



Proyecto de Investigación

Título:

**Predicción para el Fenómeno del Niño
en los Años 2015 a 2017**

Investigador:

Alcides Iván Meza Muñoz

San Pedro Sula, Cortés, Honduras Junio de 2023

Predicción para el Fenómeno del Niño en los Años 2015 a 2017

Alcides Iván Meza Muñoz
ameza@ucenm.net
Master en Administración de Empresas

RESUMEN

La predicción de los fenómenos del cambio climático es vital para la sobrevivencia de ciertos países. Honduras ha sido varias veces incluido en la lista de los tres países más afectados del mundo por los impactos del cambio climático. Los actuales estándares de pronóstico son limitados debido a restricciones metodológicas. Nuevos métodos científicos deben ser agregados a los actuales procedimientos. En este artículo, introducimos el método de la concreción, el método de la deducción cualitativa y el método de la intuición científica, aplicados a los procesos de pronóstico del ENSO, en los fenómenos que envuelven a los eventos del cambio climático que afectan destructivamente a Honduras. Esta metodología científica se usó para mejorar el trabajo científico de predicción acerca del ENSO en el año 2015, lográndose resultados acertados. La predicción supuso una extensión del fenómeno de El Niño adentrándose en los años 2016 y 2017, en forma continua, y al mismo tiempo asumiendo la formación de un El Niño fuerte. Ambas predicciones fueron exactas. El artículo también consideró los desastres provocados por las tormentas y los huracanes que en modo recurrente atacan el territorio hondureño, su categorización y su periodicidad.

Palabras clave: Cambio climático · Pronóstico del ENSO · El Niño · Metodología científica · Sequía · Honduras.

ABSTRACT

Predicting climate change phenomena is vital for certain countries survival. Honduras has been several times listed between the first three most affected countries in the world by climate change impacts. Actual prediction standards are limited because of methodological restrictions. New scientific methods must be added to actual procedures. In this article we introduced the concretion method, the quality deduction method and the scientific intuitional method, applied to ENSO prediction procedures and involving Honduran destructive climate change events. This scientific methodology was used to enhance ENSO 2015 prediction scientific work, getting up successful results. The prediction supposed an extension of El Niño phenomenon through 2016 and 2017, continuously, also assuming a strong El Niño. Both predictions were accurate. The article also considered the disaster storms and hurricanes that recurrently attack Honduran territory, their categorization and their periodicity.

Keywords: Climate change · ENSO forecast · El Niño · Scientific methodology · Drought · Honduras

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un fenómeno de carácter global para todo el planeta tierra, pero su comportamiento en las zonas regionales y locales no es uniforme, sino en su mayoría muy diferenciadas (Gentle et. al, 2014). Así es el caso de que los efectos climáticos adversos tienen impactos distintos en el territorio de Guatemala, con respecto a los territorios de Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá. Hay algunas pequeñas asociaciones homogéneas entre territorios, predominando, en general, las diferencias sustanciales. Por ejemplo, en todo el continente americano sólo existen dos golfos hacia el océano Pacífico ligados al cambio climático, a saber, el Golfo de Fonseca (que es el más grande y el más importante en el proceso de calentamiento global del planeta) y el pequeño Golfo de Chiriquí, en el oeste del territorio panameño. Ambos golfos son pasos de tránsito preferentes del calor entre el océano Pacífico y el océano Atlántico. La diferencia entre ambos es que mientras el Golfo de Fonseca, situado entre El Salvador, Honduras y Nicaragua, siempre está activo en el tránsito de calor entre los dos más grandes océanos del mundo, el pequeño Golfo de Chiriquí se activa como paso de calor por temporadas y no en forma permanente. Con la intensificación del calentamiento, la intervención del Golfo de Chiriquí aumenta. (<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/enso/sst>).

Por su ubicación de tránsito permanente de energía calorífica entre océanos, el territorio hondureño tiende a concentrar efectos especiales de impacto del cambio climático, con la periodicidad y la diversidad características de los fenómenos climáticos derivados del calentamiento global. Esta situación ha convertido a Honduras en uno de los países más afectados del mundo, hasta ahora, por el cambio climático. Sin embargo, esta situación no es estable y la evolución del calentamiento global está generando modificaciones que podrían mejorar o empeorar estas ocurrencias de fenómenos.

Los pronósticos acerca de los eventos del cambio climático tienen muy serias limitaciones. Por lo general, las predicciones acerca del fenómeno de El Niño están muy

arraigadas a lo que ocurre en los meses previos a la predicción y se aplican a unos pocos meses después de la predicción, aventurándose a extender el pronóstico a lo sumo hasta el siguiente año, en sus inicios. Las predicciones están basadas en modelos matemáticos probabilísticos, es decir, tomando los datos cuantitativos mensuales previos y asumiendo una cierta estabilidad del comportamiento climático con respecto a esas variables.

1. El cambio climático

El fenómeno del cambio climático es básicamente un proceso natural, que viene ocurriendo desde hace miles de millones de años (Regmi, 2013). Podemos decir que no es un evento creado por los seres humanos, pero sí conviene entender que es un proceso natural que ha sido alterado por la actividad económica, industrial y de vida de los seres humanos. En los últimos 273 años, la civilización humana ha contribuido muchísimo para acelerar el comportamiento del fenómeno natural de la variación climática.

La participación humana en la interrupción del cambio climático natural ha sido tan decisiva, que estamos viviendo ahora uno de los muy pocos y muy raros momentos en los que el planeta Tierra, a lo largo de más de 5,000 millones de años, ha llegado a la extinción total de las especies biológicas habitando el planeta, o ha llegado muy cerca de la extinción total. Y esto ha ocurrido sólo unas 5 a 7 veces en toda la historia del planeta.

¿Cuándo ha sucedido la extinción total de la vida biológica en la Tierra? Cuando la Tierra se ha congelado toda por millones de años, y cuando la atmósfera terrestre ha alcanzado una concentración de dióxido de carbono en la franja de las 500 partes por millón hasta las 900 partes por millón. Desde el mes de septiembre de 2016, ya estamos circulando en la franja de las 400 ppm a las 500 ppm (Krzaczek, 2017). Lo usual durante el último millón de años es que el planeta se enfríe al máximo cuando la concentración de CO₂ baja hasta aproximadamente 180 ppm, y se caliente al máximo cuando dicha

concentración sube hasta alrededor de 280 ppm. El rango del movimiento calorífico cíclico es en promedio de apenas 100 ppm.

Como resultado de la contaminación industrial de la atmósfera y del deterioro del ambiente natural, durante los últimos 273 años hemos acumulado un aumento de concentración de CO₂ cercano a las 200 ppm. Entre los años 1700 y 1815, con un valor máximo alrededor del año 1750, las anomalías de temperatura tuvieron el incremento más acelerado en el período 1200-1815; pero ese incremento luego se revirtió, llegando a un valor similar al valor inicial del período. Las erupciones volcánicas intensas de los años 1809 y 1815, contribuyeron en gran medida a disminuir las anomalías (Earle, 2023). A partir del año 1816, se recuperó la tendencia del período 1700-1815, llegando al mismo valor máximo del año 1750, y no se presentó hasta ahora ningún proceso de reversión de los incrementos en las anomalías de temperatura. Desde un poco antes del siglo XX, por el año 1890, la tendencia se modificó y pasó a ser un proceso de calentamiento acelerado, y en lo que ha avanzado el siglo XXI, el aumento de temperatura pasó de lineal a exponencial (Mann, 2016).

El cambio climático es un fenómeno sumamente complejo y no se puede reducir su comprensión a considerar que es únicamente el resultado de los gases de efecto invernadero, y mucho menos se le puede reducir a los efectos de la concentración del gas dióxido de carbono en la atmósfera. Como fenómeno natural, depende de todo lo que ocurre en el sistema solar, la ubicación de los demás planetas, el comportamiento físico de la estrella que conocemos como nuestro Sol, de los movimientos propios del planeta Tierra, de los ciclos de radiación solar, de los eventos provocados por los volcanes y las placas tectónicas, de las caídas de meteoros y lluvias de meteoritos, de la generación terrestre de varios gases como el metano, el dióxido de carbono, el óxido nitroso, y otros gases de efecto invernadero, de la cobertura vegetal en la superficie de los continentes y en la superficie de los océanos, de las nubes y los vientos atmosféricos, de la capa de ozono, y ahora hasta de las guerras humanas (Vicuña, 2011; Regmi, 2013).

2. El efecto invernadero

Cuando hablamos de “efecto invernadero” dentro del tema del cambio climático, nos referimos al proceso por el cual se bloquea el paso de una parte de la radiación calorífica que en forma natural es devuelta por el planeta Tierra al espacio exterior, contribuyendo de este modo a “enfriar” el clima del planeta. La radiación solar que llega y penetra la atmósfera terrestre es absorbida por los sistemas físicos de la Tierra, pero una parte es reflejada y devuelta al espacio exterior que rodea a la Tierra. Por ejemplo, el hielo de los casquetes polares y el hielo de los glaciares en las elevadas montañas, reflejan una parte de la radiación solar y la devuelve al espacio; otro tanto ocurre con las nubes y con la cobertura vegetal y mineral de la corteza terrestre.

El bloqueo ocurre naturalmente, al interponerse los gases disueltos en la atmósfera, que absorben una parte de la energía calorífica que es enviada al espacio exterior, y finalmente la devuelven hacia el interior del planeta. Cuando la concentración en partes por millón, o en partes por billón, de estos gases, se incrementa, entonces la cantidad de radiación calorífica devuelta a la superficie terrestre también aumenta. Esto provoca un incremento de la temperatura ambiental en la superficie terrestre (Mann, 2016).

