

Universidad del Rosario
Facultad de Economía



Taller 3

Haciendo Economía

Autores:

Samuel Blanco Castellanos

Sofia Obando

Juan David Pavia

Fecha de entrega: 11 de septiembre de 2025

Parte 1.1. Analizando anomalías de temperatura

En lugar de medir la temperatura absoluta, los científicos suelen usar anomalías de temperatura, que indican cuánto se desvía la temperatura promedio de un periodo de referencia. Esta medida permite comparar fácilmente lugares y épocas distintas, incluso cuando los instrumentos de medición han cambiado. Vamos a empezar construyendo gráficas similares a la siguiente, para encontrar patrones en los datos.

1.1.1

Ve al sitio del *Goddard Institute for Space Studies (NASA)* y descarga el CSV “Northern Hemisphere-mean monthly, seasonal, and annual means” (archivo: `NH.Ts+dSST.csv`). Guárdalo en `RawData` con un nombre descriptivo.

a) En este conjunto de datos, la temperatura se mide como “anomalías”. ¿Qué significa “anomalía de temperatura” en tus propias palabras?

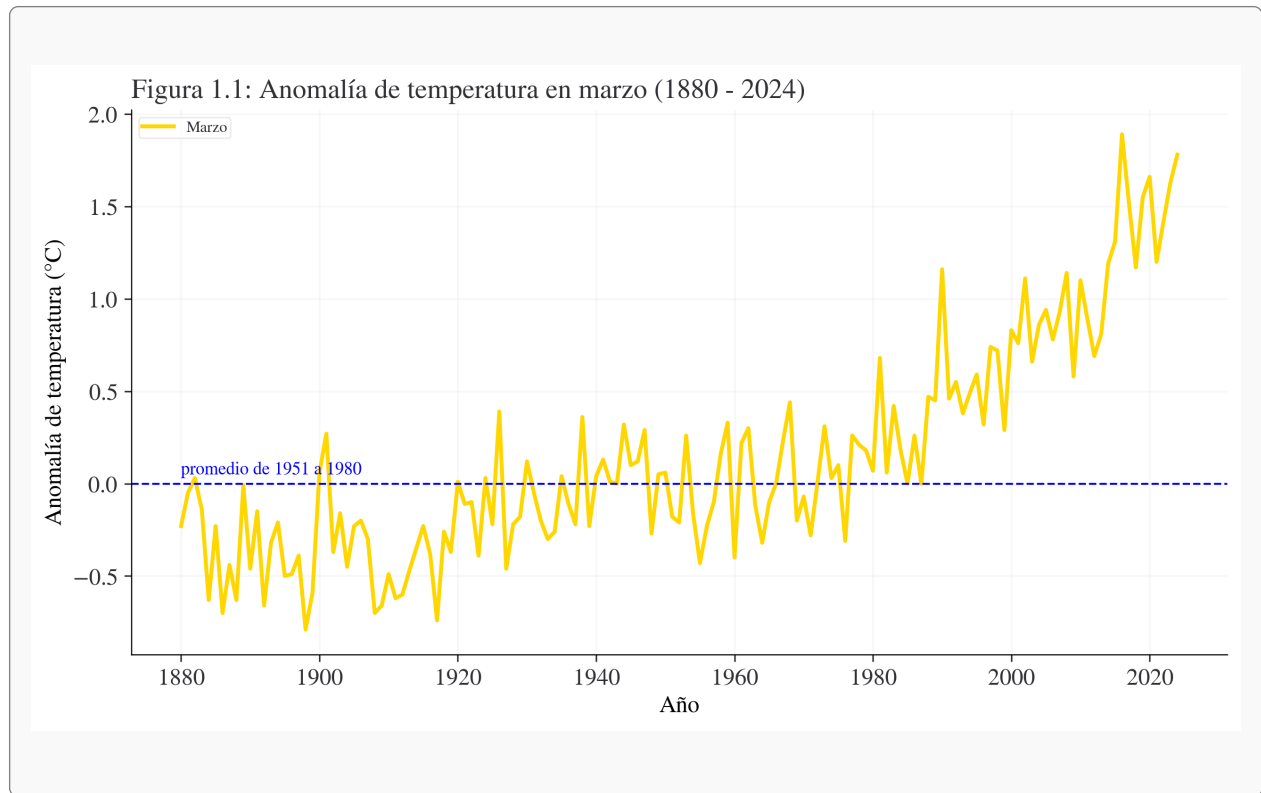
Una anomalía de temperatura es la diferencia entre la temperatura observada en un lugar y un momento concretos y el promedio de referencia —la climatología— para ese mismo lugar y época. En lugar de reportar la temperatura absoluta, indica cuánto más cálido o más frío estuvo respecto a lo normal; por ejemplo, un valor de $+0,2^{\circ}\text{C}$ señala 0,2 grados por encima del promedio histórico, mientras que $-0,3^{\circ}\text{C}$ indica 0,3 por debajo. Esta forma de medir permite comparar periodos y regiones de manera coherente, aun cuando cambien los instrumentos o las estaciones de medición. En el conjunto de datos que estamos usando, las anomalías están estandarizadas y se expresan en *desviaciones estándar*: un valor de $+1$ significa un periodo inusualmente cálido (una desviación por encima de lo normal) y -1 un periodo inusualmente frío.

