

EduS4EL © - Hoja de ejercicios

## CO<sub>2</sub> en 400.000 años de historia de la Tierra

Joachim Engel | Domini Kleinknecht | Laura Martignon  
engel@ph-ludwigsburg.de | marignon@ph-ludwigsburg.de  
Universidad de Educación de Ludwigsburg, Alemania

En una reciente encuesta de Future of Humanity realizada a más de 10.000 jóvenes de 22 países



con edades comprendidas entre los 18 y los 25 años (también conocidos como Generación Z), el cambio climático fue el problema más citado al que se enfrenta el mundo<sup>1</sup>. Desde el Rey Carlos<sup>2</sup> hasta el Papa Francisco<sup>3</sup> pasando por Antonio Guterres<sup>4</sup> y muchas otras figuras prominentes o jefes de Estado, el consenso es que el cambio climático es la mayor amenaza para nuestro planeta.

Los científicos llevan décadas advirtiendo de la amenaza global que el calentamiento global y el cambio climático suponen para el planeta Tierra. Ya se observan impactos ambientales como la pérdida de hielo marino, la aceleración del aumento del nivel del mar y olas de calor más largas e intensas. Los fenómenos meteorológicos extremos son cada vez más frecuentes. Además, los glaciares se han reducido, el hielo de ríos y lagos se rompe antes, las áreas de distribución de plantas y animales se han desplazado y los árboles florecen antes. (véase, por ejemplo, el sexto informe

<sup>1</sup> <https://www.amnesty.org/en/latest/news/2019/12/climate-change-ranks-highest-as-vital-issue-of-our-time/>

<sup>2</sup> <https://www.reuters.com/article/us-davos-meeting-prince-charles/uks-prince-charles-says-climate-change-is-humanitys-greatest-threat-idUSKBN1ZL26F>

<sup>3</sup> <https://catholicclimatecovenant.org/encyclical>

<sup>4</sup> <https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2018-09-10/secretary-generals-remarks-climate-change-delivered>



All materials are protected by copyright. They may be used as a whole or in parts under above CC License with the exception of the illustrations which may be used for educational purposes only.



de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC, <https://www.de-ipcc.de/358.php> ).

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un importante gas de la atmósfera terrestre que garantiza que la radiación térmica del sol no se refleje completamente en el espacio, sino que vuelva a la Tierra. Como resultado, el CO<sub>2</sub>, junto con otros gases, asegura que la superficie de la Tierra mantenga una temperatura vital de unos 16° Celsius de media. Sin embargo, si aumenta la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, también aumenta la temperatura en la superficie terrestre. Tanto el CO<sub>2</sub> como motor del cambio climático como las actividades humanas como causa del aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera están claramente demostrados desde el punto de vista científico. Sin embargo, las voces escépticas que expresan dudas sobre uno o ambos aspectos no han desaparecido por completo. Las emisiones de CO<sub>2</sub>, gas de efecto invernadero, son uno de los principales motores del cambio climático. En las conferencias sobre el clima, la reducción de estas emisiones es un importante tema de negociación en las reuniones de los representantes de los Estados. Sin embargo, se cuestiona una y otra vez el papel del hombre en el aumento de la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> y se alude a fluctuaciones regulares en el curso de la historia de la Tierra. ¿Pueden refutarse estas dudas con datos?

## Más información

La información detallada (incluido el material didáctico) y las ilustraciones en forma de explicaciones, tablas, gráficos, animaciones y vídeos son muy abundantes en internet. Los siguientes sitios web nos han parecido especialmente informativos:

- LA NASA: <https://climate.nasa.gov/>  
<https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>
- Copernicus Climate Change Service <https://climate.copernicus.eu>
- CO2earth: numbers for living on earth <https://www.co2.earth/co2-ice-core-data>

Un informe científico en NATURE sobre los datos del núcleo de hielo de Vostok

- <https://www.nature.com/articles/20859>

y un informe en SCIENCE sobre cómo los ciclos glaciales han afectado a los niveles de CO<sub>2</sub>