3. Una visión matemática fundamental sobre el cambio climático

El planeta Tierra es una cuasi-esfera o esferoide. La inmensa mayoría de los fenómenos físicos que la acompañan toman un aspecto de evento cíclico o circular. Esto no se nota fácilmente a simple vista porque es una abstracción en la realidad física, debido a que muchos otros fenómenos, cíclicos o circulares o parabólicos o cónicos o lineales o exponenciales, intervienen y modifican la presentación final de los procesos físicos subyacentes.

La forma más básica para representar los procesos cíclicos es la función matemática seno X , siendo X la variable cuantitativa que deseamos representar. Esta es una función acumulativa, cíclica, repetitiva al infinito, que en el círculo unitario varía por períodos de cuatro cuadrantes. En cada grupo de cuatro cuadrantes ($0-90^\circ$, $90-180^\circ$,

180-270° y 270-360°), el valor del seno fluctúa entre el valor 0, el valor +1 y el valor -1. En el primer cuadrante, el seno acumula valor entre el 0 y el +1; en el siguiente cuadrante, la función seno desacumula, yendo desde ese valor máximo de +1 hasta el valor 0 de nuevo; en el tercer cuadrante, el seno X vuelve a acumular, pero esta vez acumula valores negativos, yendo desde 0 hasta el valor mínimo de -1; finalmente, en el último cuarto cuadrante, la función seno X desacumula los valores negativos y regresa al valor inicial de 0.

Todo el anterior movimiento cuantitativo es una expresión relativa al criterio humano de establecer un valor promedio inicial igual a cero. Este valor cero actúa como una cantidad de apoyo, como un referente para medir los diferenciales y sus tendencias.

¿Por qué es importante esta visión cuantitativa del cambio climático y sus procesos físicos conexos? Porque este comportamiento matemático subyace en el cambio climático y en los demás procesos climáticos. En la naturaleza de este planeta vivo, en su geovida, la norma es la repetición cíclica rápida y prolongada de la mayoría de sus procesos naturales. Esta formación repetitiva es la que garantiza la estabilidad de la vida en el planeta. La disrupción de esta relativa estabilidad cíclica repetitiva siempre significa una amenaza, un riesgo, para poner fin a lo que el planeta, como planeta vivo, ha logrado.

En el transcurso de las 24 horas de cada día, en la luminosidad radiante del Sol, se dan los cuatro períodos acumulativos y desacumulativos de la función sinusoidal o función seno X. La luminosidad diurna inicia con la salida del Sol por la mañana, llega a un punto máximo al mediodía, luego disminuye hasta la puesta del Sol por la tarde, y continúa con la luminosidad “negativa” del período nocturno, hasta volver a arrancar el mismo proceso cuantitativo al día siguiente. Además de la luminosidad radiante solar, igual ocurre con la temperatura ambiental diurna y nocturna.

Podemos observar ese comportamiento matemático durante el año con las estaciones climáticas, considerando ahora la temperatura en el ambiente. Aquí, los cuadrantes comprenden períodos de tres meses. En el verano, hay una acumulación

positiva de calor, hasta llegar a un valor máximo; luego, en el otoño, tenemos una des acumulación que baja el calor acumulado hasta una cantidad intermedia anual; en el invierno, se pasa a los valores “negativos”, y se acumula frío, hasta llegar al frío extremo (el valor de calor más negativo); y luego, en la primavera se des acumula el frío para volver al punto inicial del ciclo anual.

En los dos procesos naturales referidos en los párrafos anteriores, observados en la realidad física, notamos muchísimas variaciones. Las variaciones se explican considerando que en el mundo físico del planeta siempre están interactuando muchísimos factores que inciden en cada uno de los fenómenos naturales. Está, por ejemplo, el efecto de los océanos, su acumulación de energía calorífica proveniente de la radiación solar, especialmente en la zona ecuatorial, y los movimientos de energía calorífica y criogénica que se detectan en las grandes corrientes marinas oceánicas, incluido su movimiento vertical dentro del océano (Regmi, 2013). También están siempre presentes las enormes corrientes de viento atmosférico que actúan en todas las regiones terrestres. Y hay que incluir los eventos y la influencia de los dos casquetes polares que lanzan y desplazan masas enormes de frío, humedad, nubes, lluvia, nieve, granizo y hielo hacia el resto del planeta.

4. Los cuadrantes sinusoidales del cambio climático natural

No es sorprendente que el cambio natural del clima en el planeta tenga un comportamiento sinusoidal. Digamos que el “equilibrio” climático se rompe -el planeta se calienta- cuando cambia la concentración del dióxido de carbono, pasando de 230 ppm (que sería el valor intermedio, o el “cero” sinusoidal) y subiendo hasta un valor de 280 ppm, en cuyo valor tendría el aumento máximo de la temperatura promedio de todo el planeta. El cambio hacia arriba o hacia el calentamiento es de 50 ppm. Es el comportamiento sinusoidal promedio que se supone ha venido sucediendo durante los últimos cientos de miles de años. Alrededor de las 280 ppm, el cuadrante acumulativo positivo de calor termina. Después, en el segundo cuadrante sinusoidal, sigue el proceso des acumulativo de calor, el clima de la Tierra retorna a la concentración de 230 ppm en

el dióxido de carbono contenido en la atmósfera. A continuación, se pasa al tercer cuadrante, con la acumulación “negativa” de calor, es decir, se acumula frío, se produce una era de frío o edad de hielo. El valor máximo de frío, o el valor mínimo de calor, se alcanza cuando se llega a las 180 ppm (en promedio). Finalmente, en el cuarto cuadrante sinusoidal, se des acumula el frío, el valor “negativo” de calor, y se retorna al punto cíclico inicial en las 230 ppm.

En el párrafo anterior se ha intentado describir en términos sinusoidales el comportamiento natural del fenómeno del cambio climático que viene efectuándose en el planeta en los últimos cientos de miles de años. Para cada ciclo sinusoidal unitario completo, en promedio, le toma a la Tierra alrededor de los 100 mil años, y -en promedio- además, tendríamos un valor aproximado de 25 mil años para cada cuadrante. La mitad, o sea 50 mil años, sería un proceso completo de calor y los otros 50 mil años, un proceso completo de frío. Las variaciones reales son muy grandes, sin embargo, y se han presentado duraciones hasta de millones de años de frío o de calor, por eventos inesperados.

Ahora, en el período histórico actual, la actividad industrial contaminante humana (no toda la industria contamina la atmósfera, y si lo hace, no lo hace de la misma forma), ha trastornado profundamente este ciclo natural. Y no lo ha hecho en varios miles de años, sino en apenas 273 años (Earle, 2023). Sin embargo, se puede marcar un cambio drástico en el aceleramiento de la contaminación atmosférica a partir del año 1890, aproximadamente, con una primera fase más estable hasta concluir con un proceso industrial contaminante muy agresivo, de carácter exponencial, a partir del año 1960 (IPCC, 2019). En el transcurso de las dos guerras mundiales, se nota en los registros climáticos un aumento sustancial de la temperatura promedio del planeta durante los años de las guerras, pero luego se retorna a la tendencia normal que se traía. Muchas personas pensarán que entonces las guerras no afectaron el clima, lo cual es un craso error al pensar. El proceso climático de la Tierra es tan grande, tan complejo, tan voluminoso, que da la apariencia que “absorbe” los calentamientos provocados por las

dos grandes guerras mundiales y que no le afecta. La absorción es uno de tantos fenómenos subyacentes, que guardan el efecto y lo diluyen en medio del proceso total, pero lo conservan, aunque ya no se siga notando.

5. El método de la concreción

Cuando se aborda el estudio de fenómenos naturales o sociales muy complejos, es común que se presenten antagonismos o simplemente variabilidad de tendencias en los efectos de los muchos factores incidentes. El reto intelectual es inmensamente superior cuando los efectos incidentes tienen la categoría de principios o aún leyes naturales y sociales.

En las circunstancias anteriores, no basta con resolver la contradicción asumiendo una o más preeminencias entre los factores categóricos involucrados. Por lo general, se requiere un estudio analítico, deductivo, inductivo, y de otras naturalezas metódicas, para valorar en forma específica cada una de las contribuciones al proceso total (Given, 2008).

Se aplica una confrontación dialéctica relativa y pormenorizada entre los pares y grupos o conjuntos de principios incidentes, dando el peso o importancia relativa más cercana a la realidad concreta, y su desenvolvimiento individual y dentro del conjunto total, para resolver sobre los efectos en su conjunto.

En el interior de los estudios climáticos es común aplicar esta metodología para esclarecer la complejidad del fenómeno climático. El antagonismo más trascendente que se da en este período histórico es el de la tendencia natural estándar hacia el enfriamiento del planeta, siguiendo el ciclo histórico natural de mayor valor estadístico esperado, y el proceso contrario de calentamiento global, creado artificialmente por la contaminación gaseosa industrial de la atmósfera. Esta tendencia natural estándar ya debería haber iniciado, y duraría en promedio y en forma continua hasta unos 50 mil años (Regmi, 2013). El fenómeno iniciaría con una marca de 280 ppm de dióxido de carbono en la atmósfera, y terminaría con una marca promedio de 180 ppm. En cierta

forma, los dos procesos antagónicos están ocurriendo al mismo tiempo, en los aspectos que no dependen directamente de la concentración atmosférica del CO₂ (Alba, 2023).