b) ¿Por qué los investigadores prefieren anomalías en lugar de temperatura absoluta?

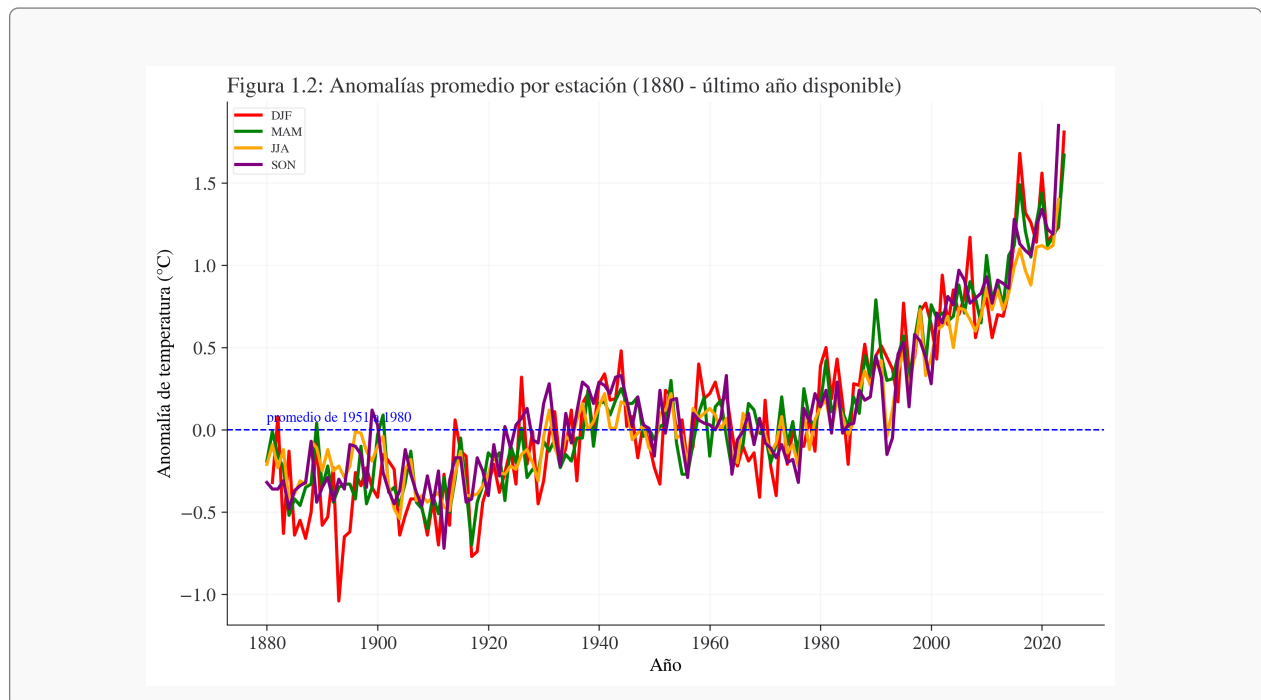
Porque las anomalías facilitan la comparación entre lugares y periodos, eliminan las diferencias de base (no es lo mismo comparar un desierto y una región polar) y resaltan las tendencias reales de cambio. Además, expresarlas en desviaciones estándar ayuda a cuantificar mejor la magnitud de esas variaciones.

1.1.2 y 1.1.3

a) Elige un mes y construye un gráfico de línea con la anomalía de temperatura promedio en el eje vertical y el tiempo (desde 1880 hasta el último año disponible) en el eje horizontal.

