Gorbea Portal
Maricela Piña Pozas

(COORDINADORES)

$$y = ae^{bx}$$



$$\lambda = \frac{\beta(\chi I_{Ga} + I_{Ap} + I_{As} + I_{Hp} + I_{Hs})}{N}$$



Z669.8
I59

Investigación y metría de la información sobre COVID-19 :
diversos enfoques de la pandemia / Coordinadores Salva-
dor Gorbea-Portal, Maricela Piña-Pozas. – México : UNAM.
Instituto de Investigaciones Bibliotecológicas y de la In-
formación : Instituto Nacional de Salud Pública, 2021.

xxii, 427 p. – (Metría de la información y del
conocimiento científico)

ISBN:

1. Bibliometría. 2. COVID- 19 - Investigación. 3. COVID- 19
- Aspectos sociales. 4. Pandemia de COVID-19, 2020-. I.
Gorbea Portal, Salvador, coordinador. II. Piña Pozas, Ma-
ría Maricela, coordinadora. III. Ser.

Diseño de portada: Mario Ocampo Chávez

Primera edición: agosto de 2021

D.R. © UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Ciudad Universitaria, 04510, Ciudad de México

Impreso y hecho en México

ISBN:

Publicación dictaminada

Impreso y hecho en México

SALUD
SECRETARÍA DE SALUD



Instituto Nacional
de Salud Pública

SECRETARÍA DE SALUD
INSTITUTO NACIONAL DE SALUD PÚBLICA

Contenido

Prólogo.....	xi
JUAN ÁNGEL RIVERA DOMMARCO	
Prefacio	xvii
GEORGINA ARACELI TORRES VARGAS	
Introducción	xix
SALVADOR GORBEA-PORTAL	
MARICELA PIÑA-POZAS	

PRIMERA PARTE. INVESTIGACIONES CLÍNICAS Y DE SALUD PÚBLICA SOBRE LA COVID-19

Desarrollo y validación de un ensayo RT-PCR en tiempo real para el diagnóstico del SARS-CoV-2 en Puerto Rico y Estados Unidos	3
ERNESTO C. GONZÁLEZ	
IVELISSE MARTIN	
Modelación matemática en medidas de mitigación para la epidemia de COVID-19	25
ROBERTO A. SAENZ	
Variación en la respuesta al SARS-CoV-2: un enfoque genético y cardiovascular	45
ROCÍO GÓMEZ	
¿Medidas generalizadas o focalizadas? Del confinamiento social al uso de cubrebocas e inmunidad de rebaño en México y en el mundo.....	75
DIANA PALAMI ANTUNEZ	
PERLA RÍOS VILLALBA	

Alteraciones de la Respuesta Inmune en COVID-19 111

EMMA S. CALDERÓN-ARANDA

NORMA A. CALDERÓN-PADILLA

VANESSA C. SÁNCHEZ-ESCALANTE

Nutrición y modulación del sistema
inmune frente a COVID-19..... 137

ESTHER ALHELÍ HERNÁNDEZ TOBIÁS

SEGUNDA PARTE.
ESTUDIOS MÉTRICOS DE LA INFORMACIÓN
Y REVISIONES SISTEMÁTICAS

Crecimiento de la producción científica
y de su impacto sobre la COVID-19 161

SALVADOR GORBEA-PORTAL

MARICELA PIÑA-POZAS

Multidisciplinariedad de la producción científica sobre
COVID-19: estudio bibliométrico comparativo
de enfermedades pandémicas 199

RICARDO ARENCIBIA-JORGE

MARÍA DE LOURDES GARCÍA-GARCÍA

ERNESTO GALBÁN-RODRÍGUEZ

HUMBERTO CARRILLO-CALVET

Prioridades científicas de las naciones ante el COVID-19..... 225

DARLENIS HERRERA VALLEJERA

YANIRIS RODRÍGUEZ SÁNCHEZ

Preparación y respuesta del sistema de investigación de
México ante la pandemia por la enfermedad COVID-19.
Un análisis desde los estudios métricos..... 259

YOSCELINA IRAIDA HERNÁNDEZ GARCÍA

MÓNICA ANZALDO MONTOYA

Incremento de la conducta suicida durante la pandemia COVID-19: revisión rápida.....	281
ROSARIO VALDEZ SANTIAGO	
MARICELA PIÑA-POZAS	
ERÉNDIRA MARÍN MENDOZA	
VANIA MARTÍNEZ GUZMÁN	
MARÍA ANTONIETA CHAGOYÁN SÁNCHEZ	
Uso, efectividad y evidencia de las Medicinas Complementarias para el COVID-19	311
VICTORIA SANDOVAL-ESLAVA	

TERCERA PARTE.
ASPECTOS SOCIALES RELACIONADOS
CON LOS EFECTOS DE LA PANDEMIA

Comunicación de riesgos en el regreso a la nueva normalidad durante la pandemia de COVID-19 en México.....	343
GUADALUPE RODRÍGUEZ-OLIVEROS	
BRENDA NATHALY GUZMAN VALENCIA	
EDWARD A. FRONGILLO	
Resiliencia en la nueva normalidad: aprender a convivir con la COVID-19	373
LORENA ELIZABETH CASTILLO CASTILLO	
LAURA MAGAÑA VALLADARES	
Educación superior en el medio rural y COVID-19	395
NOELIA RODRÍGUEZ PIÑA	
Retos de la enseñanza superior a distancia durante la pandemia por COVID-19. Ventajas, desventajas, experiencias	413
MARÍA DE LA LUZ ARENAS SORDO	

Crecimiento de la producción científica y de su impacto sobre la COVID-19

SALVADOR GORBEA-PORTAL

*Instituto de Investigaciones Bibliotecológicas y de la Información,
Universidad Nacional Autónoma de México.*

MARICELA PIÑA-POZAS

*Centro de Información para Decisiones en Salud Pública,
Instituto Nacional de Salud Pública, México*

INTRODUCCIÓN

Por cuarta ocasión la existencia de la humanidad se ha visto en peligro a causa de un virus y de la enfermedad que éste provoca en los seres humanos. En cada suceso de este tipo se han observado formas de crecimiento y de decrecimiento en la mayoría de los indicadores económicos, sociales, científicos, culturales y de calidad de vida que miden el desarrollo humano.

Aunque resulta frecuente denominar como exponencial el tipo de crecimiento que se asocia a fenómenos sociales como la población mundial, la información científica, el desarrollo de la ciencia y otros del campo de la biología y la salud pública como el crecimiento de bacterias, virus, transmisión de enfermedades, entre otros, lo cierto es que no siempre se dan las condiciones para que esto ocurra y que más bien tales comportamientos, lejos de ser considerados como generalidades o regularidades constantes, pudieran manifestarse y estar sujetos a determinadas coyunturas, naturalezas y contextos de tipo económico, social, científico, bélico o de salud pública.

En el caso particular de las pandemias y las guerras mundiales con sus exterminios masivos por ser fenómenos globales que han

involucrado de una u otra forma a todo el orbe, han ocasionado decrecimientos poblacionales, económicos y crecimientos acelerados en las tasas de mortalidad, en la prevalencia de enfermedades y contagios por determinados virus y bacterias, que han puesto en riesgo la salud de los seres humanos.

La pandemia que en la actualidad azota al mundo por la transmisión del virus SARS CoV-2 y la enfermedad que provoca, la COVID-19, así como los esfuerzos de las naciones, sus sectores científicos y de salud pública en el afán de dar fin a esta situación son, sin lugar a duda, las principales causas que condicionan un crecimiento acelerado en las investigaciones, las colaboraciones científicas y la generación de conocimiento y de información.

Es por lo anterior, que con la misma velocidad con la que el virus SARS CoV-2 se esparció por todo el mundo proliferaron las investigaciones, la comunicación de sus resultados y por consiguiente la creación de fuentes de información que, con gran prontitud, almacenaban y difundían los primeros hallazgos en aras de ofrecer certeza sobre el conocimiento y comprensión de este nuevo enemigo silencioso de la humanidad.

Un trabajo reciente analiza el crecimiento diario de esta literatura desde inicio de la pandemia hasta el mes de abril del 2020 en las principales bases de datos, además de ocho repositorios, que procesan información sobre COVID-19, denotando que la mayoría de esta información desde los inicios de la pandemia estaba disponible en acceso abierto, tres de cada cuatro documentos aparecen publicados en revistas, su crecimiento en tan poco tiempo es de tipo exponencial con un incremento diario de 500 publicaciones y el ajuste de los datos a esta forma de crecimiento quedaba demostrado con la obtención de un $R^2 = 0.92$ (Torres-Salinas, 2020).

Esta espontánea dinámica, que desde sus inicios caracterizó a la producción científica sobre la COVID-19, no permitió el cumplimiento de los procedimientos establecidos en el proceso de la comunicación científica, acarreando afectaciones en el rigor de las publicaciones científicas sobre este tema y de su arbitraje, lo que condujo a la generación y diseminación de un gran volumen de documentos con falta de normalización y la ausencia de datos imprescindibles como: la fecha

de publicación, la razón social o precedencia geográfica de los autores y en ocasiones la falta de evidencias y fuentes que avalaran sus planteamientos y resultados.

Ante esta problemática resulta prudente que se tomen en cuenta estas anomalías, con el propósito de no obtener resultados engañosos o no reales, alterados por el crecimiento desmedidos de los datos que se generan bajo el estado caótico que provoca el fenómeno de una pandemia. Es por esto que para esta investigación, se optara por acudir a lo estrictamente publicado en artículos científicos difundidos en las fuentes de mayor rigor académico y editorial, con el propósito de contar con todos los datos requeridos y dar mayor certeza a los resultados obtenidos asociados a esta regularidad cuantitativa, conocida como el crecimiento de la información científica.