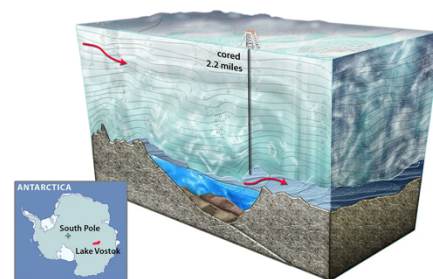
- <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abd2115>

Fuentes de Internet con material didáctico

- The Climate Literacy and Energy Awareness Network  
<https://cleanet.org/clean/literacy/index.html>
- National Centers for Environmental Information  
<https://www.ncei.noaa.gov/news/how-can-ice-teach-us-about-climate>

## Fuentes de datos

Las concentraciones de CO<sub>2</sub> obtenidas a partir de núcleos de hielo antárticos (núcleo de hielo de Vostok, [https://en.wikipedia.org/wiki/Vostok\\_Station](https://en.wikipedia.org/wiki/Vostok_Station), véase la figura) o directamente en la atmósfera (curva de Keeling, [https://en.wikipedia.org/wiki/Keeling\\_Curve](https://en.wikipedia.org/wiki/Keeling_Curve)) sirven de base de datos.



Estos datos son adecuados para estudiar las concentraciones de CO<sub>2</sub> a lo largo del tiempo porque los núcleos de hielo de los lugares de heladas perpetuas se consideran archivos de datos climáticos. La nieve se acumula allí muy lentamente, y un núcleo de hielo compuesto por muchas capas de nieve contiene un registro largo y preciso de la temperatura y la composición atmosférica a lo largo de muchos milenios, porque las burbujas de aire atrapadas en el hielo son pequeñas muestras de la atmósfera antigua. Analizando las burbujas de aire en el hielo es posible reconstruir la composición atmosférica en distintas épocas, incluido el contenido de CO<sub>2</sub>, metano y otros gases de efecto invernadero. Estas burbujas de aire quedan atrapadas en el hielo cuando se formó y dan una indicación de la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> en aquella época.

Entre 1970 y 1995, equipos rusos y franceses perforaron hasta una profundidad de 3.623 metros en la estación de Vostok, en la Antártida, generando datos que reconstruyeron la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y la temperatura en Vostok durante los últimos 420.000 años. El CO<sub>2</sub> se mide en partes por millón en volumen (ppm), que es el número de moléculas de CO<sub>2</sub> por millón de moléculas de aire seco. Los datos del núcleo de hielo de Vostok constan de dos series temporales: CO<sub>2</sub> y temperatura, con la temperatura dada como desviación de la media moderna de la temperatura de la superficie de -55,5 grados centígrados en Vostok.

Para poder evaluar adecuadamente las fluctuaciones actuales de la temperatura y el contenido de CO<sub>2</sub> con respecto a los últimos milenios, es necesario examinar los datos actuales de nuestra época. Otro conjunto de datos bien conocido relativo a la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera sirve a este propósito. En 1958, Charles David Keeling comenzó las mediciones de CO<sub>2</sub> en la montaña Mauna Loa, en Hawai, que se han venido realizando regularmente desde entonces. El Observatorio de Mauna Loa se encuentra a una altitud de 3.397 metros sobre el nivel del mar y es una de las instalaciones de investigación atmosférica más importantes debido a la fuerte capa de inversión marina que existe en este lugar. La medición a esta altitud no sólo minimiza la influencia de la vegetación y la actividad humana en las mediciones, sino que también permite una clara separación entre las partes bajas y contaminadas de la atmósfera y

la troposfera, mucho más limpia (véase <https://gml.noaa.gov/obop/mlo/>).