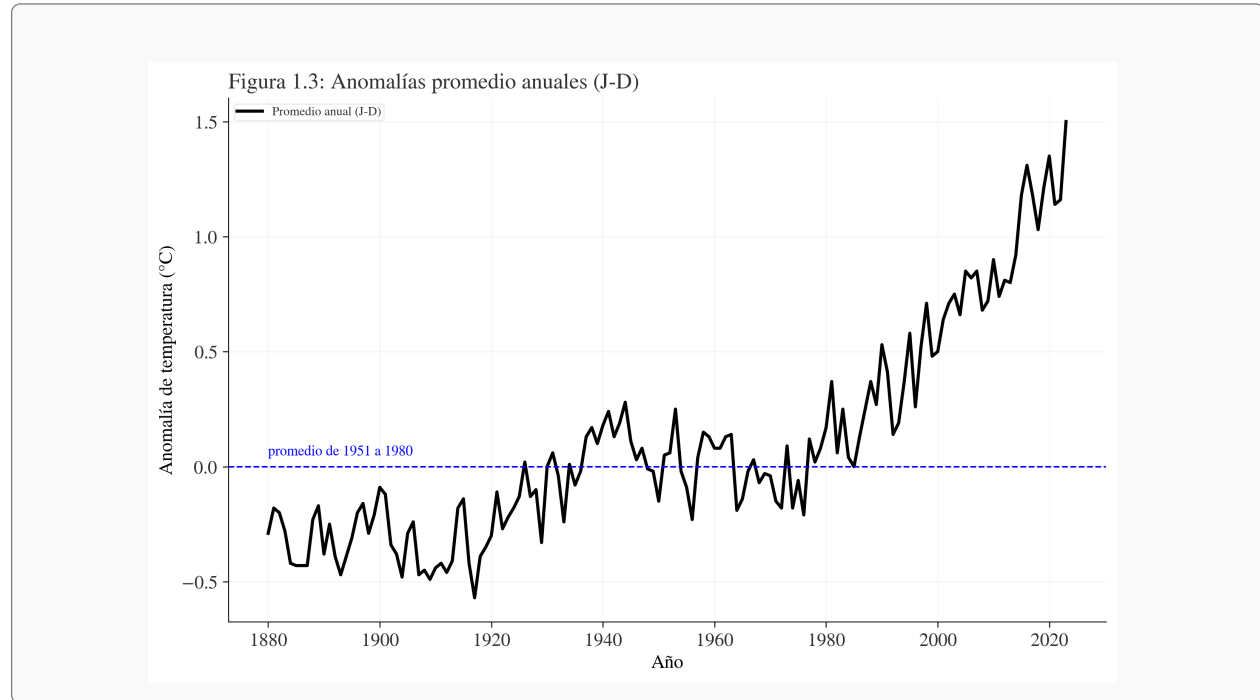


b) Ahora, otro gráfico pero con los promedios de cada estación (una línea por estación). Las columnas DJF, MAM, JJA, SON contienen dicha información. Por ejemplo, MAM es el promedio de los meses Marzo, Abril y Mayo.



c) Ahora hagamos una gráfica con los promedios de las anomalías anuales. Esta información

está en las columnas J-D



Discute: ¿Qué sugieren los gráficos acerca de la relación entre temperatura y tiempo?

El **Gráfico 1.1**, que muestra la anomalía de temperatura en marzo entre 1880 y 2024, evidencia una clara relación positiva entre la temperatura y el tiempo. Durante las primeras décadas (1880–1950), las anomalías fluctuaban alrededor del promedio de referencia (1951–1980), con oscilaciones tanto negativas como positivas que reflejaban relativa estabilidad. A partir de la década de 1980, sin embargo, se observa un cambio estructural: las anomalías se mantienen sistemáticamente por encima de cero y presentan un incremento sostenido. En las últimas dos décadas este patrón se intensifica, alcanzando en algunos años valores cercanos a $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que sugiere no solo un proceso de calentamiento continuo, sino también una mayor variabilidad interanual, con picos cada vez más pronunciados.