De acuerdo con la revisión realizada hasta este momento por los autores de este capítulo, el crecimiento de la información científica ha sido una regularidad bastante tratada en los Estudios Métricos de la Información, aunque quizá en menor medida al volumen de estudios que atrapan la atención sobre otras regularidades como: la concentración-dispersión, la productividad de autores, la obsolescencia, el uso, entre otras.

El interés por este tipo de estudio, según Urbizagástegui-Alvarado y Restrepo-Arango, data de finales del siglo XIX y no siempre su tratamiento ha tenido el mismo nivel de análisis. Según estos autores, quienes realizan una detallada revisión de la literatura sobre el tema, señalan que inicialmente este tipo de estudio se realizaban mediante el uso de métodos tomados de la estadística descriptiva, con una sola variable (univariante), son de poca utilidad, no proporcionaban indicadores del crecimiento que permitieran su proyección futura y conviven hasta nuestros días en la literatura bibliométrica, lo cual ejemplifican con la revisión de estudios que van desde 1899 hasta 1991. Un segundo nivel de análisis lo identifican cuando la práctica estadística comenzó a interesarse por la forma de crecimiento desde 1880, aspecto con el cual reseñan la presencia de un conjunto de trabajos publicados entre 1931 y 1957 en cuyas exploraciones todavía no se tomaba atención a la tasa de crecimiento anual ni al tiempo en el cual alcanza su duplicación la literatura, indicadores que enriquecen

el análisis y permiten identificar de forma más clara el ritmo de crecimiento entre diferentes disciplinas. Esta situación le permiten identificar a estos autores un tercer cambio significativo a otro nivel de análisis en los trabajos de Price (1951, 1956, 1963, 1975) y a partir de los cuales se realizaron un número considerable de estudios (entre 1951 y 2011) sobre el crecimiento de la información en diferentes disciplinas y áreas de conocimiento en los que ya se pueden identificar, además de la forma o ajuste del crecimiento, la tasa anual y el tiempo en el cual se puede duplicar la información. Estos autores reconocen que en la mayoría de estos estudios aplicados, a muy diversas áreas de investigación y disciplinas, la forma de crecimiento predominante es la de tipo exponencial, aunque aparecen algunos trabajos como los de Tamiya (1931), Wilson & Fred (1935) que identificaron formas de crecimientos logísticos y otros como los de Gupta & Karisddappa (2000); Sharma, Gupta & Kumar (2002) y Fu, et. al. (2010) que, además de explorar formas exponenciales y logísticas, ajustaron también los datos al modelo de Gompertz y al de potencia. Señalan además que Price (1975), en el caso de la Física, indica que se puede demostrar tres fases en el crecimiento exponencial: una primera referida a los trabajos de los precursores, la segunda caracterizada por un constante crecimiento exponencial y la tercera cuando se observa un declive de la curva que se convierte en un crecimiento lineal (Urbizagástegui-Alvarado y Restrepo-Arango, 2017, 10-14).

En otro estudio de Fernández-Cano, Torralbo y Vallejo (2004) presentan una visión general del modelo de crecimiento científico propuesto por Price en la que examinan la formulación del modelo utilizando las fuentes seminales, discuten los precursores, las ramificaciones y las críticas al modelo para al final exponer la complejidad y diversidad de los modelos de crecimiento científico y la ausencia de patrones coherentes.

Otro aspecto por considerar en las investigaciones realizadas sobre el crecimiento exponencial de la información es el referido a los modelos matemáticos propuestos para calcular su comportamiento, por solo citar algunos en el tiempo, MacRae (1969, 632) utiliza el modelo de crecimiento exponencial: $a(t) = Ae^{kt}$ para replantear lo postulado por Price (1965, 513) sobre el decrecimiento exponencial

de las citas y el crecimiento de los artículos que las reciben. Brooke (1970, 288) reconocido por sus aportaciones matemáticas sobre modelos de envejecimiento, pérdida de utilidad de las revistas científicas y la estrecha relación de estos modelos con el del crecimiento de la información, asume que al considerar la obsolescencia conlleva mirar al pasado y medir el tiempo en términos de edad, mientras que al medir el crecimiento resulta natural mirar hacia adelante por lo que el tiempo T , expresado en años hacia el futuro implicará que la medición inicie a partir del año $T = 0$, por lo que al asumir que la literatura está creciendo exponencialmente a una tasa de crecimiento g , propone que su modelo de crecimiento sea: $R(T) = R(0)e^{gT}$, donde: $R(T)$ es el número de referencias hechas a la literatura durante el año T .

Autores como Krauze y Hillinger (1971, 334) presentan un modelo matemático dinámico de interacción que explica las tasas de crecimiento exponencial observadas de las citas y las referencias en una disciplina, para lo cual asumen que la literatura está creciendo exponencialmente de acuerdo con el modelo; $L(t) = Be^{\lambda t}$, donde $B > 0$ y $\lambda > 0$, lo cual implica que el período de duplicación de la literatura está dado por la fórmula: $d = \frac{\ln 2}{\lambda}$.

Las autoras Zakutina y Priyenikova (1983, 38-40), basadas en el teorema de la función exponencial (Leithold, 1989, 457) señalan que el aumento exponencial de las publicaciones se plantea a partir de una ecuación diferencial: $\frac{dy}{dt} = ky$ donde: $k > 0$, y = Número de publicaciones, k = constante de las publicaciones de distintas esferas del conocimiento. De la ecuación diferencial anterior se deduce que el crecimiento relativo de y con respecto a sí mismo y al tiempo t , $\frac{dy}{ydt}$, es una magnitud permanente de k , la solución de esta ecuación les llega a plantear el modelo exponencial siguiente: ae^{kt} donde a es una constante, $k > 0$ y t = tiempo.

Más tarde Egghe y Ravichandra-Rao (1992, 5 y 12) clasifican y caracterizan los modelos de crecimiento utilizando dos tipos de tasas que aplican a 20 conjuntos de datos previamente recopilados, en este trabajo señalan que si $C(t)$ denota el número de artículos o cualquier otro tipo de documento en el tiempo $t \geq 0$, entonces el crecimiento exponencial puede ser matemáticamente definido como: $C(t) = C(0)e^{at}$,

modelo que en páginas más adelante reescriben como: $C(t) = c^{gt}$, donde $c > 0$, $g > 1$ y $t \geq 0$. Este modelo ha sido utilizado por Restrepo-Arango y Urbizagástegui-Alvarado (2016) y Urbizagástegui-Alvarado y Restrepo-Arango (2017) para comprobar crecimientos exponenciales en muestras de documentos sobre Estudios Métricos de la Información en México y Brasil, respectivamente. Aplicaciones similares sobre este modelo de crecimiento aparecen también en trabajos subsiguientes de Egghe (1993) sobre la influencia del crecimiento en la obsolescencia y otro (1994) sobre una teoría de tasas continuas y aplicaciones a la teoría de las tasas de crecimiento y obsolescencia. Un denominador común en todos estos modelos utilizados para representar este tipo de crecimiento como exponencial puede ser generalizado como: $y = ae^{bx}$

Otro estudio más cercano en el tiempo es el de Torres-Degró (2011) quien realiza una revisión de las tasas de crecimiento poblacional (r) desde los modelos matemáticos lineal, geométrico y exponencial. En este sentido, define sus tasas de crecimiento "Aritmético: también conocido como tasa de crecimiento lineal, es el más simple de todos, supone que la población tiene un comportamiento lineal..." "...el supuesto básico consiste en que la población crece en un mismo monto (cantidad) cada unidad de tiempo". "Geométrico: también conocido como interés compuesto ...dicha tasa [a diferencia de la anterior] mantiene constante el crecimiento por unidad de tiempo y no el monto (cantidad)". "Exponencial: supone que el crecimiento se produce en forma continua y no cada unidad de tiempo" (Torres-Degró. 2011, 147, 149 y 152)

Este autor considera que para realizar un cálculo del crecimiento (poblacional) se consideran tres aspectos fundamentales: "el concepto de amplitud (a), se refiere a la distancia en tiempo entre los dos puntos de referencia, entiéndase P^t y P^{t+n} , respectivamente, para lo que propone dos fórmulas: $a^{mes} = \frac{\Sigma mes}{12}$ y la de $a^{días} = \frac{\Sigma días}{365}$, la tasa de crecimiento (r) para la cual propone diferentes índices para su cálculo y el tiempo en el cual se duplica la población, el cual calcula como: $t = \frac{\ln 2}{r}$ donde: t = tiempo en años o fracciones de año, $\ln 2$ = logaritmo

natural de 2 y r = tasa de crecimiento expresada en su forma natural (Torres-Degró. 2011, 144,147-153, 159)

Los aspectos teóricos relacionados con esta temática y la problemática anterior en torno a ella motivaron el cuestionamiento sobre algunos aspectos a considerar en esta investigación: ¿Qué tipo de crecimiento caracteriza a la producción científica generada sobre COVID-19 en el primer semestre de esta pandemia? ¿La medición del crecimiento de la información se encuentra condicionada a la amplitud del período o al tamaño de la muestra de análisis? ¿Qué aspectos pudieran estar influyendo en el tipo de crecimiento identificado en el tema y período analizado? ¿El tipo de crecimiento que caracteriza a la producción científica condiciona el de las citas que ésta recibe?

Para dar respuesta a estas interrogantes el presente capítulo tiene como objetivo: determinar el tipo de crecimiento que caracteriza la producción científica y su impacto sobre la COVID-19 en el primer semestre de esta pandemia, mediante el cálculo y comprobación de los modelos de regresión no lineales que más se ajustan a las curvas que representan sus datos, con el propósito de explicar desde la perspectiva métrica el comportamiento del crecimiento de la información científica generada y su impacto sobre este fenómeno, además de aportar aquellos aspectos metodológicos a considerar en este tipo de análisis.