## Lista de variables

### Temperatura\_Vostok

Nombre de la variable	Características posibles	Explicación
Edad de hielo	De 0 a 422 766 años de historia de la Tierra	Edad de hielo
Temp	De -9,39 a + 3,14	Desviación de la temperatura respecto al valor del año 0

### Vostok\_co2

Nombre de la variable	Características posibles	Explicación
Edad de hielo	De 5600 a 419 328 años de historia de la Tierra	Edad de hielo
Co2	182 a 298	Contenido de CO <sub>2</sub> en la atmósfera terrestre, medido en ppmv (partes por millón).

Los datos están disponibles a través de ESS-DIVE, una plataforma en línea de libre acceso para almacenar, compartir y descubrir datos del programa Environmental Systems Science (ESS) financiado por el Departamento de Energía de Estados Unidos, <https://ess-dive.lbl.gov/>.

### MaunaLoa

Nombre de la variable	Características posibles	Explicación
Año	1958 hasta 2022	Año
mes	1-12	Mes
Fecha decimal	1958,2 hasta 2022,8	Fecha como número decimal
Co2	310 a 425	Contenido de CO <sub>2</sub> en la atmósfera terrestre, medido en ppmv (partes por millón).

**Fuente:** NOAA/ESRL y Scripps Institution of Oceanography.  
<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/data.html>

Para la exploración de datos trabajamos con el programa informático Common Online Data Analysis Platform CODAP.

CODAP es un software educativo gratuito para el análisis de datos. Esta herramienta de ciencia de datos basada en la web está diseñada como plataforma para desarrolladores y como aplicación para alumnos de 6º a 14º curso.

## Descubrir y analizar:

Ahora le toca a usted explorar los datos. Haciendo clic en el siguiente enlace, puede ver y analizar los datos utilizando el programa CODAP,

<https://codap.concord.org/app/static/dg/es/cert/#shared=https%3A%2F%2Fcfm-shared.concord.org%2FFeDkxUAdv7KbkfRsSQbV%2Ffile.json>

## Tareas:

La pregunta clave aquí es: **¿Existe una relación entre el contenido de CO<sub>2</sub> en la atmósfera terrestre y la temperatura? ¿Cómo se entienden los valores de CO<sub>2</sub> medidos en la atmósfera terrestre en los últimos tiempos y sus fluctuaciones en el contexto de los datos de CO<sub>2</sub> de la historia de la Tierra?** Intenta llegar a conclusiones mediante representaciones gráficas y cálculos estadísticos adecuados.

1. Crea un gráfico que muestre la temperatura a lo largo del tiempo durante 400.000 años de historia de la humanidad. Describe con palabras lo que ves. Puede ser útil que hagas clic en "líneas de conexión" en el menú del gráfico (a la derecha del gráfico). ¿Cuántos grados de temperatura ha variado el clima en el pasado, como indican estos datos? ¿En qué escala temporal puede producirse un cambio de la temperatura mínima a la máxima?
2. Del mismo modo, crea un gráfico que muestre el contenido de CO<sub>2</sub> a lo largo del tiempo durante 400 000 años. Comenta en el gráfico ¿Cuál es la unidad de medida del CO<sub>2</sub> ? ¿En qué intervalo varían las mediciones de CO<sub>2</sub> a lo largo del tiempo? Lamentablemente, no es posible mostrar el contenido de CO<sub>2</sub> y la temperatura en *un mismo gráfico*. Pero si coloca los dos gráficos uno justo debajo del otro, podrá observar la evolución paralela de ambas progresiones. Haciendo clic en el icono Brush selecciona la opción "transparente" y cambia el color del gráfico. Ahora puedes colocar los dos gráficos directamente uno encima del otro. ¡Comenta! O (aún mejor), elige "transparente" y otro color para uno de los gráficos en el menú con el pincel. Luego arrastra la gráfica transparente sobre la otra para comparar la progresión de las dos curvas. ¿Puedes decir qué cambia primero, la temperatura o el nivel de CO<sub>2</sub> (*Fíjate en la dirección del eje horizontal.*) Explica el patrón que ves en el gráfico y explica qué está causando el patrón o por qué está ocurriendo.
3. Los paleoclimatólogos -científicos que estudian el clima durante las distintas eras geológicas de la Tierra- ven la causa de las fluctuaciones de temperatura y CO<sub>2</sub> en diversos cambios orbitales. Investiga un poco en Internet para saber más sobre la interacción entre

la temperatura, los niveles de CO<sub>2</sub> y los cambios orbitales. ¿Qué preguntas se te ocurren?  
¿Cuáles son tus conclusiones?