6. El método de la deducción cualitativa

La deducción es el método de inferencia racional más antiguo, desarrollado por la civilización griega y expuesto por el filósofo Aristóteles. La deducción es la inferencia verdadera de un caso particular o individual, basada en la pertenencia o inclusión del caso particular dentro de una teoría o premisa de conocimiento, de carácter general, asociada a otra teoría o premisa de conocimiento de carácter más particular, y cuyos valores de verdad son reconocidos e incuestionables.

En la ciencia moderna actual, la deducción utiliza premisas con valores de verdad probabilísticos, sujetos a prueba y comprobación, para generar hipótesis, nuevas teorías y sub-teorías. Esto amplía la potencialidad del procedimiento científico (Given, 2008).

La deducción tradicionalmente es un procedimiento cuantificador, que va de lo general a lo particular o individual. La inferencia deductiva reformula o transfiere conocimiento en forma lógica discursiva, y es un conocimiento que ya está implícito en las premisas.

Si la deducción se combina con otros métodos, técnicas y procedimientos científicos, es posible aplicarla en el sentido de descubrimiento, hipotético o sujeto a prueba, en la investigación cualitativa. Por ejemplo, si a base de una nueva categorización, propuesta para explicar más objetivamente un proceso cualitativo natural, o cualitativo-cuantitativo, es decir, con elementos cuantificables y basados en características, se logra deducir un nuevo comportamiento, o una nueva tipología de fenómeno natural, que contribuye a enriquecer la explicación racional de una realidad física en vía de investigación (Bingham, 2022).

La deducción tradicional usa premisas teóricas o de conocimiento que ya están reconocidas socialmente como verdaderas. La deducción cualitativa puede organizar sus propias premisas, asociando soportes en la realidad cualitativa primordialmente, con

aportes de otro tipo, y categorizando, tipificando, clasificando, observando, describiendo, etc., para proponer una inferencia lógicamente probable y sujeta a comprobación (Alba, 2023). Este tipo de deducción deja sujeto a comprobación el conjunto de premisas e inferencias, y produce como resultado la exposición inicial y final de valores de verdad, propuestos y verificados, para las inferencias y premisas preestablecidas (Hyde, 2000).

7. El método de la intuición científica

La intuición es uno de los métodos del pensamiento humano. Como se puede hacer con los demás métodos de pensamiento, normalmente también es factible disgregar a la intuición en varios niveles. La intuición científica es la forma de pensamiento más elevada, más compleja y más sofisticada.

Para llegar hasta la intuición científica, los científicos debemos acumular y afinar muchas experiencias, perfeccionando el dominio de principios, teorías, enfoques, doctrinas, técnicas, procedimientos, herramientas, y otros elementos de la creación de las ciencias. También se debe perfeccionar el uso de la subjetividad, enmarcando los criterios personales dentro de los ajustes objetivos con respecto a la realidad que se estudia.

La intuición tiene un fuerte aspecto proyectivo. Tiene un fundamento intelectual muy poderoso, que le permite proponer respuestas, enfoques, explicaciones y soluciones a los fenómenos y sus problemas de conocimiento, con una alta tasa de positividad, tal y como se logra cuando se utiliza un alto poder de inteligencia. Así, la intuición es un poderoso generador de hipótesis, planteamientos teóricos, tesis y doctrinas, con los que se logra realizar valiosos aportes al conocimiento humano (Alba, 2023).

En el siguiente reporte histórico que declara el estudio del comportamiento del fenómeno de El Niño, y sus formas de expresión centradas en el territorio hondureño, se aplicaron los tres métodos previamente esbozados. Se utilizó también los métodos

cuantitativos y sus modelos matemáticos, que conforman la actual ciencia del cambio climático y sus pronósticos.

8. El pronóstico estadístico del fenómeno climático ENSO

El fenómeno de El Niño que inició en el año 2014 ha llamado mucho la atención de los científicos del cambio climático. Este fenómeno se está comparando con el de 1997 y 1998. En varios aspectos ha sobrepasado al fenómeno de esos años.

Ilustración 1 Predicción de un fenómeno prolongado

The image is a screenshot of the National Weather Service Climate Prediction Center website. The header features the NOAA logo and the text 'National Weather Service Climate Prediction Center'. Below the header are navigation links for 'Home', 'Site Map', and 'News'. A search bar is located on the left side. The main content area displays the title 'EL NIÑO/OSCILACION DEL SUR (ENSO por sus siglas en inglés) DISCUSION DIAGNOSTICA' in large, bold letters. Below the title, it states 'emitida por el CENTRO DE PREDICCIONES CLIMATICAS/NCEP/NWS y el Instituto Internacional de Investigación de clima y sociedad Traducción cortesía de: WFO SAN JUAN, PUERTO RICO' and the date '9 de julio de 2015'. A red banner indicates the 'Estatus del Sistema de alerta del ENSO: Advertencia de El Niño'. A synopsis follows, stating: 'Sinopsis: Existe una probabilidad mayor de 90% de que El Niño continúe durante el invierno de 2015-2016 del Hemisferio Norte, y alrededor de 80% de que persista hasta temprano en la primavera del 2016.'

Fuente: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_jun2015/ensodisc.pdf

Los centros científicos internacionales coinciden en pronosticar con más del 90% de probabilidad que el fenómeno bienal de El Niño 2014-2015 se prolongará hasta el año 2016 y con aproximadamente un 80% de probabilidad de que se presentará en la primavera del año 2016 (ver Ilustración 1).

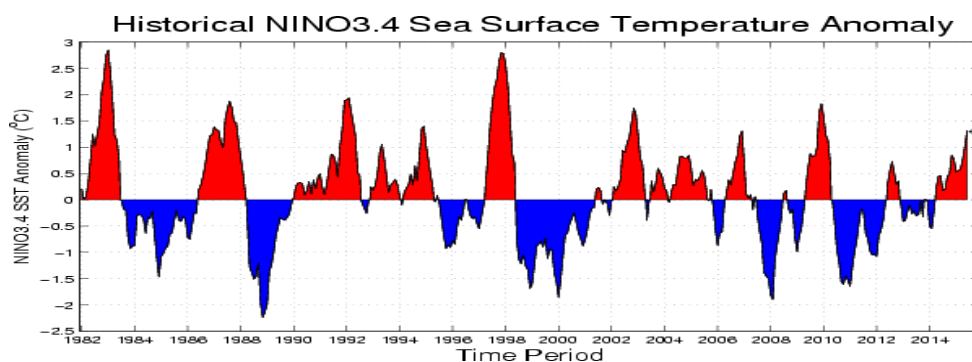
Un 90% de probabilidad significa que, si pudiésemos repetir muchas veces las mismas condiciones del evento, en una cantidad de 100 eventos similares ocurriría la predicción en aproximadamente 90 casos y en aproximadamente 10 casos no ocurriría. A mayor cantidad de eventos repetidos, la aproximación sería más exacta. ¿Pero qué

pasa si como está aconteciendo en el cambio climático, el evento es único, es decir, no esperamos que se repita? En esta situación, el pronóstico del modelo estadístico nos está diciendo que tengamos más precaución, prevención y protección basadas en la mayor probabilidad de ocurrencia que se indica.

Una aclaración importante es que cuando se pronostica la media de una variable estadística, es científicamente correcto señalar los valores mínimos y máximo entre los cuales se espera que ocurra la media estadística, y la probabilidad en la que estamos esperando que esa proyección ocurra. Sólo pronosticar el valor medio esperado no tiene en realidad ningún significado si no se aportan esos otros datos. Por ejemplo, COPECO pronosticó a principios del año 2015 que unas 36 mil personas serían afectadas por la sequía; es posible que los periodistas sólo tomaran el dato de la media, lo cual generó el error.

Los fenómenos de El Niño prolongados generalmente se presentan como fenómenos bienales repetidos. O sea que si el pronóstico de consenso científico mundial es que El Niño 2014-2015 se extenderá hasta el año 2016, la mayor posibilidad es que tendremos dos fenómenos El Niño bienales contiguos, un El Niño 2014-2015 y un El Niño 2016-2017. Para Honduras eso significa cuatro años continuos de sequías. Apenas estaríamos en la mitad del segundo año.

Ilustración 2 Fenómenos El Niño (en color rojo)

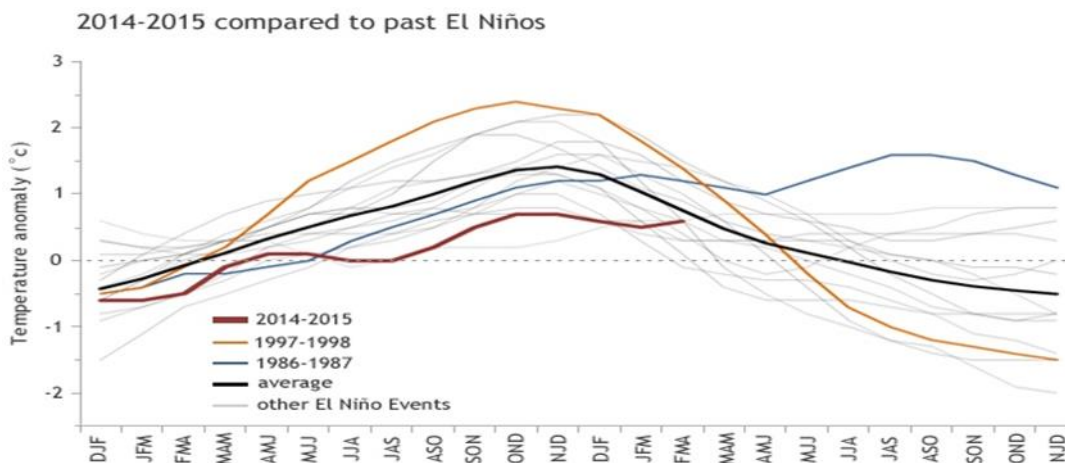


Fuente: <https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/2015-june-quick-look/>

En la Ilustración 2 puede notarse que después de los fenómenos El Niño fuertes y prolongados la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno La Niña (en color azul)

también fuerte y prolongado es muy alta. Después de varios años de sequía la mayor posibilidad es que aparezcan varios años de inundaciones.