METODOLOGÍA

Los aspectos metodológicos que aquí se presentan integran elementos propios del análisis bibliométrico: la selección de la fuente, la estrategia de búsqueda utilizada en la selección de la información y la delimitación de su espaciotemporal, así como la identificación de variables, indicadores y herramientas informáticas empleadas en el procesamiento de los datos y en la metría del fenómeno a investigar.

Sin embargo, para este caso particular se han incluido aspectos metodológicos relacionados con los métodos y modelos de regresión, provenientes de la Matemática y la Estadística, como los utilizados en el cálculo y comprobación de las ecuaciones y ajustes de los tipos de curvas que mejor representan el comportamiento de los datos, el tipo

de crecimiento y la tasa que caracteriza la información sobre el tema seleccionado, aspectos teóricos conceptuales, metodológicos y formulaciones matemáticas revisados a partir de Manson & Lind (1998, 548-677), requeridos para cumplimentar el objetivo propuesto y responder a las interrogantes planteadas al inicio de la investigación.

Fuente de información

Debido a lo señalado en la Introducción de este capítulo sobre el crecimiento de la información y la proliferación de repertorios para su almacenamiento y difusión sobre el tema de la COVID-19, para fines de esta investigación se ha preferido compilar solamente artículos científicos publicados en revistas de reconocido rigor académico y editorial, indizadas en el *Core Collection*® de la Plataforma del *Web of Science*®, fuentes producidas por *Clarivate Analytics*® (2020), además del total de citas recibidas por los artículos identificados en esta fuente, con el propósito de garantizar la calidad de los datos y con el fin de evitar, en alguna medida, la falta de normalización y la duplicidad de la información en relación con otras fuentes disponibles.

Estrategia de búsqueda

Para la recuperación de la información en la plataforma anterior se estableció una estrategia de búsqueda implementada a través del *Science Citation Index Expanded*® del *Core Collection*® como parte del algoritmo de selección de la muestra de análisis y que involucra los temas, fuentes y operadores siguientes:

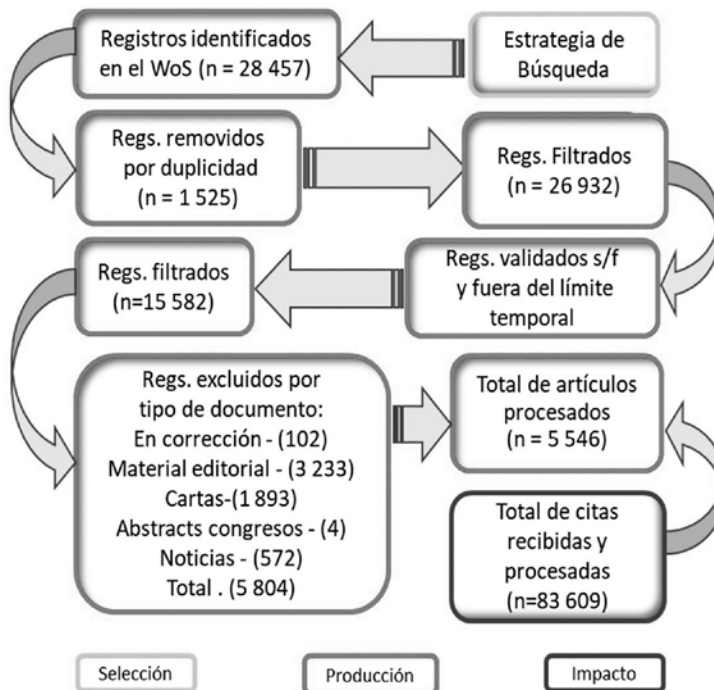
TEMA: (2019 nCoV) OR TEMA: (2019nCoV) OR TEMA: (2019 novel coronavirus) OR TEMA: (COVID 19) OR TEMA: (COVID-19) OR TEMA: (COVID19) OR TEMA: (new coronavirus) OR TEMA: (novel coronavirus) OR TEMA: (SARS CoV-2) OR TEMA: (Wuhan AND coronavirus) OR TEMA: (SARS-CoV) OR TEMA: (2019-nCoV) OR TEMA: (SARS-CoV-2) OR TEMA: (SARS) OR TEMA: (MERS)

Período de tiempo: 2020. Índices: SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, BKCI-S, BKCI-SSH.

Algoritmo de selección de la muestra

El volumen de información recuperado a partir de la estrategia utilizada asciende a 28 457 registros, pero para garantizar la calidad de los datos requeridos en un análisis de crecimiento se tuvo que elaborar un algoritmo de selección y normalización, que permitiera el filtrado de datos a través del análisis de duplicidad, fecha de publicación y tipología documental, con el propósito de obtener una muestra que cumpliera con los requisitos establecidos, tal y como se presenta en la Figura 1.

Figura 1: Algoritmo de búsqueda y selección de las muestras de análisis



El resultado final de la aplicación de este algoritmo identifica y recupera una producción científica de 5 546 artículos de revistas que recibieron 83 609 citas. A partir de estas muestras de registros se seleccionaron las variables requeridas para la determinación del tipo de crecimiento para cada caso (producción e impacto) y para la caracterización de su comportamiento

VARIABLES, INDICADORES Y MODELOS MATEMÁTICOS

De acuerdo con el objetivo propuesto en esta investigación, orientado a responder los cuestionamientos formulados se seleccionaron un conjunto de variables orientadas al uso de indicadores y modelos matemáticos y estadísticos que, desde nuestro punto de vista, podrían modelar e identificar el comportamiento del crecimiento de la producción científica y de su impacto sobre la COVID-19, distribuidos en la Tabla 1 según unidades de análisis.

Tabla 1: Distribución de variables e indicadores por unidades de análisis

Unidades de Análisis	Variables	Indicadores
Producción Científica	Cantidad de Artículos	Distribución de artículos por mes
	Fecha de Publicación	Amplitud del período estudiado
	Cantidad de autores	Índice de coautoría
	Cantidad de documentos con autoría múltiple	Tasa de documentos coautorados
	Áreas de Investigación	Distribución de artículos por áreas de investigación, según mes
Impacto	Cantidad de Citas	Distribución de citas recibidas por mes
	Fecha de las citas	Dispersión de las citas
Modelos de Regresión	Tiempo (t) transcurrido en meses (Variable Independiente)	Tasa de crecimiento de la información
		Tiempo de duplicidad de la información
	Cantidad de artículo (y) en (t) (Variable Dependiente)	Pronóstico de crecimiento mensual hasta diciembre del 2020
	Tipo de ajuste	Coeficiente de Regresión (R^2)

Procedimientos de trabajo

A partir de la identificación de las variables independiente y dependiente se seleccionaron los posibles modelos de regresión que más podían ajustarse a los datos, con el propósito de entender y explicar qué tipo de crecimiento podía caracterizar a la producción científica y a su impacto sobre este tema, con una delimitación temporal de seis meses (enero-junio de 2020) y una espacial que abarcaba todos los artículos publicados en el ámbito mundial, indizados en las fuentes antes descritas y que resultaran de la aplicación del algoritmo diseñado para estos fines (Figura 1).

Debido a que no se conocía *a priori* el tipo de crecimiento que iba a caracterizar la muestra de artículos y de citas por meses, para identificar el modelo que mejor describía el comportamiento de los datos, en ambos casos se propone un procedimiento que incluye cuatro etapas de análisis: a) Determinación del tipo de crecimiento, según comportamiento de los datos y cálculo del modelo de regresión identificado por el Método de los Mínimos Cuadrados. “Empleado para minimizar la suma de los cuadrados de las distancias verticales entre los puntos de datos y la recta” (Stewart, 2010, 28). b) Cálculo del error del modelo o ecuación encontrada. c) Representación gráfica de la dispersión, comprobación del modelo calculado y el cálculo del coeficiente de regresión (R^2) mediante el uso de Excel®. d) Cálculo del Pronóstico hasta diciembre del 2020 y de la Tasa de Crecimiento, mediante el uso de la función identificada, así como el cálculo del tiempo en el cual se duplica esta información y su impacto.

Herramientas informáticas

Para el procesamiento de la información, el cálculo y comprobación de los modelos de regresión, el ajuste de las curvas, la elaboración de las tablas y gráficos se empleó el Gestor de Hojas de Cálculo Excel® (Rico, 2018) y para la elaboración de la Figura 1 el PowerPoint®, ambos en su versión 365 del Paquete Office® de Windows® 10 de Microsoft®.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

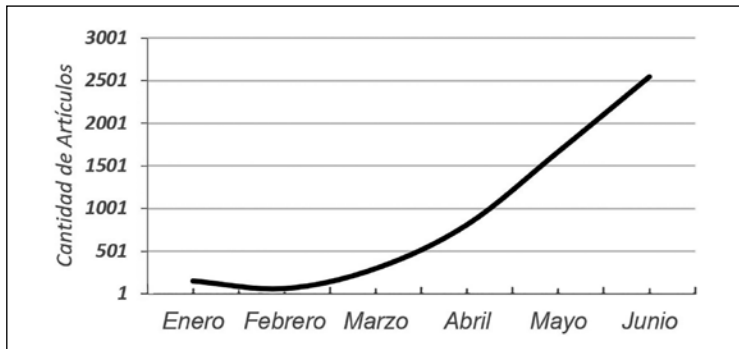
Los resultados que aquí se presentan aparecen estructurados en dos partes principales: una sobre la identificación del tipo de crecimiento que se observa en la producción científica sobre la COVID-19 y la otra sobre el crecimiento del impacto que esta provoca a través de las citas que recibe. No obstante, a que las segundas son consecuencia de la primera y ambos procesos forman parte de un mismo sistema de comunicación científica, por su naturaleza y comportamiento métrico éstas deben ser motivo de análisis por separado, debido a que no siempre la cantidad de citas recibidas resultan directamente proporcional a la cantidad de artículos publicados, motivo por el cual el ritmo y tipo de crecimiento debiera ser diferentes en cada una de las muestras.