4. Crea un gráfico a partir del conjunto de datos de Mauna Loa que muestre el curso temporal del contenido de CO<sub>2</sub> en la atmósfera terrestre entre 1958 y 2022. Coloca la variable "fecha decimal" en el eje horizontal. Para verlo mejor, selecciona de nuevo "líneas de conexión" y separa un poco el gráfico con el ratón. Describe lo que ves. ¿Hay alguna tendencia? ¿Cuál podría ser la causa de las fluctuaciones onduladas?
5. La curva creada en 4) se denomina Curva de Keeling. ¿Quién fue Charles David Keeling?
6. Compare las fluctuaciones de CO<sub>2</sub> en los 400 000 años anteriores a nuestra era con los cambios de la curva de Keeling en la actualidad.
7. ¿Qué conclusiones saca de sus análisis en relación con las preguntas orientadoras? ¿Hasta qué punto está seguro de ello? ¿Cuáles son las posibles limitaciones?

#### Ampliación (para investigadores avanzados del clima):

8. Puede parecer problemático comparar tan directamente los datos de Vostok con los de Mauna Loa. Al fin y al cabo, los datos se recogieron con métodos muy diferentes y los primeros datos de CO<sub>2</sub> de Vostok se remontan a hace 5000 años, mientras que los de Mauna Loa comienzan en 1958. Investigue este tema en Internet, por ejemplo, en la página web del Instituto Scripps de Oceanografía de la Universidad de California en San Diego <https://keelingcurve.ucsd.edu/2014/03/20/how-are-ice-core-data-and-mauna-loa-atmospheric-data-made-comparable/> o <https://www.co2.earth/co2-ice-core-data>.
9. Los datos de otro núcleo de hielo, el de Law Dome, proporcionan más información. Contiene datos de CO<sub>2</sub> entre los años 1010 y 1975, cada uno a intervalos de 5 años. Haga clic en el siguiente enlace y recibirá una hoja de trabajo CODAP que también contiene los datos de Law Dome.



<https://codap.concord.org/app/static/dg/es/cert/#shared=https%3A%2F%2Fcfm-shared.concord.org%2FP5mYV656YgLe2nHpCWMh%2Ffile.json>

Crea un gráfico que represente el curso temporal de los datos de la cúpula de la ley. ¿Qué has encontrado?

10. Ahora observamos los datos de CO<sub>2</sub> de los tres conjuntos de datos, los datos de Vostok, Law Dome y Mauna Loa juntos en un gráfico. Utiliza para ello la tabla de datos ALLco2. Los datos mensuales de Mauna Loa fueron agregados a promedios anuales. Desde la tabla de datos ALLCO<sub>2</sub>, arrastra la variable año al eje horizontal, la variable co2 al eje vertical y suelta la variable fuente en el centro del gráfico. Ahora las tres fuentes de datos también se diferencian por colores.



11. ¿Esta visualización es demasiado confusa debido a la gran escala temporal? A

continuación, haga clic en el símbolo  del menú del gráfico y seleccione "Mostrar . Alternancia Visibilidad Padres ". Ahora aparece una línea en la parte superior del gráfico, con la que se pueden seleccionar las fuentes de datos individualmente o en cualquier combinación. Al hacer clic en el símbolo , se reescalan los ejes para que los datos se ajusten claramente a un gráfico

¿Qué conclusiones puedes sacar de los gráficos creados de este modo?