Ilustración 3 Obsérvese que El Niño actual 2014-2015 tiene tendencia prolongada



Fuente: <https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/2015-june-quick-look/>

El fenómeno El Niño actual es muy débil, pero presenta la tendencia hacia prolongarse varios años más.

Todos los modelos científicos principales señalados en la Ilustración 4 coinciden en pronosticar la prolongación del fenómeno bienal 2014-2015 hasta un período posterior.

En la Ilustración 5 se muestra la correlación entre algunos fenómenos El Niño bienales, débiles, moderados e intensos, seguidos de fenómenos La Niña prolongados y entre ambos los huracanes destructores que destruyen la economía de Honduras.

En la Ilustración 6 se presenta la predicción actual del estado esperado de El Niño bienal 2014-2015 para los meses octubre, noviembre y diciembre (centrado en noviembre). Obsérvese que el calentamiento global del océano Pacífico se espera que afecte la costa oriental de África, desde el cuerno de África hasta la isla de Madagascar. Luego se espera que se concentre en Centro América extendiéndose hasta Perú.

Ilustración 4 Modelos científicos pronostican la extensión de El Niño

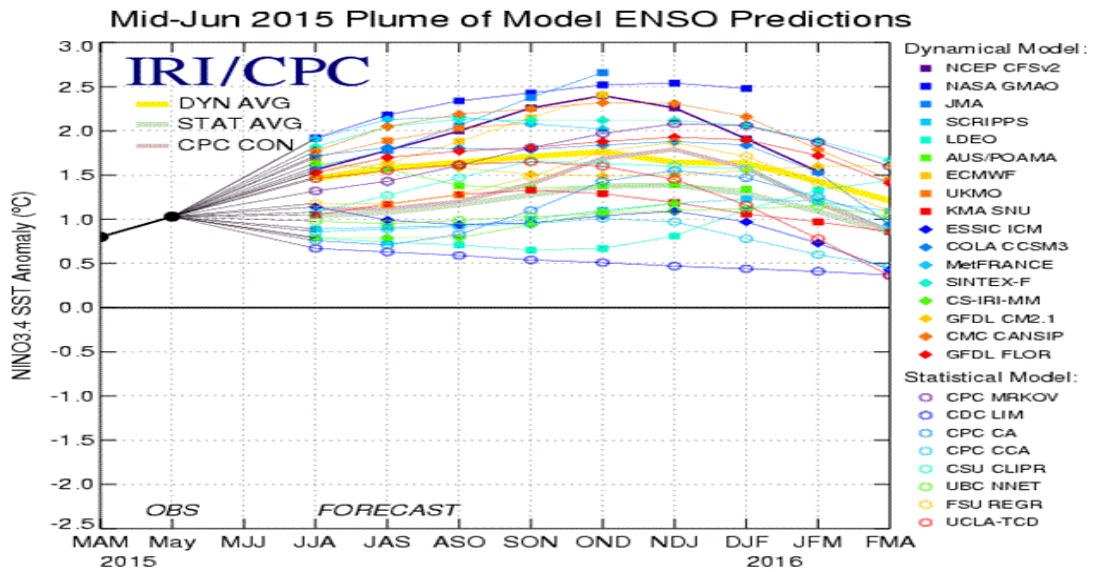
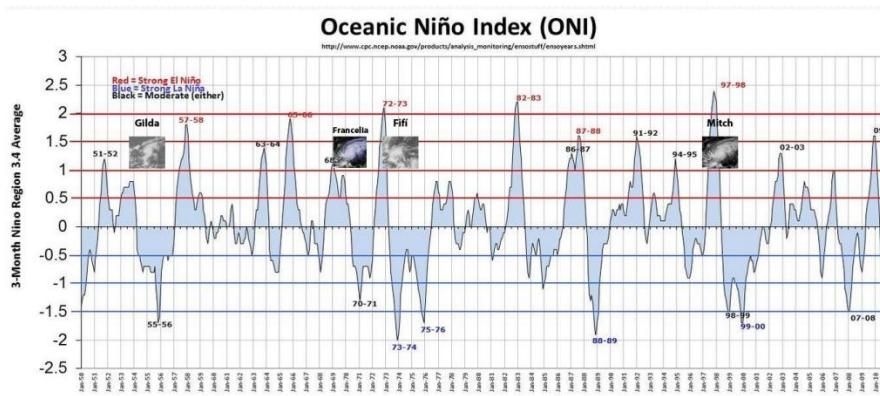


Figure 6. Forecasts of sea surface temperature (SST) anomalies for the Niño 3.4 region (5°N-5°S, 120°W-170°W). Figure updated 16 June 2015.

Fuente: enso_evolution-status-fcsts-web

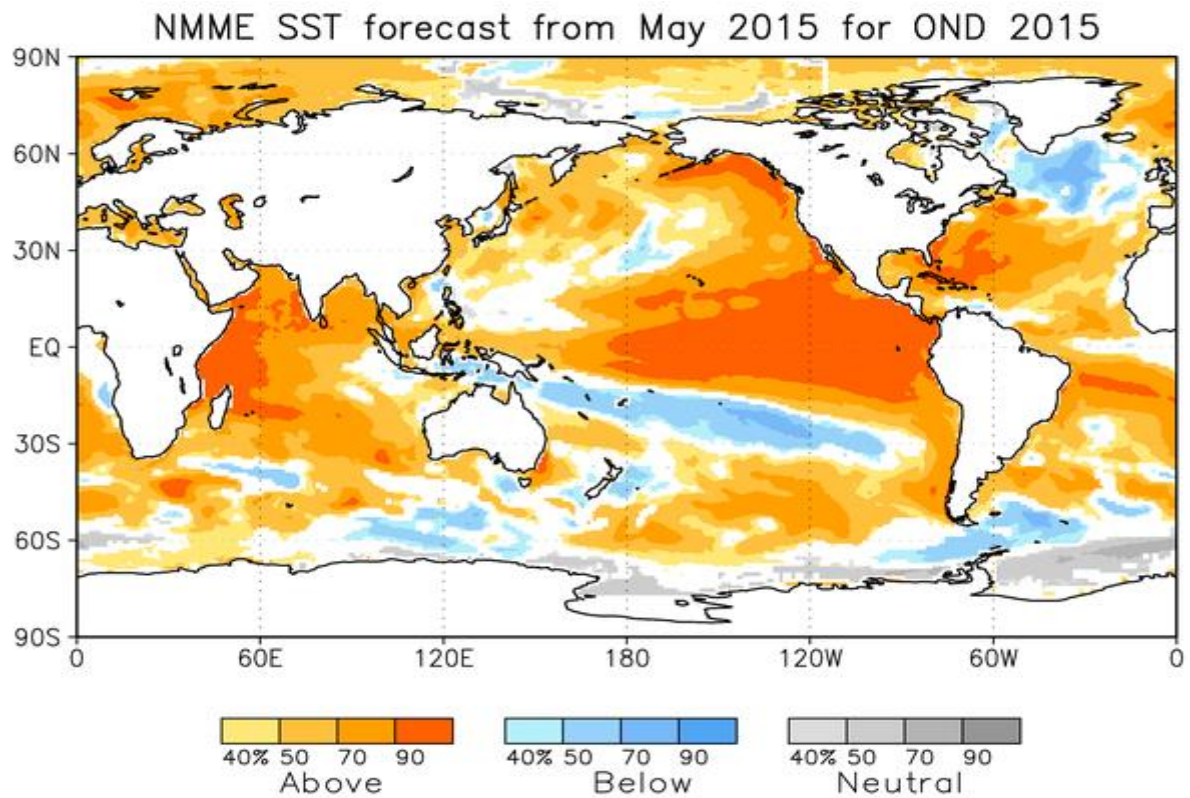
Ilustración 4 Fenómenos El Niño bienales y huracanes previos a La Niña prolongada



Fuente: [http:](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)

www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

Ilustración 6 El Niño 2014-2015 y pronóstico para noviembre 2015



Fuente: nmme_sst 23 julio 2015

El calentamiento global también afectará al Mar Caribe. Esta prolongación del calentamiento hasta el océano Atlántico, pasando por el estrecho istmo centroamericano, es decisivo para Honduras. El efecto se prolonga hasta circundar todo el planeta; a esto llamo “el cinturón de calentamiento global del planeta”, el que pasa de manera preferente a través del territorio hondureño. Es lo que convierte a Honduras en el país más vulnerable del mundo ante el cambio climático.

Honduras sufre de eventos atmosféricos extremos desde el año 1893. Veamos algunos datos históricos sobre estos eventos extremos. El Ing. Francisco Argeñal nos ha prestado valiosa colaboración sobre estos datos.