Estos resultados son parciales y para su obtención se han empleado elementos metodológicos que forman parte de un proyecto de investigación más amplio, que realizan los autores sobre la modelación matemática del crecimiento de la información científica. Para su interpretación deberán ser tomados en cuenta las fuentes empleadas y el sesgo espaciotemporal que presentan los datos objeto de análisis.

Crecimiento de la producción científica

La gráfica de la Figura 2 y la Tabla 1 del Anexo muestran la distribución de artículos científicos sobre COVID-19 publicados por mes (5 546) en el primer semestre del año 2020.

Figura 2: Gráfico de distribución de artículos por meses



En promedio se publicaron 924 artículos científicos en cada mes, volumen considerable para cualquier otro tema de actualidad en un mismo período de tiempo bajo otras condiciones. Entre los meses de abril a junio se acumularon más del 90% del total de artículos.

Este acelerado crecimiento de artículos mostrado en la primera mitad del semestre, así como la curva que describe su comportamiento podría evidenciar, sin lugar a duda, un crecimiento de tipo exponencial. Sin embargo, para aseverar tal afirmación estos datos no son suficientes.

De acuerdo con Stewart las funciones que modelan este comportamiento son de la forma $f(x) = a^x$, donde la base a es una constante positiva y son útiles para modelar numerosos fenómenos naturales como el crecimiento poblacional, por ejemplo. Se llama función exponencial porque la variable x es el exponente y no debe confundirse con la función de potencia $g(x) = x^2$ en la que la variable x es la base. (Stewart, 2012, 34, 52).

Para comprobar este tipo de modelo se requiere conocer si la tasa de crecimiento resulta constante en forma continua durante todo el período, característica principal de los modelos exponenciales, además que la ecuación que define sus datos (obtenida por el método de los mínimos cuadrados) al igual que el ajuste de su curva, sean comprobados con el coeficiente de regresión (R^2) válido para aceptar que los datos objeto de estudio se ajustan al modelo de regresión exponencial.

El modelo que se pretende comprobar es del tipo: $y = ae^{bx}$ donde:

- y = Cantidad de artículos (Variable dependiente)
- a = Parámetro calculado (Intercepto)
- e = Exponencial natural o número de Euler ≈ 2.71828
- b = Parámetro calculado (Pendiente)
- x = la variable tiempo. (t) (Variable independiente)

La forma más validada para realizar este tipo de comprobación se resume en cuatro pasos de análisis que se proponen en la metodología, los cuales se desarrollan a continuación.

a) Cálculo del modelo de regresión no lineal y su función exponencial para comprobar los valores de la ecuación.

A partir de los datos de la Tabla 1 del anexo se requiere construir otra en la que se puedan obtener las sumatorias y los valores promedios del logaritmo natural y los cuadrados de x, y ($\ln(y)$, x^2 , $x\ln(y)$ y $\ln y^2$).

Tabla 2: Distribución de artículos acumulados por mes, según sumatorias y promedios de los valores logarítmicos naturales de (x,y)

<i>Mes (x)</i>	<i>Artículos Acum. (y)</i>	<i>ln(y)</i>	<i>x²</i>	<i>xln(y)</i>	<i>(lny)²</i>
1	154	5.0369526	1	5.0369526	25.3708915
2	220	5.3936275	4	10.7872551	29.0912181
3	520	6.2538288	9	18.7614864	39.1103748
4	1332	7.1944369	16	28.7777474	51.7599216
5	2999	8.0060342	25	40.0301709	64.0965833
6	5546	8.6208322	36	51.7249934	74.3187483
21	10771	40.5057122	91	155.1186058	283.7477376
Σx	Σy	$\Sigma \ln(y)$	Σx^2	$\Sigma x\ln(y)$	$\Sigma (\ln y)^2$
Valores Promedios					
3.50	1795	6.7509520	15	25.8531010	47.2912896

Con los datos obtenidos de las sumatorias y los promedios en la Tabla 2 se sustituye el sistema de ecuaciones siguiente para obtener los valores de a y b como estimadores mínimos cuadráticos de la ecuación que representa el modelo de crecimiento.

Cálculo del valor de b

$$b = \frac{(\sum x t n y) - (\overline{t n y})(\sum x)}{(\sum x^2) - (\bar{x} \sum x)} \quad b = \frac{(155.1186058) - (6.7509520)(21)}{(91) - (3.50)(21)} \quad b = \frac{(13.34861303)}{(17.5000000)}$$

$b = 0.7628$

Cálculo del valor de a

$$a = e(\overline{t n y}) - b(\bar{x}) \quad a = e(6.7509520) - 0.7628(3.50) \quad a = 59.218$$

Por consiguiente: $y = a e^{bx} \quad y = 59.218 e^{0.7628x}$

Si $y = C_a$ (Cantidad de Artículos) entonces $C_a = 59.218 e^{0.7628 t}$

A partir de la ecuación obtenida que caracteriza el crecimiento de tipo exponencial y se determina su error.

b) Cálculo del Error (e_t) con la ecuación exponencial y la obtención del pronóstico.

En sentido general el error o residuo, según Corres et. al. (2014, 117) en un estudio comparativo realizado sobre modelos de pronóstico de venta, se define como: “la diferencia entre el valor de lo que realmente ha ocurrido y el valor de la proyección” [o pronóstico], puede ser formulado como: $Error = et = A_t - F_t$, donde (para fines de esta investigación): A_t = Cantidad de artículos reales en el período t y F_t = Pronóstico de artículos según el modelo exponencial obtenido para el período t . Según estos autores, existen diversos métodos para medir el error del pronóstico, entre los más empleados se encuentran: Desviación Media Absoluta (MAD), Porcentaje del Error Medio Absoluto (MAPE), Error Cuadrático Medio (RMSE), Suma de los Errores (BIAS), entre otros. Coinciden en señalar que: “a veces es más útil calcular los errores de pronóstico en porcentajes. El MAPE, proporciona una indicación de cuán grandes son los errores de pronóstico en comparación con los valores reales de la serie” (Corres et. al. (2014, 119), puede ser formulado como:

$$MAPE = \frac{1}{n} * \sum_{t=1}^{t=n} \frac{|A_t - F_t|}{A_t}$$

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación el cálculo del error, según los datos de la Tabla 2 para $t = 3$ y el modelo exponencial obtenido, puede ser calculado como sigue:

$$MAPE = \frac{1}{6} * \sum_{t=1}^{t=n} \frac{|520 - 59.218 e^{0.7628 (3)}|}{520}; MAPE = (0.16) * \frac{|520 - 59.218 (9.859)|}{520}$$

$$MAPE = 0.16 * 520 - 584520 \quad MAPE = (0.16) * \frac{|520 - 584|}{520}$$

$$MAPE = (0.16)(0.12) ; E_r = 0.0192$$

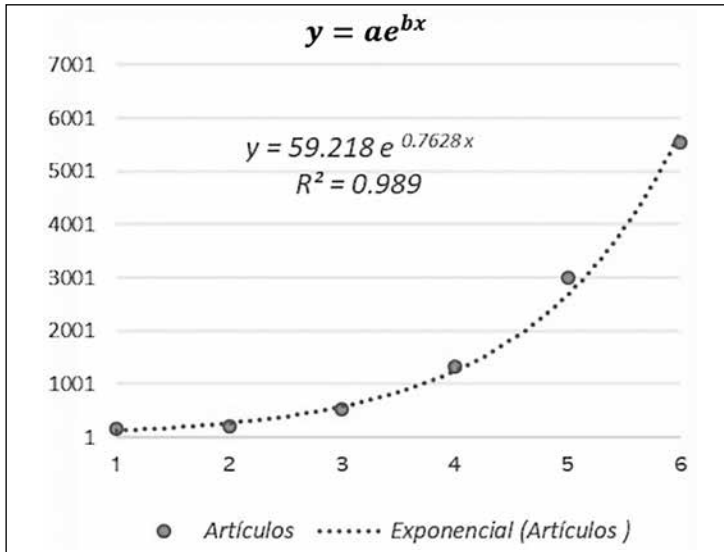
El cálculo del Error resulta $< 3\%$, lo cual significa que la ecuación exponencial encontrada representa adecuadamente los datos y resulta adecuada para calcular el pronóstico.

Para comprobar la exactitud, la validez y el ajuste del modelo que representa a los datos, calculados manualmente, así como confirmar el tipo de crecimiento se obtiene su representación gráfica por Excel, los cálculos de la ecuación y del Coeficiente de Regresión (R^2).

c) Representación gráfica, comprobación del modelo exponencial y el ajuste de su curva con Excel®

En el gráfico de la Figura 3 se demuestra que la curva de dispersión de los datos observados se ajusta adecuadamente a la curva de tendencia exponencial calculada por el Excel, por lo que queda demostrado que la producción científica publicada sobre la COVID-19 en el primer semestre de esta pandemia, indizada en el *Core Collection del Web of Science*, tiene un crecimiento de tipo exponencial.

Figura 3: Gráfico de dispersión de artículos por mes y su ajuste a la curva de tendencia exponencial calculado en Excel.



Además de la precisión obtenida en la igualdad de las curvas (observada y calculada) y del valor del coeficiente de regresión $R^2 = 0.989$, que demuestran la validez del ajuste de los datos al modelo de crecimiento exponencial de esta producción científica sobre COVID-19, se puede afirmar que las dos ecuaciones obtenidas, en forma manual y la ofrecida por el Excel, son idénticamente iguales:

$$(y = 59.218e^{0.7628x} \equiv y = 59.218e^{0.7628x})$$

Esta afirmación también permite comprobar lo cuestionado en la primera pregunta de investigación sobre forma de crecimiento que caracteriza esta producción científica, así como calcular con exactitud el pronóstico de su comportamiento al fin del año (diciembre, 2020), la tasa de crecimiento y el tiempo en el cual se duplica esta producción científica.

d) Cálculo del Pronóstico y Tasa de Crecimiento Constante (r) con el modelo de Regresión Exponencial

Para medir estos dos últimos indicadores se requiere la elaboración de una tabla en Excel, tal y como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Cálculo de la Tasa de crecimiento exponencial a partir del pronóstico

Mes	Valor	Acu. Artículos	Pronóstico	Tasa de Crecimiento
Enero	1	154	127	0.466359
Febrero	2	200	273	0.466359
Marzo	3	520	584	0.466359
Abril	4	1332	1253	0.466359
Mayo	5	2999	2687	0.466359
Junio	6	5546	5762	0.466359
Julio	7	.....	12356	0.466359
Agosto	8	.....	26494	0.466359
Septiembre	9	.....	56811	0.466359
Octubre	10	.....	121819	0.466359
Noviembre	11	.....	261212	0.466359
Diciembre	12	.....	560110	.....

De acuerdo con el pronóstico calculado se espera que para fin de año (2020) la producción científica sobre este tema ascienda a 560 110 artículos publicados e indizados en el *Web of Science* de mantenerse esta tasa de crecimiento constante de un 46%, identificada a partir del comportamiento del crecimiento alcanzado en el primer semestre de este año. Debido a que este indicador por sí solo no aporta información suficiente para determinar la velocidad con la que crece esta producción, se calcula el tiempo de duplicidad según lo indicado por Krauze y Hillinger (1971, 334) y Torres-Degró, (2011, 159). Según este último autor el cálculo de este indicador sobre el tiempo en el cual se duplica la población (en nuestro caso Producción científica) de acuerdo con la tasa actual de crecimiento (r) resulta una forma más clara de caracterizar este tipo de crecimiento, tal y como se muestra:

$$t = \frac{\ln 2}{r}$$

$$t = \frac{0.693147}{0.466359}$$

$$t = 1.486295$$

$$t \approx 1.49$$

donde:

t = Tiempo de duplicación de la población [en este caso de la Producción científica]

$\ln 2$ = Logaritmo natural de dos (otorgado por definición)

r = Tasa de crecimiento [mensual] en su expresión natural

Estos resultados indican que esta producción científica tiene un crecimiento exponencial con una tasa continua de 46%, durante este período (enero-Junio, 2020) y se duplica cada 1.49 meses, casi en mes y medio. Resultados que confirman y dan respuesta a la primera pregunta de investigación formulada sobre el tipo de crecimiento que caracterizaba esta producción científica.

Otro aspecto por comprobar es el relacionado con la amplitud del período de estudio, en principio se pudiera pensar que con un período tan corto pudiera ser contraproducente medir este tipo de crecimiento, sobre todo porque este tipo de tasas se expresan de forma anual, sin embargo queda demostrado que el período objeto de estudio no fue un impedimento para comprobar con exactitud los modelos utilizado. De acuerdo con el cálculo sugerido por Torres-Degró, (2011, 144) la amplitud de esta muestra se obtiene como sigue: $a = f^{mes} \times a^{1mes}$ o también como $a^{1mes} = \frac{\sum mes}{12}$ y el resultado del cálculo sería:

$$a^{1mes} = 0.083333 \quad ; \quad a = 6(0.083333) \quad ; \quad a = 0.499998 \quad ; \quad a \approx 0.50 .$$

Este valor indica que con solo utilizar una muestra de apenas medio año de amplitud es posible calcular y comprobar el tipo de crecimiento que mejor se ajusta a estos datos, lo cual permite responder a la segunda pregunta de investigación en el sentido de que la amplitud del período de estudio no condiciona la comprobación de la forma de crecimiento. El valor de este indicador se emplea en varios de los

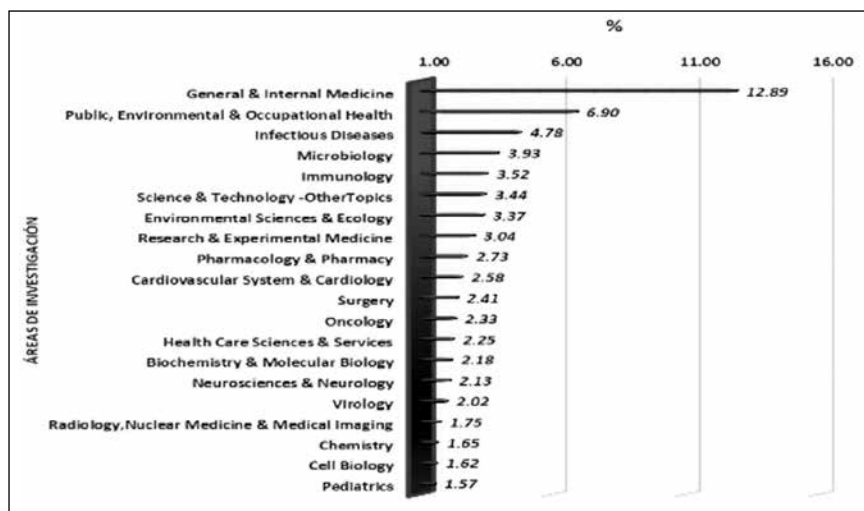
modelos utilizados por este autor en el documento de referencia para calcular las tasas de crecimiento lineal, geométrico y exponencial.

Contexto que caracteriza este crecimiento exponencial

Otro aspecto por considerar en este análisis se relaciona con el contexto que favorece el crecimiento exponencial en la muestra y tema analizado. Las características y dimensiones de este fenómeno, a todas luces multifactorial y transdisciplinario, han puesto a prueba la capacidad de investigadores y especialistas de muy diversos frentes de investigación empeñados en mitigar y resolver un problema definitivo en el futuro de la humanidad.

Un sencillo análisis de la diversidad de áreas de conocimiento que participan en la lucha por resolver este complejo problema de investigación identificó 127 áreas de conocimiento, en la Tabla 3 del Anexo se presenta una distribución de las 10 principales áreas por meses, según cantidad de artículos publicados.

Figura 4: Distribución de artículos publicados en revistas del WoS, según principales áreas de investigación (enero-junio de 2020)

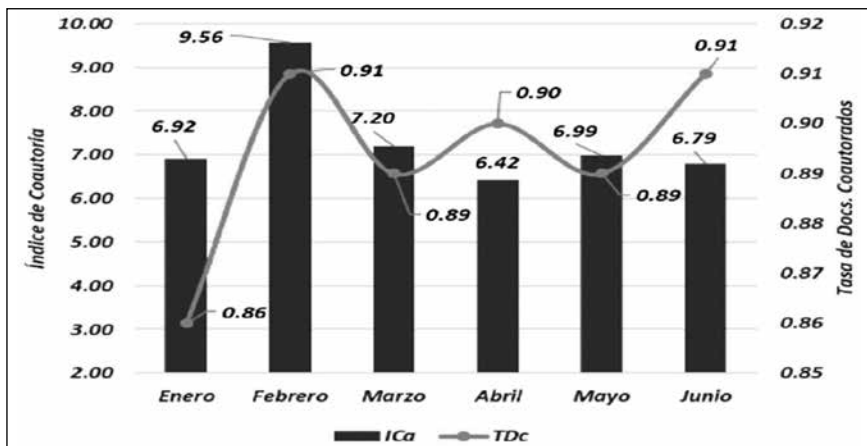


Mientras que en la gráfica de la Figura 4 se observa la estructura porcentual de la cantidad de artículo distribuidos entre las 20 áreas más significativas, durante el período de análisis; representan el 67.07% de un total (7476 artículos) cifra mayor a la real debido a que hay artículos que aparecen indizados en más de un área, lo cual indica que el restante 32.93% se dispersa en las otras 107 áreas de investigación.

Esta diversidad de áreas de conocimientos que intervienen en estas investigaciones no deja lugar a duda de los niveles de colaboración que subyacen en las relaciones de autoría de los artículos que integran la muestra analizada. Motivo por el cual se analiza también, como parte de este contexto, el comportamiento de la autoría a partir de dos indicadores esenciales: el índice de autoría y la tasa de documentos coautorados.

La distribución de autores y artículos por mes se presenta en la Tabla 4 del Anexo, en la que se destaca la participación de 37 904 autores en toda la muestra, entre los cuales solo el 1.48% publicaron en formas individual 562 artículos que representan el 10% del total de 5 530 artículos publicados, cantidad menor en 16 artículos del total general de la muestra, debido a que fueron eliminados por no tener indicado su autoría o porque su autoría era institucional.

Figura 5. Distribución del Índice de autoría (ICa) y tasa de documentos coautorados (TDC) por mes



En el gráfico de la Figura 5, febrero presenta el mayor ICa con un 9.56 autores por artículos, no obstante ser el mes de menor producción, debido a la presencia de varios artículos que alcanzan 35, 46 y 67 autores. Mientras que junio que presenta el documento con el mayor número de autores (179) posee un ICa de 6.7, debido a que la distribución de la frecuencia de autores en el resto de los artículos registra un mayor equilibrio, muestra de ello es que ambos meses alcanzan la mayor TDC (0.91).