HONDURAS: EVENTOS CLIMATICOS EXTREMOS		
AÑO	EVENTO	PERIODO (años)
1893	Huracán I-2	inicio
1913	Huracán I-1	20
1934	Tormenta tropical / huracán	21
1954	Tormenta Gilda	20
1974	Huracán Fifi	20
1998	Huracán Mitch	24

Tomando sólo los fenómenos extremos que han tocado territorio hondureño, obtenemos una moda estadística de 20 años (con tres valores), un valor de 21 y un valor de 24. Estos valores tienen la tendencia de una distribución estadística no normal, siguiendo más una distribución estadística discreta de Poisson con un valor lambda de 1, y un período de recurrencia variando desde los 20 años hasta los 24 años.

En conclusión, estamos ante 4 posibles años de sequía continuos, período 2014-2017, provocados por el fenómeno de El Niño. Como el fenómeno se presenta débil, y también por efecto de los océanos sobre el territorio centroamericano, más otros efectos climáticos, se combina la sequía con períodos lluviosos que podrían provocar inundaciones.

El pronóstico para fines del año 2015 en cuanto a huracanes es que la tendencia es a una temporada débil de huracanes.

Ante varios posibles años de sequías intermitentes, las medidas de respuesta nacionales no se pueden basar únicamente en la bolsa solidaria que distribuye el gobierno por medio de COPECO. Es urgente asumir este riesgo de una manera más integral y más efectiva. En esto debemos participar todos y todas. El problema es de toda la nación hondureña; no se puede dejar toda la responsabilidad al gobierno. Y el

gobierno debe tener toda la flexibilidad y dinamismo para permitir e impulsar las acciones de las demás instituciones de la sociedad.

10 La concentración del CO₂ en la atmósfera terrestre

El componente físico natural más concluyente sobre el comportamiento del calentamiento global del planeta Tierra en este período histórico es la concentración del gas conocido como dióxido de carbono, o CO₂, en la atmósfera. Esta concentración del gas en la atmósfera sigue un proceso cíclico o circular, iniciando en un valor promedio de 230 ppm, con dos valores extremos en promedio, de 280 ppm y de 180 ppm.

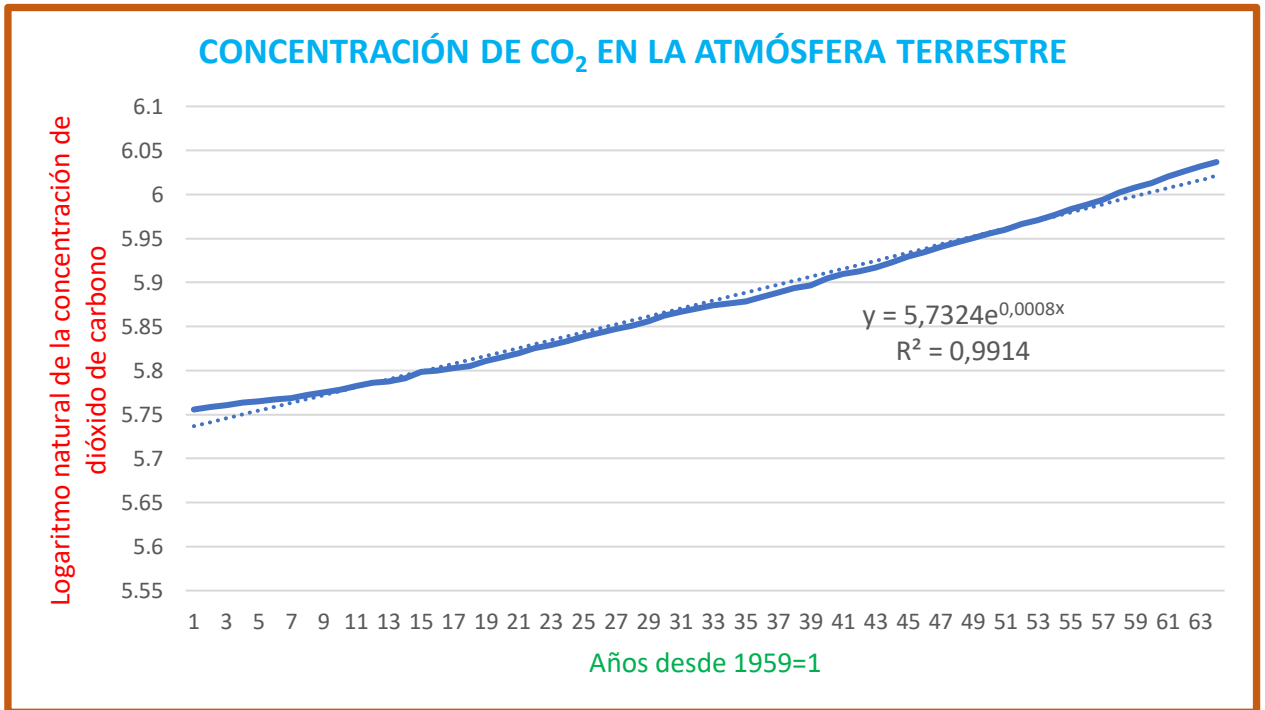
La inmensa mayoría de los datos u observaciones de laboratorio provienen del tratamiento de muestras de hielo de la Antártida, extrayéndolas de las profundidades del hielo ahí acumulado, y midiendo el gas en burbujas de aire atrapadas desde hace muchísimos años.

Las mediciones modernas se basan en estudios mensuales de muestras atmosféricas tomadas en el laboratorio de Mauna Loa, desde el año 1958 hasta el presente.

Muchos científicos aplican técnicas matemáticas de regresión para crear un solo modelo cuantitativo que, mientras abarca el total de datos muestrales de Mauna Loa, logre explicar el comportamiento total y permita pronosticar con bastante confiabilidad los valores futuros cercanos.

Al ser graficados los datos de Mauna Loa, desde el año 1959 hasta el año 2022, se aprecia un cierto comportamiento exponencial, no muy marcado, pero sí fácilmente deducible. Sin embargo, al aplicar el análisis cuantitativo de regresión exponencial, la curva de mínimos cuadrados tiene un aspecto de mucha linealidad, con demasiada desviación al principio y al final de la serie de datos (ver Ilustración 7).

Ilustración 5 Concentración de CO₂ en la atmósfera, en logaritmos



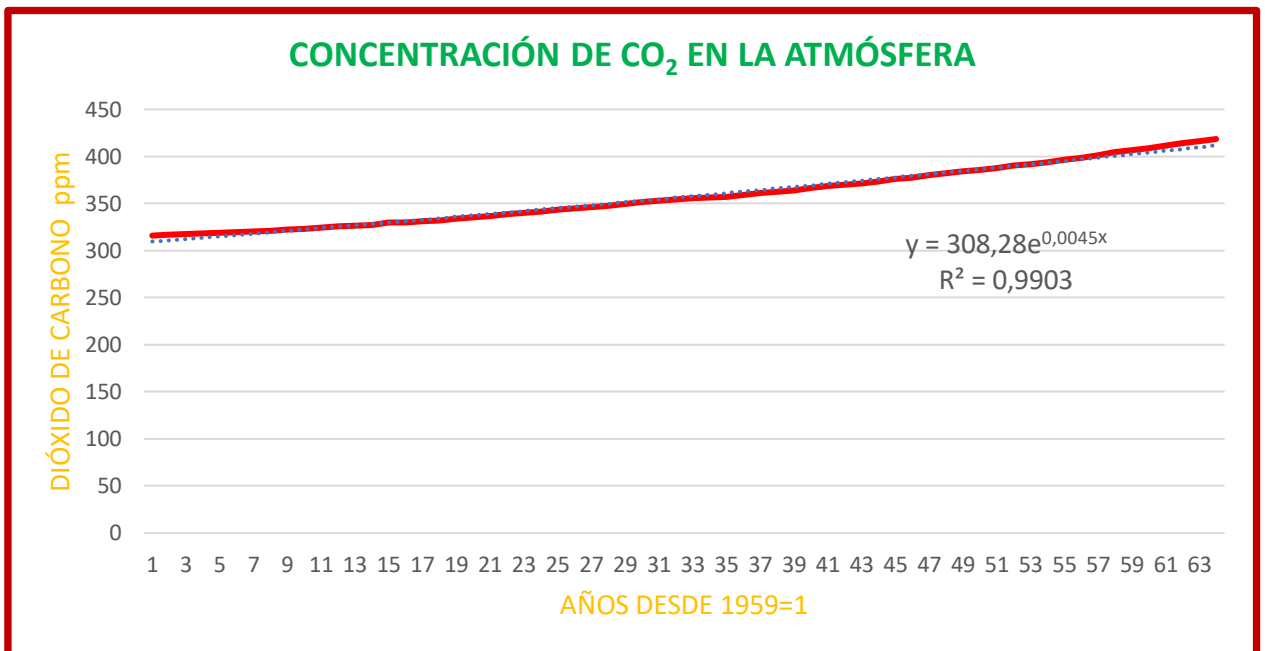
Fuente: datos originales del Observatorio de Mauna Loa, convertidos a logaritmo natural

En esta función matemática exponencial, el exponente del número natural e es $0.0008x$; este coeficiente cercano a cero indica que el comportamiento exponencial es ínfimo.

Muchos científicos matemáticos coinciden en que ni la regresión exponencial ni la regresión lineal logran crear un modelo adecuado para la descripción cuantitativa funcional de la serie de datos en el tiempo. Ellos y ellas concluyen que es mejor buscar un modelo alternativo para este caso.

Si se usan los datos originales en partes por millón de CO₂ en la atmósfera, el resultado es similar (ver Ilustración 8).

Ilustración 6 Concentración de CO₂ en la atmósfera

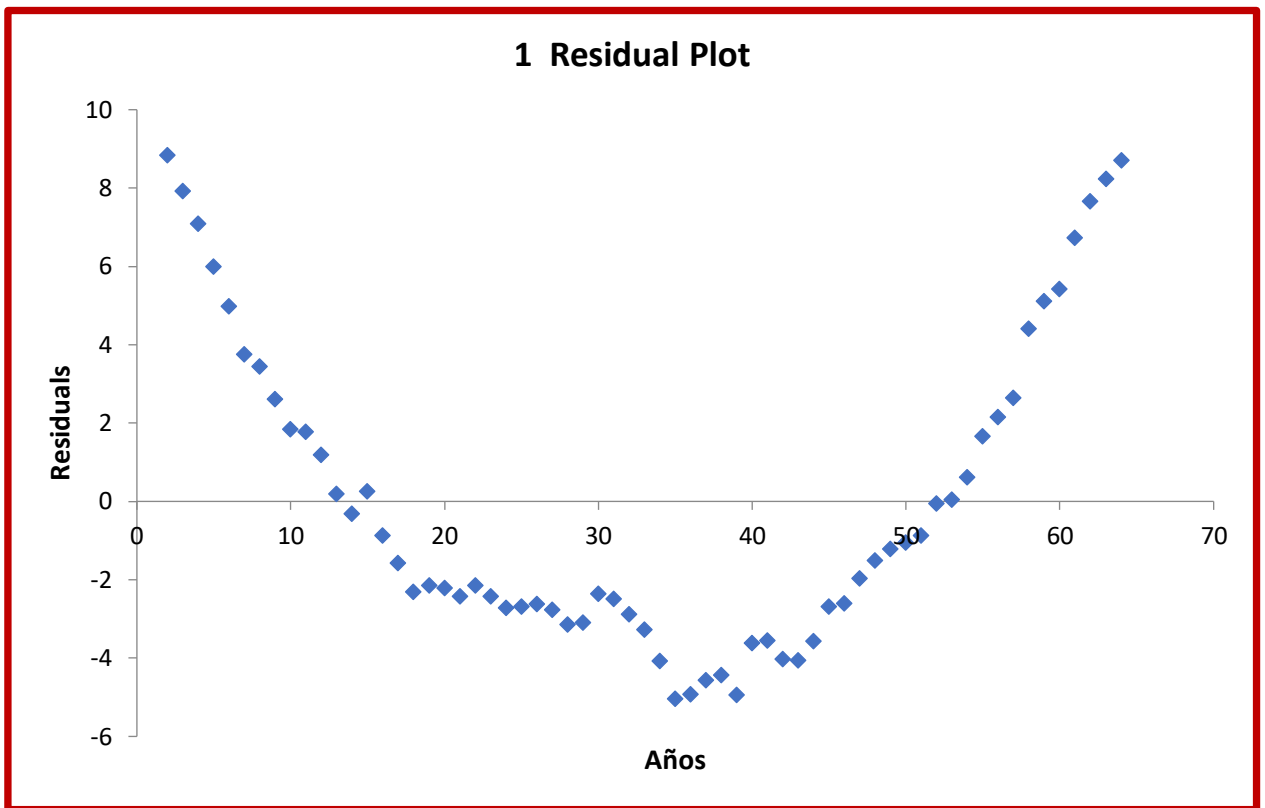


Fuente: datos originales del Observatorio de Mauna Loa

El valor inicial estimado por el modelo de regresión es 308 ppm de CO₂. Este valor estimado es inferior al valor real observado. El intercepto estimado es 305 ppm. La serie de datos observados inicia con 315,98 ppm y finaliza con 418,56 ppm.

La distribución de las desviaciones del modelo con respecto a los datos observados se muestra en la ilustración 9. Los valores residuales forman tres grupos, con valores positivos en los extremos y valores negativos en el centro. Los residuos no están distribuidos aleatoriamente. Por lo tanto, el modelo matemático de regresión exponencial para todo el conjunto de datos es ineficiente.

Ilustración 7 Distribución irregular de los valores residuales



Fuente: Análisis de regresión exponencial en Excel, datos originales de Mauna Loa

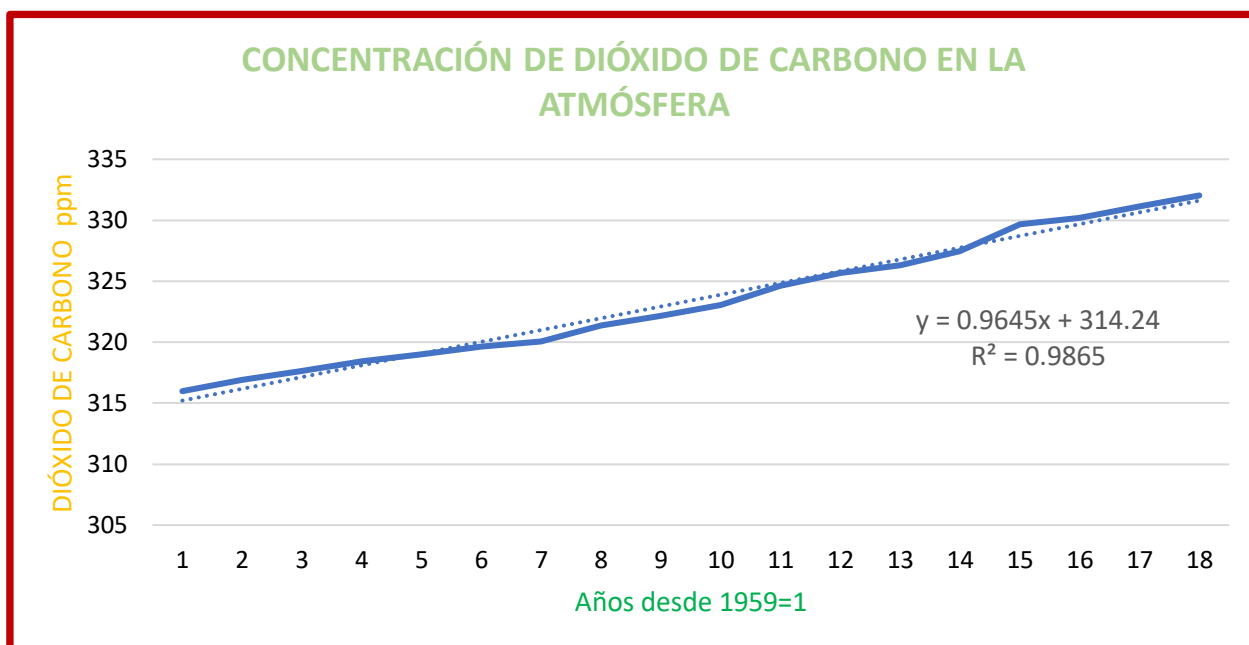
Se optó, entonces, por dividir el conjunto de datos en tres grupos, seleccionando los datos en base al comportamiento homogéneo en el tiempo. Se aplicó aquí el método de la concreción, el método de la deducción cualitativa y el método de la intuición científica.

CONCENTRACIONES CO2								
x	y	x	y'=ln y	xy'	x ²	y' ²	AÑO (y _n)	dif.
1	315,98	1	5,75567892	5,75567892	1	33,12783984	1959	
2	316,91	2	5,758617822	11,51723564	4	33,16167922	1960	0,93
3	317,64	3	5,760918666	17,282756	9	33,18818388	1961	0,73
4	318,45	4	5,763465477	23,05386191	16	33,2175343	1962	0,81
5	318,99	5	5,765159754	28,82579877	25	33,23706699	1963	0,54
6	319,62	6	5,76713279	34,60279674	36	33,25982062	1964	0,63
7	320,04	7	5,768445988	40,37912192	49	33,27496912	1965	0,42
8	321,37	8	5,772593107	46,18074486	64	33,32283118	1966	1,33
9	322,18	9	5,775110396	51,97599356	81	33,35190008	1967	0,81
10	323,05	10	5,77780711	57,7780711	100	33,383055	1968	0,87
11	324,62	11	5,782655267	63,60920794	121	33,43910194	1969	1,57
12	325,68	12	5,785915304	69,43098365	144	33,47681591	1970	1,06
13	326,32	13	5,787878495	75,24242044	169	33,49953747	1971	0,64
14	327,46	14	5,79136591	81,07912274	196	33,53991911	1972	1,14
15	329,68	15	5,798122487	86,97183731	225	33,61822437	1973	2,22
16	330,19	16	5,799668246	92,79469194	256	33,63615177	1974	0,51
17	331,12	17	5,802480847	98,64217441	289	33,66878398	1975	0,93
18	332,03	18	5,805225326	104,4940559	324	33,70064109	1976	0,91
171	5821,33	171	104,0182419	989,6165537	2109	601,1040559		16,05
Σx	Σy	Σx	Σy'	Σxy'	Σx ²	Σy' ²		

Se validó la bondad de ajuste en base al coeficiente de correlación de Pearson y su mayor aproximación al valor de 1. El primer grupo de datos abarcó desde 1959 hasta 1976, 18 datos.

Se aprecia el resultado del modelo de regresión lineal en la ilustración 10.