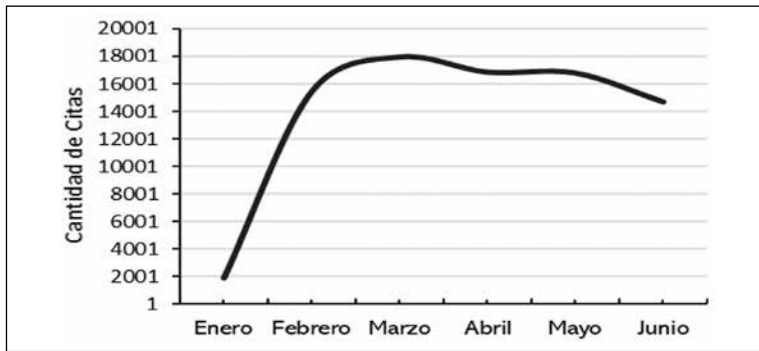
La diversidad de áreas de investigación, la cantidad de autores y la frecuencia de estos por artículos, así como la gravedad de lo que representa la pandemia de la COVID-19 para la humanidad, resultan evidencias suficientes para identificar el contexto que pudiera estar condicionando el acelerado crecimiento exponencial de la producción científica sobre este tema en tan corto período, resultados que pueden dar respuesta a la tercera pregunta de investigación sobre los aspectos que pudieran estar influyendo en el tipo de crecimiento identificado en el tema y período analizado.

Crecimiento del impacto

Otro interés formulado en las preguntas de investigación y en el objetivo general de este capítulo se orienta a la determinación del crecimiento del impacto que recibe, a través de las citas, la producción científica de la muestra objeto de estudio sobre COVID-19, para lo cual se realizaron los procedimientos establecidos en el apartado metodológico y comprobados con los datos obtenidos de la muestra de artículos en las páginas anteriores.

Para este análisis se compilaron 83,609 citas, cantidad 15 veces mayor a la de artículos recuperados durante el semestre, en promedio se recibieron 13 935 citas por mes y más del 57% de estas citas se recibieron durante los últimos tres meses (abril, mayo y junio), cifras que pudieran estar indicando también un crecimiento de tipo exponencial como se comprobó en la muestra de artículos. Sin embargo, al realizar la distribución de citas por meses se observó que el comportamiento de la curva no sugiere un crecimiento de este tipo, tal y como se presenta en la gráfica de la Figura 6.

Figura 6: Gráfico de distribución de citas recibidas por meses



El ajuste más asociado a esta curva a través de Excel indicó *a priori* que se trata de un polinomio de grado tres, a diferencia de lo sucedido con la producción de artículos científicos que resultó de tipo exponencial. De acuerdo con Stewart, “una función P se llama polinomial si:

$$P(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_2 x^2 + a_1 x + a_0$$

donde: n es un entero no negativo y los números $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ son constantes llamadas **coeficientes** del polinomio. El dominio de cualquier polinomio es $\mathbb{R} = (-\infty, \infty)$. Sí el coeficiente principal $a_n \neq 0$, entonces el **grado** del polinomio es n . Por ejemplo:” [.....] “Un polinomio de grado 3 es de la forma: $P(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$, $a \neq 0$ y se llama función cúbica” (Stewart, 2010, 29)

A partir de los postulados anteriores se aplican los procedimientos o pasos definidos en la metodología (con exclusión del cálculo del error) y se calcula el polinomio de grado 3 según el método de los mínimos cuadrados para definir la función que mejor representa la distribución de las citas.

a) Cálculo de la regresión no lineal y su función polinomial para comprobar los valores de la ecuación

Para obtener los parámetros del sistema de ecuaciones a solucionar se requiere, como en el caso anterior, elaborar una tabla que permita obtener los valores de las sumatorias para $n = 6$ (meses o variable independiente) que determina el número de filas y $g = 3$ (grado del polinomio) que determina el número de columnas de la tabla. Bajo las premisas anteriores el polinomio a calcular sería del tipo: $y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3$ y lo que se pretende es hallar cada uno de los coeficientes a_n .

Para el cálculo de este polinomio se emplea el método de los mínimos cuadrados, a partir del cual se genera un conjunto de derivadas parciales, de las cuales se obtiene el sistema de ecuaciones a solucionar (Vasquez, Orellana & Hinojosa, 2017, 159-161). Este sistema queda conformado por:

$$\begin{aligned}
 a_0 n + a_1 \sum x + a_2 \sum x^2 + a_3 \sum x^3 &= \sum y \\
 a_0 \sum x + a_1 \sum x^2 + a_2 \sum x^3 + a_3 \sum x^4 &= \sum xy \\
 a_0 \sum x^2 + a_1 \sum x^3 + a_2 \sum x^4 + a_3 \sum x^5 &= \sum x^2y \\
 a_0 \sum x^3 + a_1 \sum x^4 + a_2 \sum x^5 + a_3 \sum x^6 &= \sum x^3y
 \end{aligned}$$

Las sumatorias de cada coeficiente del polinomio se obtiene a partir de la Tabla 4:

Tabla 4: Distribución de citas por mes, según sumatorias de los valores de (x,y).

Mes (x)	C. Citas (y)	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6	xy	x^2y	x^3y
0	1914	0	0	0	0	0	0	0	0
1	15446	1	1	1	1	1	15446	15446	15446
2	17942	4	8	16	32	64	35884	71768	143536
3	16845	9	27	81	243	729	50535	151605	454815
4	16780	16	64	256	1024	4096	67120	268480	1073920
5	14682	25	125	625	3125	15625	73410	367050	1835250
15	83609	55	225	979	4425	20515	242395	874349	3522967
$\sum x$	$\sum y$	$\sum x^2$	$\sum x^3$	$\sum x^4$	$\sum x^5$	$\sum x^6$	$\sum xy$	$\sum x^2y$	$\sum x^3y$

Al sustituir el sistema de ecuaciones anterior con los valores obtenidos de la tabla se tiene que:

$$6 a_0 + 15 a_1 + a_2 55 + 225 a_3 = 83609$$

$$15 a_0 + 55 a_1 + 225 a_2 + 979 a_3 = 242395$$

$$55 a_0 + 225 a_1 + 979 a_2 + 4425 a_3 = 874349$$

$$225 a_0 + 979 a_1 + 4425 a_2 + 20515 a_3 = 3522967$$

Con los valores anteriores obtenidos de cada uno de los coeficientes del polinomio se genera una matriz escalonada ampliada (4x4), donde el valor de $a_n \neq 0$.

$$\begin{bmatrix} 6 & 15 & 55 & 225 & 83609 \\ 15 & 55 & 225 & 979 & 242395 \\ 55 & 225 & 979 & 4425 & 874349 \\ 225 & 979 & 4425 & 20515 & 3522967 \end{bmatrix}$$

La solución de este sistema de ecuaciones puede obtenerse aplicando métodos numéricos tales como: Gauss – Jordan, Gauss – Seidel, Jacobi (Vasquez, Orellana & Hinojosa, 2017, 161), al igual que estos autores el método empleado en este caso fue el **Método de Eliminación de Gauss-Jordan**, definido como “el uso donde se emplea la forma escalonada por renglones reduciendo el sistema de ecuaciones, a una matriz equivalente también llamada matriz identidad” (Stewart, Redlin, & Watson, 2012, 654), otros detalles del procedimiento numérico pueden ser consultados también en (O’Neil, 1994, 742-750). Los valores resultantes de cada uno de los coeficientes del polinomio determinan la ecuación (en este caso cúbica) que mejor se ajusta a los datos.

El conjunto de matrices que se obtienen de esta reducción se muestra en la Tabla 2 del Anexo y los resultados obtenidos para cada coeficiente del polinomio son los siguientes:

$a_0 =$	2270	Término independiente
$a_1 =$	17270	x
$a_2 =$	-5668	x^2
$a_3 =$	545.28	x^3

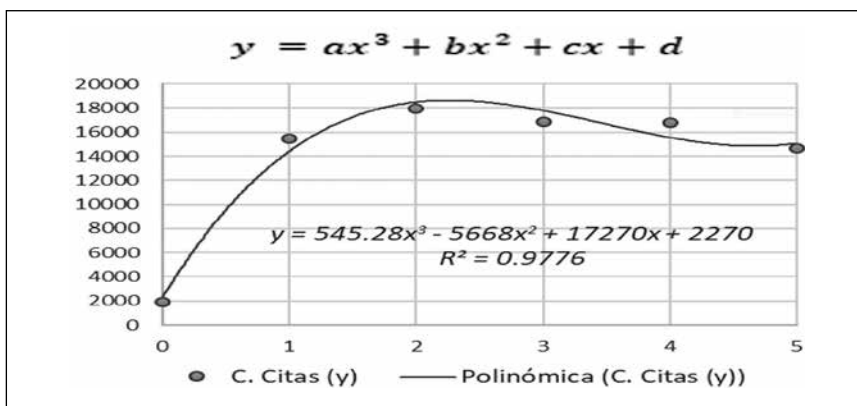
Entonces, la solución del polinomio queda resuelta de la forma siguiente:

$$y = 545.28x^3 - 5668x^2 + 17270x + 2270 = y = ax^3 + bx^2 + cx + d$$

b) Representación gráfica, comprobación del modelo polinomial y el ajuste de su curva con Excel®

Para comprobar la exactitud y validez de los cálculos realizados se representó, al igual que el caso anterior, la dispersión de las citas por meses en Excel y se ajustó la curva al modelo polinomial de grado 3, tal y como se observa en la Figura 7.

Figura 7: Gráfico de dispersión de citas recibidas por mes y su ajuste a la línea de tendencia polinómica calculados en Excel.



Con esta representación queda demostrada la validez del cálculo realizado para resolver el sistema de ecuaciones mediante el Método de Eliminación de Gauss-Jordan para obtener el modelo que mejor se ajusta

a los datos, debido a que el polinomio obtenido en el cálculo manual, como en el caso anterior, es idénticamente igual al calculado por Excel:

$$y = 545.28x^3 - 5668x^2 + 17270x + 2270 \equiv y = 545.28x^3 - 5668x^2 + 17270x + 2270$$

Además, la semejanza entre la curva observada y la calculada con un coeficiente de regresión de $R^2 = 0.9776$, demuestra la validez del ajuste de los datos de citas recibidas durante el período de estudio al modelo de crecimiento polinomial.

Estos resultados, son altamente confiables para calcular el pronóstico de este comportamiento proyectado hasta diciembre del 2020, así como la obtención de su tasa de crecimiento y con ésta el tiempo en el cual se espera se duplique la cantidad de las citas que recibe esta producción científica. También responden de forma negativa a la cuarta pregunta de investigación formulada, debido a que queda demostrado que el crecimiento que caracteriza a la producción científica no condiciona ni incide en el comportamiento del crecimiento de su impacto, representado por las citas que reciben. No obstante a que forman parte de un mismo sistema de comunicación científica, las estructuras y naturalezas de sus frecuencias en el plano espaciotemporal son diferentes.

c) Cálculo del Pronóstico y Tasa de Crecimiento variable con el modelo de regresión polinomial.

A partir de la solución del polinomio anterior se calcula el pronóstico y la tasa de crecimiento con una proyección estimada hasta diciembre del 2020. Los datos de la tabla 5 indican que, de mantenerse el crecimiento de las citas con una tasa variable con una diferencia mensual que oscila entre el 0.0076 y 0.1667, en diciembre del 2020 esta producción científica alcanzará 234 480 citas con un promedio mensual estimado de 127 010 citas por mes y una tasa de crecimiento promedio de 0.741399, es decir de aproximadamente un 74% de crecimiento, cantidades comprensibles en tan poco tiempo debido a una situación coyuntural como la que sucede con esta pandemia de la COVID-19.

Tabla 5: Cálculo de la Tasa de crecimiento polinomial a partir del pronóstico

Mes	Valor	Citas	Pronóstico	Tasa de Crecimiento
Enero	1	1914	19540	0.50000
Febrero	2	15446	39080	0.66667
Marzo	3	17942	58620	0.75000
Abril	4	16845	78160	0.80000
Mayo	5	16780	97700	0.83333
Junio	6	14682	117240	0.85714
Julio	7	.....	136780	0.87500
Agosto	8	.....	156320	0.88889
Septiembre	9	.....	175860	0.90000
Octubre	10	.....	195400	0.90909
Noviembre	11	.....	214940	0.91667
Diciembre	12	.....	234480	.....

Aunque la tasa de crecimiento no es constante, como en el caso del crecimiento exponencial, se puede utilizar la tasa promedio y calcular el tiempo en el cual se espera pueda duplicarse el volumen de citas, mediante el indicador anterior empleado para este fin por Torres-Degré (2011, 159) como sigue:

$$t = \frac{\ln 2}{r} \qquad t = \frac{0.693147}{0.741399} \qquad t = 0.93 \text{ mes}$$

Lo anterior indica que con esta tasa de crecimiento promedio de todo el período este volumen de citas pudiera duplicarse en 0.93 mes, menos de un mes y es 0.56 menor que el tiempo en el cual se duplica la producción científica que las recibe, con una tasa de crecimiento constante de un 46%. Este comportamiento coincide con lo indicado por Torres-Degré, al señalar que “cuando aumenta la tasa de crecimiento, el tamaño de la población a duplicarse se reduce, mientras que cuando la tasa de crecimiento se reduce, el tamaño de la población a duplicarse se amplía” (Torres-Degré, 2011,157-58), es decir la producción científica con un ritmo de crecimiento menor pero constante de un 46%, propio del modelo exponencial, alcanzará 560 110 artículos en diciembre del 2020, mientras que el crecimiento de su impacto con una tasa promedio de $r \approx 74\%$ se espera alcance solo 234 480 citas en ese mismo mes.

CONSIDERACIONES FINALES

Los datos procesados para esta investigación representan el núcleo principal de la producción científica arbitrada y publicada en las revistas de mayor producción e impacto vinculadas con el tema de la COVID-19; de ahí que los resultados obtenidos, no obstante a su sesgo temporal y de volumen, resultan válidos y representativos del fenómeno estudiado.

Los elementos aportados en el análisis sobre el crecimiento de la producción científica, sobre la diversidad y cantidad de áreas de investigación involucradas, así como la cantidad total de autores y su elevada frecuencia por documentos, en el tema y período seleccionados son, desde nuestro punto de vista, los dos aspectos más significativos que pudieran estar influyendo en el incremento exponencial de la producción científica sobre este tema.

El análisis realizado a través del cálculo de los modelos que definen el tipo de crecimiento de la producción científica, no deben condicionar la forma de crecimiento de su impacto a través de las citas, debido al carácter acumulativo de sus frecuencias, la propia naturaleza de sus planos espacio temporal en el que ocurren y las diferencias mensurables que tienen con la producción científica, así como otras condicionantes relacionadas con la actualidad o el envejecimiento de la información que las recibe.

De acuerdo con lo señalado en el párrafo anterior, el resultado sobre el ajuste del crecimiento de las citas al modelo polinomial pudiera ser la forma más generalizada que caracterice su crecimiento, ya sea cúbica, cuadrática, de cualquier otro grado o de potencia, esta última, debido a que las funciones polinomiales de la forma: $f(x) = x^n$ son conocidas también como funciones de potencia, algo similar a lo que ocurre con el crecimiento de la información o producción científica que, en la mayoría de los casos estudiados, suele ser de tipo exponencial. Sin embargo, para comprobar este supuesto se requiere concluir la investigación que se realiza sobre la *Modelación matemática del crecimiento de la información científica y de su impacto*, en la cual se aplica esta metodología a un conjunto de disciplinas por años con el propósito de identificar el comportamiento que caracteriza el crecimiento

de las citas y su relación con la producción científica que las recibe, resultados que se espera alcancen su publicación más adelante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brookes, B. C. (1970). "The Growth, Utility, and Obsolescence of Scientific Periodical Literature", *Journal of Documentation*, 26, 4: 283-295. Disponible en <https://doi.org/10.1108/eb026500>
- Clarivate Analytics (2020). Web of Science Platform. Core Collection. Science Citation Index Expanded™. Disponible en <https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/webofscience-scie/>
- Corres, G., Passoni, L, Zárata, C. y Esteban, A. (2014). "Estudio comparativo de Modelos de pronóstico de ventas", *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, 6, 11: 113-134. Disponible en <https://kopernio.com/viewer?doi=10.13084%2F2175-8018&token=WzkzNzYzNiwiMTAuMTMwODQvMjE3NS04MDE4Il0.pNAVq7PbW3Qy27FrA1RvhVy-1SU>
- Egghe, L. y Ravichandra Rao, I. K. (1992). "Classification of growth models based on growth rates and its applications", *Scientometrics*, 25, 5-46. Disponible en <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/BF02016845>
- Egghe, L. (1993). "On the Influence of Growth of Obsolescence", *Scientometrics*, 27, 2: 195-214. Disponible en <https://doi.org/10.1007/bf02016550>
- Egghe, L. (1994). "A theory of continuous rates and applications to the theory of growth and obsolescence rates", *Information processing & management*, 30, 2: 279-292. Disponible en [https://doi.org/10.1016/0306-4573\(94\)90070-1](https://doi.org/10.1016/0306-4573(94)90070-1)

- Fernández-Cano, A., Torralbo, M. y Vallejo, M. (2004). "Re-considering Price's model of scientific growth: An overview", *Scientometrics*, 61: 301-321. Disponible en <https://doi.org/10.1023/B:SCIE.0000045112.11562.11>
- Fu, H., Ho, Y., Sui, Y. y Li, Z. (2010). "A bibliometric analysis of solid waste research during the period 1993-2008", *Waste Management*, 30: 2410-2417. Disponible en <http://dns2.asia.edu.tw/~ysho/YSHO-English/Publications/PDF/Was%20Man30,%202410.pdf>
- Gupta, B. M. y Karisiddappa, C. R. (2000). "Modelling the Growth of Literature in the Area of Theoretical Population Genetics", *Scientometrics*, 49: 321-355. Disponible en <https://doi.org/10.1023/A:1010577321082>
- Krauze, T. K. y Hillinger, C. (1971). "Citations, references and the growth of scientific literature: a model of dynamic interaction", *Journal of the American Society for Information Science*, 22, 5: 333-336. Disponible en <https://asistdl.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/asi.4630220507>
- Leithold, L. (1998). *El Cálculo* [7ma ed.]. México: Oxford University Press-Harlan México: Disponible en <https://www.pdfdrive.com/leithold-louis-el-c%C3%A1culo-7ed-1380-pag-e39235732.html>
- MacRae, D. (1969). "Growth and decay curves in scientific citations", *American Sociological Review*, 34, 5: 631-635. Disponible en <https://doi.org/10.2307/2092300>
- Mason, R y Lind. R. (1998). *Estadística para Administración y Economía* [8va. ed.]. México: Alfaomega Grupo Editor.
- O'Neil, P. V. (1994). *Matemáticas Avanzadas para Ingeniería*. Vol.1. [3ra. ed.]. México: Compañía Editora Continental (CECSA).