Ilustración 8 Concentración de CO₂ en la atmósfera, años 1959-1976



Fuente: datos originales del Observatorio de Mauna Loa

En este primer período de 18 años de la serie, el valor promedio de incremento anual en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera terrestre se calculó en

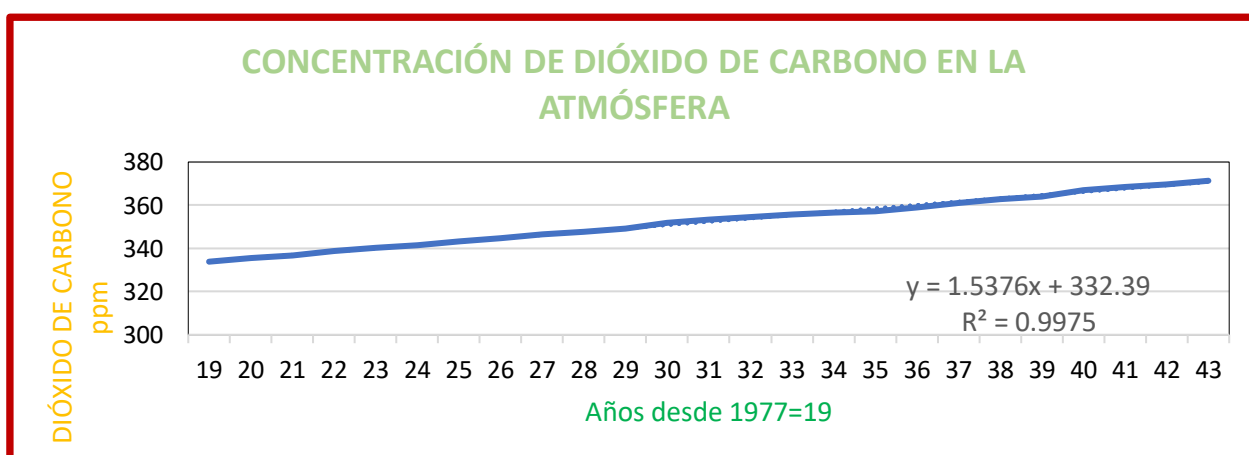
0,9645 ppm. La tasa anual de incremento es de casi 1 unidad de ppm. Con esta tasa anual, en un siglo se aumentaría la concentración en 100 ppm, aproximadamente. El valor inicial estimado del modelo es de 314,24 ppm, mucho más cercano al valor real observado de 315,98 ppm.

El segundo grupo de datos comprende los datos observados desde el año 1977 hasta el año 2001, para un total de 25 datos. La serie secundaria se inicia con el valor 333,84 ppm y finaliza con 371,32 ppm.

El coeficiente de correlación de Pearson fue mayor que el del primer grupo de 18 valores.

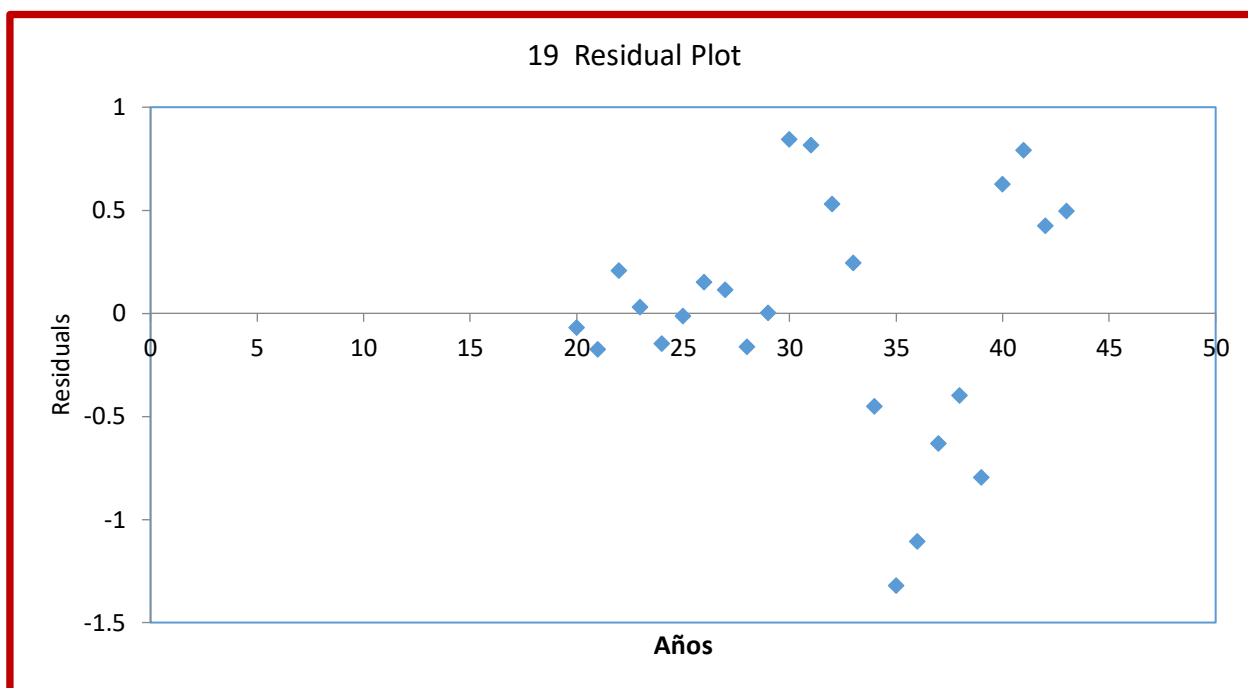
El valor inicial estimado por el modelo de regresión lineal fue de 332,39 ppm, muy cercano al valor observado de 333,84 ppm. La tasa de incremento anual de la concentración de CO₂ en la atmósfera subió a 1,5376 ppm en este período. El cambio en la tasa de incremento fue de 0,5731 ppm más en este segundo período, o sea, un aumento promedio cercano al 60% (ver Ilustración 11). La fuente de los datos es la misma anterior.

Ilustración 9 Concentración de CO2 período 1977-2001



Fuente: Análisis de regresión lineal en Excel, datos originales de Mauna Loa

Ilustración 10 Distribución aleatoria de los valores residuales



Fuente: Análisis de regresión lineal en Excel, datos originales de Mauna Loa

Los valores residuales claramente sugieren la alternancia de los cuadrantes sinusoidales típicos de los fenómenos naturales que se repiten en forma cíclica. Entre el año 30 y el año 40, se pasa de un valor casi 1 hacia un valor casi -1.5, y luego un retorno hacia un valor cero, que pasa a avanzar hacia un valor casi 1. En los primeros 10 años también se manifiesta, pero en forma más comprimida.

El último grupo de datos comprende 21 observaciones. El período corresponde a los años 2002 hasta el año 2022.

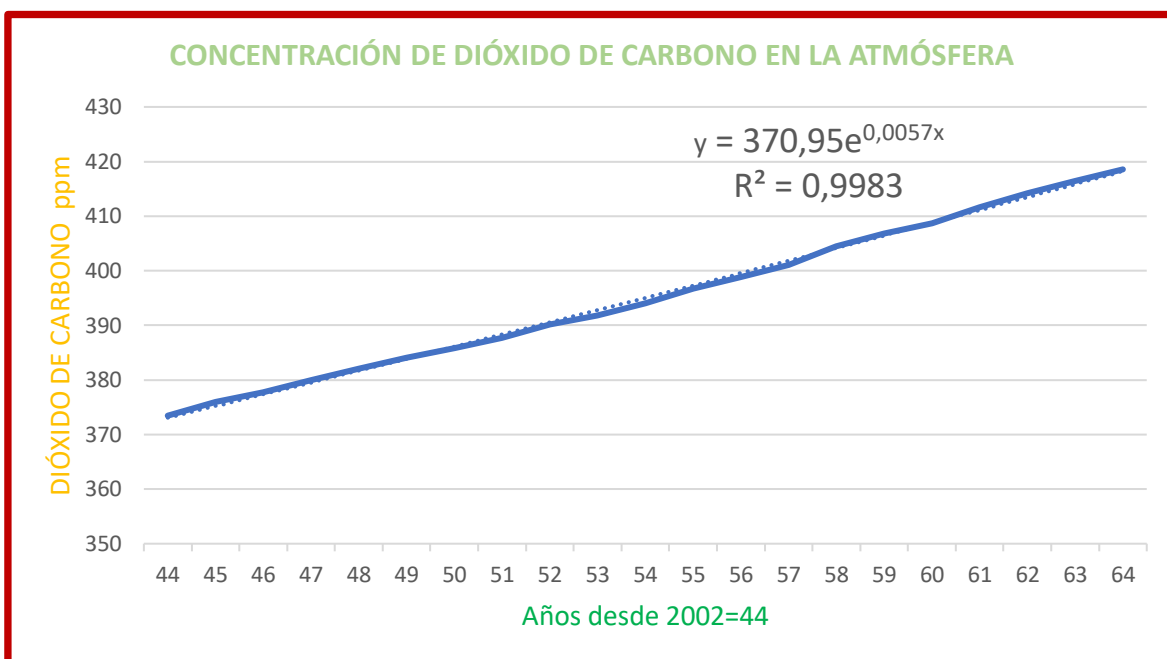
En este período, la acumulación del gas de efecto invernadero, dióxido de carbono, pasó a tener una tendencia muy leve en forma exponencial. El valor inicial estimado del modelo matemático de regresión exponencial es de 370,95 ppm, muy cercano al valor observado de 373,45 ppm. El efecto exponencial es ahora de $0,0057x$, superior al primer valor estimado del efecto exponencial que obtuvimos en el primer modelo exponencial ineficiente, que fue de $0,0045x$.