- Price, D. J. S. (1951). "Quantitative measures of the development of science", *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 14: 86-93. Citado por R. Urbizagástegui-Alvarado y C. Restrepo-Arango (2017). "Crecimiento de la literatura sobre bibliometría, informetría y cienciometría en el Brasil", *RICI: R. Ibero-amer. Ci. Inf.*, 10, 1: 6-31. Disponible en <http://periodicos.unb.br/index.php/RICI/article/download/2469/2198>
- Price, D. J. S. (1956). "The exponential curve of science", *Discovery*, 17: 240-243, Reimpreso en: B. Barber y W. Hirsch (eds.) (1962). *The sociology of science*, pp. 516-524. New York: Free Press of Glencoe. Citado por R. Urbizagástegui-Alvarado y C. Restrepo-Arango (2017). "Crecimiento de la literatura sobre bibliometría, informetría y cienciometría en el Brasil", *RICI: R. Ibero-amer. Ci. Inf.*, 10, 1: 6-31. Disponible en <http://periodicos.unb.br/index.php/RICI/article/download/2469/2198>
- Price, D. J. S. (1963). *Little Science, Big Science*. New York: Columbia University Press. Citado por R. Urbizagástegui-Alvarado y C. Restrepo-Arango (2017). "Crecimiento de la literatura sobre bibliometría, informetría y cienciometría en el Brasil", *RICI: R. Ibero-amer. Ci. Inf.*, 10, 1: 6-31. Disponible en <http://periodicos.unb.br/index.php/RICI/article/download/2469/2198>
- Price, D. J. S. (1965). "Networks of scientific papers", *Science*, 149, 3683: 510-515. Disponible en <https://www.jstor.org/stable/1716232?seq=1>
- Price, D. J. S. (1975). "Diseases of science". En: *Science since Babylon*, pp. 161-195. New Haven: Yale University Press. Citado por R. Urbizagástegui y C. Restrepo Arango (2017). "Crecimiento de la literatura sobre bibliometría, informetría y cienciometría en el Brasil", *RICI: R. Ibero-amer. Ci. Inf.*, 10, 1: 6-31. Disponible en <http://periodicos.unb.br/index.php/RICI/article/download/2469/2198>

- Restrepo-Arango, C. y Urbizagástegui-Alvarado, R. (2016). "Acercamiento a los estudios bibliométricos, cuantitativos e informáticos en México", *Informação & Sociedade*, 26, 1: 51-71. Disponible en https://brapci.inf.br/_repositorio/2016/07/pdf_dd2e703784_0000020063.pdf
- Rico, A. (2018). *Manual avanzado Microsoft Excel 2016*. [s/l]: RICOSOFT. Informática Profesional. Disponible en <https://siempreexcel.com/wp-content/uploads/2019/12/Curso-experto-Excel-2016.pdf>
- Sharma, P., Gupta, B. M. y Kumar, S. (2002). "Application of growth models to science and technology literature in research specialities", *DESIDOC Bulletin of Information Technology*, 22, 2: 17-25. Disponible en <https://search-proquest-com.pbidi.unam.mx:2443/docview/57557784/423BADAA27E94237PQ/1?accountid=14598>
- Stewart, J., Redlin, L., y Watson, S. (2012). *Precálculo Matemáticas para el Cálculo*. México: Cengage Learning. Disponible en http://ftp1.unimeta.edu.co/calculus/multivariable/books/precaculo_-matematicas_para_el_calculo-1.pdf
- Stewart, J. (2010). *Cálculo de una variable: Conceptos y contextos*. México: Cengage Learning Editores. Disponible en <https://www.elsolucionario.org/calculo-conceptos-y-contextos-james/>
- Tamiya, H. (1931). "Eine mathematische Betrachtung über die Zahlenverhältnisse der in der Bibliographie von Aspergillus zusammengestellten Publikationen", *The Botanical Magazine*, 45, 530: 62-71. Disponible en <http://periodicos.unb.br/index.php/RICI/article/download/2469/2198>
- Torres-Degró, A. (2011). "Tasas de crecimiento poblacional (r): Una mirada desde el modelo lineal, geométrico y exponencial", *CIDE digital*, 2, 1: 143-162. Disponible en <https://revistas.upr.edu/index.php/cidedigital/article/view/11774/9736>

- Torres-Salinas, D. (2020). "Ritmo de crecimiento diario de la producción científica sobre Covid-19. Análisis en bases de datos y repositorios en acceso abierto", *El profesional de la información*, 29, 2. Disponible en [https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/61153/290215_Torres Salinas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/61153/290215_Torres_Salinas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Urbizagástegui-Alvarado, R y Restrepo-Arango, C. (2017). "Crecimiento de la literatura sobre bibliometría, informetría y cienciometría en el Brasil", *RICI: Revista Iberoamericana en Ciência da Informação, Brasília*, 10, 1: 6-31. Disponible en <http://periodicos.unb.br/index.php/RICI/article/download/2469/2198>
- Vasquez, O., Orellana Parra, M., e Hinojosa Caballero, A. (2017). "Desarrollo de modelos polinomiales para el cálculo de densidad de materiales azucareros en función del °Brix y temperatura y su aplicación a sistemas informáticos", *Revista científica Ciencia Tecnología* (II Jornada de Investigación Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil), 7, 16: 167-181. Disponible en <http://cienciaytecnologia.uteg.edu.ec>
- Wilson, P. W. y Fred, E. B. (1935). "The growth curve of a scientific literature: nitrogen fixation by Plants", *The Scientific Monthly*, 41, 3: 240-250. Disponible en <https://www.jstor.org/stable/16040>
- Zakutina, G. P. y Priyenikova, V. K. (1983). *Característica y análisis del flujo de los documentos primarios*. La Habana: IDICT.

Anexos

Tabla 1. Distribución de artículos y citas por mes

Mes	Cantidad Artículos	%	Cantidad Citas	%
Enero	154	2.78	1914	2.29
Febrero	66	1.19	15446	18.47
Marzo	300	5.41	17942	21.46
Abril	812	14.64	16845	20.15
Mayo	1667	30.06	16780	20.07
Junio	2547	45.92	14682	17.56
Σ	5546	100.00	83609	100.00

Tabla 2. Conjunto de matrices (4x4) utilizado en la solución del Sistema de Ecuaciones por el método de eliminación de Gauss-Jordan

6	15	55	225	83609
15	55	225	979	242395
55	225	979	4425	874349
225	979	4425	20515	3522967

1	2.5	9.16666667	37.5	13934.83333
0	17.5	87.5	416.5	33372.5
0	87.5	474.833333	2362.5	107933.1667
0	416.5	2362.5	12077.5	387629.5

1	0	-3.333333	-22	9167.33333
0	1	5	23.8	1907
0	0	37.333333	280	-58929.3333
0	0	280	2164.8	-406636

1	0	0	3	3905.78571
0	1	0	-13.7	9799.32143
0	0	1	7.5	-1578.46429
0	0	0	64.8	35334

1	0	0	0	2270	Término independiente
0	1	0	0	17270	x
0	0	1	0	-5668	x^2
0	0	0	1	545.28	x^3

$$y = 545.28x^3 - 5668x^2 + 17270x + 2270$$

Tabla 3. Distribución de las principales Áreas de Investigación por mes, según cantidad de artículos

enero	febrero	marzo	abr	mayo	junio
Microbiology	General & Internal Medicine	General & Internal Medicine	General & Internal Medicine	General & Internal Medicine	General & Internal Medicine
Immunology	Infectious Diseases	Infectious Diseases	Infectious Diseases	Public, Environmental & Occupational Health	Public, Environmental & Occupational Health
Education & Educational Research	Public, Environmental & Occupational Health	Public, Environmental & Occupational Health	Research & Experimental Medicine	Research & Experimental Medicine	Infectious Diseases
Infectious Diseases	Pharmacology & Pharmacy	Pharmacology & Pharmacy	Microbiology	Infectious Diseases	Science & Technology-Other Topics
Psychology	Virology	Life Sciences & Biomedicine-Other Topics	Infectious Diseases	Environmental Sciences & Ecology	Surgery
Cardiovascular System & Cardiology	Oncology	Oncology	Environmental Sciences & Ecology	Immunology	Environmental Sciences & Ecology
General & Internal Medicine	Research & Experimental Medicine	Research & Experimental Medicine	Science & Technology-Other Topics	Science & Technology-Other Topics	Health Care Sciences & Services
Pharmacology & Pharmacy	Microbiology	Microbiology	Biotechnology & Applied Microbiology	Biotechnology & Applied Microbiology	Microbiology
Public, Environmental & Occupational Health	Parasitology	Parasitology	Biochemistry & Molecular Biology	Biochemistry & Molecular Biology	Cardiovascular System & Cardiology
Total de Artículos en 50 Áreas de Investigación	70.67%	89.74%	Total de Artículos en 17 Áreas de Investigación	50.87%	Total de Artículos en 66 Áreas de Investigación
225	225	78	78	2235	379
Cant. Art.	Cant. Art.	Cant. Art.	Cant. Art.	Cant. Art.	Cant. Art.
72	34	27	337	367	216
34	8	8	162	216	155
23	7	7	99	138	138
22	6	6	94	93	138
16	6	6	93	86	126
14	7	7	74	74	113
14	5	4	72	72	104
13	5	4	62	62	98
11	5	2	58	58	89
11	2	2	1137	1137	1544
230	60.69%	60.69%	Total de Artículos en 104 Áreas de Investigación	43.36%	Total de Artículos en 108 Áreas de Investigación
379	379	379	1014	3561	3561
Cant. Art.	Cant. Art.	Cant. Art.	Cant. Art.	Cant. Art.	Cant. Art.

Tabla 4. Índice de Coautoría (ICa) y Tasa de Documentos Coautorados (TDC) por mes

Mes	Autores	Artículos	ICa	TDC
Enero	1065	154	6.92	0.86
Febrero	631	66	9.56	0.91
Marzo	2117	294	7.20	0.89
Abril	5199	810	6.42	0.90
Mayo	11632	1664	6.99	0.89
Junio	17260	2542	6.79	0.91
TOTAL	37904	5530	7.31	0.89

Investigación y Metría de la Información sobre COVID-19: diversos enfoques de la pandemia, fue editado por el Instituto de Investigaciones Bibliotecológicas y de la Información/UNAM. Coordinación editorial, Anabel Olivares Chávez; revisión especializada y revisión de pruebas, Valeria Guzmán González y LOGIEM, análisis y soluciones S. de R.L. de C.V.; formación, Mario Ocampo Chávez. Fue impreso en los talleres de Gráfica Premier S.A. de C.V. en papel cultural de 90 g. Se terminó de imprimir en septiembre de 2021.