La comparación con las dos tasas de crecimiento anteriores, promedios estimados por los dos modelos matemáticos de regresión lineal, que fueron de 0,9645

ppm y de 1,5376 ppm, ya no resulta tan adecuada, pues el crecimiento ha cambiado de naturaleza. Al ser exponencial, el incremento tiene una doble naturaleza: hay efecto del factor tiempo, y hay efecto del factor multiplicativo del año anterior. En la tendencia lineal sólo ocurre el incremento en base al factor tiempo.

CONCENTRACIONES CO2								
x	y	x	$y'=\ln y$	xy'	x^2	y'^2	AÑO (y_0)	dif.
44	373,45	44	5,922784127	260,6025016	1936	35,07937181	2002	
45	375,98	45	5,92953595	266,8291178	2025	35,15939659	2003	2,53
46	377,7	46	5,93410023	272,9686106	2116	35,21354554	2004	1,72
47	379,98	47	5,94011862	279,1855751	2209	35,28500922	2005	2,28
48	382,09	48	5,945656183	285,3914968	2304	35,35082745	2006	2,11
49	384,02	49	5,950694635	291,5840371	2401	35,41076663	2007	1,93
50	385,83	50	5,955396858	297,7698429	2500	35,46675174	2008	1,81
51	387,64	51	5,960077074	303,9639308	2601	35,52251873	2009	1,81
52	390,1	52	5,966403117	310,2529621	2704	35,59796615	2010	2,46
53	391,85	53	5,970879113	316,456593	2809	35,65139739	2011	1,75
54	394,06	54	5,976503182	322,7311718	2916	35,71859028	2012	2,21
55	396,74	55	5,983281154	329,0804635	3025	35,79965337	2013	2,68
56	398,87	56	5,988635549	335,3635908	3136	35,86375574	2014	2,13
57	401,01	57	5,993986365	341,6572228	3249	35,92787254	2015	2,14
58	404,41	58	6,002429215	348,1408945	3364	36,02915648	2016	3,4
59	406,76	59	6,008223331	354,4851765	3481	36,09874759	2017	2,35
60	408,72	60	6,013030325	360,7818195	3600	36,15653369	2018	1,96
61	411,66	61	6,020197766	367,2320637	3721	36,24278114	2019	2,94
62	414,24	62	6,026445516	373,639622	3844	36,31804556	2020	2,58
63	416,45	63	6,031766406	380,0012836	3969	36,38220598	2021	2,21
64	418,56	64	6,036820249	386,3564959	4096	36,44319872	2022	2,11
1134	8300,12	1134	125,556965	6784,474472	62006	750,7180923		45,11
Σx	Σy	Σx	$\Sigma y'$	$\Sigma xy'$	Σx^2	$\Sigma y'^2$		

Ilustración 11 Concentración del CO₂ en la atmósfera, 2002-2022



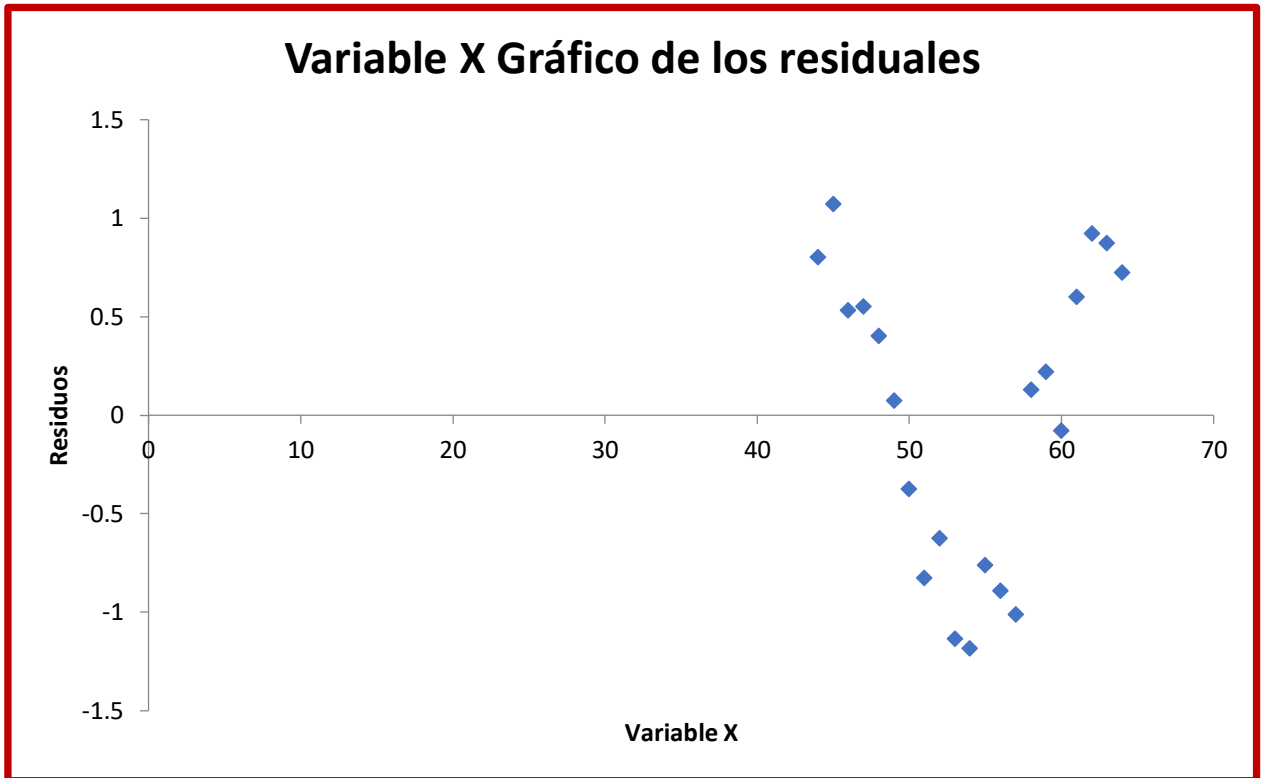
Fuente: Análisis de regresión exponencial en Excel, datos originales de Mauna Loa

Si se observa la columna titulada “dif.”, en el margen derecho de la tabla de datos, las diferencias interanuales son en su mayoría valores superiores a 2 ppm; hay incluso una diferencia con el año anterior por valor de 3,4 ppm. Esto implica un aceleramiento muy fuerte de la concentración acumulada de dióxido de carbono. Habíamos considerado un primer promedio de la tasa que aumentaría 100 ppm en el período de un siglo. En el último tramo de la serie de datos, con una tasa lineal mayor que las 2 ppm, el alcance de las 100 ppm se reduce a menos de medio siglo. Y si se mantiene la última tendencia exponencial, rápidamente se avanzará hacia una tasa interanual de 3 ppm.

El panorama climático es verdaderamente de una urgente emergencia climática global. Cuando algunas personas preguntan: “¿Cuánto tiempo tenemos con el cambio climático?”, la respuesta más seria es: “Ya se nos agotó el tiempo.” Para equilibrar lentamente el clima terrestre, es urgente la realización de acciones correctivas fuertes ya, en el tiempo actual, y no en acciones ofrecidas o prometidas.

El comportamiento de los residuales es muy similar al del período anterior (Ilustración 14).

Ilustración 12 Distribución sinusoidal de los residuales, 2002-2022



Fuente: Análisis de regresión exponencial en Excel, datos originales de Mauna Loa

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alba Santiago, 2023. *Un científico ruso anuncia el comienzo de una era glacial.*

<https://www.levante-emv.com/buzzeando/2023/08/08/cientifico-ruso-anuncia-comienzo-glaciacion-dv-90654530/>.

Bingham, A. J., & Witkowsky, P. (2022). Deductive and inductive approaches to qualitative data analysis. In C. Vanover, P. Mihas, & J. Saldaña (Eds.), *Analyzing and interpreting qualitative data: After the interview* (pp. 133-146). SAGE Publications.

Earle Steven, 2023. *Geología física*. LibreTexts. Vancouver Island University. Canada.

- Gentle Popular, R. Thwaites, D. Race, K. Alexander, 2014. *Differential impacts of climate change on communities in the middle-hills region of Nepal*. En Nat Hazards, DOI 10.1007/s11069.
- Given Lisa M., 2008. *The SAGE Encyclopedia of qualitative research methods*. SAGE Publications Inc. University of Alberta. Los Angeles, USA.
- Hyde, K.F., 2000. *Recognising deductive processes in qualitative research*. En Qualitative Market Research, Vol. 3 No. 2, pp. 82-90. <https://doi.org/10.1108/13522750010322089>.
- IPCC, 2019: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade.
- Krzaczek Lauren A. and Phillip A. Yates, 2017. *A statistical analysis of atmospheric CO₂ levels at Mauna Loa*. Ball State Undergraduate Mathematics Exchange. Vol 11, No. 1 (Fall 2017) Pages 14-27. <http://www.bsu.edu/libraries/beneficencepress/mathexchange>.
- Mann Michael E., 2016. *The physics of climate change*. Physics Department, University of Virginia, Charlottesville, USA.
- NOAA Climate Prediction Center, 2014. *ENSO: Recent evolution, current status and predictions*.
- Regmi Jeevan, 2013. *Physics behind the climate change*. The Himalayan Physics, Vol. 4, No. 4, July 2013.
- Vicuña Sebastián, 2011. *Evidencia científica del cambio climático*. Centro de Cambio Global, UC. CEPAL.