El **Gráfico 1.2**, que compara las anomalías promedio de las cuatro estaciones (DJF, MAM, JJA y SON), confirma que el fenómeno no es estacional ni localizado, sino generalizado. Entre 1880 y 1980, todas las estaciones muestran fluctuaciones alrededor del promedio de referencia sin tendencias marcadas. A partir de los años ochenta, todas las series exhiben un aumento sostenido y paralelo, con anomalías que superan en algunos casos $+1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en años recientes. Esto indica que el calentamiento global afecta de manera consistente al ciclo anual completo, reforzando la evidencia de un cambio climático progresivo y de alcance global.

El **Gráfico 1.3**, basado en el promedio anual (J–D), refuerza de manera contundente la existencia de una tendencia ascendente sostenida. Antes de 1950, las anomalías anuales se mantenían cercanas a cero, sin desviaciones extremas. Desde la década de 1980, en cambio, se observa un crecimiento persistente y acelerado, con valores que en las últimas décadas superan $+1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dado que este cálculo incluye todos los meses del año, se concluye que el calentamiento no es transitorio ni estacional, sino un fenómeno global y acumulativo, alineado con las proyecciones científicas del cambio climático inducido por la actividad humana.

En conjunto, los tres gráficos muestran un patrón consistente: la relación entre temperatura y tiempo es claramente positiva. Tras un largo periodo de relativa estabilidad, a partir de los años ochenta se inicia una fase de aumento sostenido y generalizado en todas las escalas temporales (mensual, estacional y anual). Este comportamiento indica una transformación profunda y persistente del sistema climático, constituyendo una evidencia sólida del proceso de calentamiento global en curso.

1.1.5

Con tres intervalos (mes, estación, año): ¿qué patrones revela cada uno que no se aprecian en los otros?

Mes (ejemplo: marzo). El análisis mensual permite observar con gran detalle la variabilidad de corto plazo. Se distinguen fluctuaciones bruscas de un año a otro, con picos y caídas que reflejan la influencia de fenómenos climáticos específicos, como El Niño o erupciones volcánicas. Este nivel de granularidad no aparece en las gráficas estacionales o anuales, donde las variaciones se suavizan.

Estación. El promedio estacional sintetiza la información mensual y permite comparar la dinámica del calentamiento a lo largo del ciclo anual. Así se evidencian diferencias entre estaciones, mostrando, por ejemplo, que en algunos periodos el invierno (DJF) presenta desviaciones más marcadas que el verano (JJA). Estos contrastes intraanuales no son visibles en la gráfica anual, que oculta dichas particularidades al promediar los doce meses.

Año (promedio anual J–D). El promedio anual elimina el “ruido” de la variabilidad de corto plazo y resalta la tendencia de largo plazo. Este enfoque permite identificar con claridad el cambio estructural en el clima: tras un periodo de relativa estabilidad hasta mediados del siglo XX, las anomalías se tornan consistentemente positivas desde la década de 1980 y aumentan de manera sostenida. Esta señal de fondo resulta esencial para evidenciar el proceso de calentamiento global.

1.1.6

Compara tu gráfico de promedios anuales con la figura de la Academia Nacional de Ciencias (1000–1900).

a) Similitudes y diferencias. **b)** ¿Los patrones de tu gráfico son inusuales? **c)** ¿Debería el gobierno preocuparse por el cambio climático?

Similitudes. Tanto nuestro gráfico (1880–2024) como la Figura 1.5 (1000–2006) representan *anomalías de temperatura*, es decir, desviaciones respecto a un promedio de referencia y no temperaturas absolutas. Ambos muestran un patrón común: una relativa estabilidad durante largos periodos históricos y un incremento abrupto a partir del siglo XX, especialmente después de 1950. En ambos casos, la señal dominante en tiempos recientes es un calentamiento acelerado y sostenido.

Diferencias. La Figura 1.5 abarca un horizonte temporal mucho más amplio (mil años), lo que permite identificar oscilaciones climáticas naturales de largo plazo, como el Período Cálido Medieval (aprox. 1000–1200) y la Pequeña Edad de Hielo (aprox. 1600–1800). Nuestro gráfico, en contraste, se centra en los últimos 135 años, lo que brinda mayor detalle sobre la dinámica reciente del calentamiento global. Además, difieren en la referencia utilizada: la Figura 1.5 se mide respecto al promedio 1961–1990, mientras que nuestro análisis usa 1951–1980.

¿Son inusuales los patrones previos a 1900? No. La Figura 1.5 muestra que entre 1000 y 1900 existieron fluctuaciones naturales de la temperatura, con periodos algo más cálidos y otros más fríos. Sin embargo, estas variaciones fueron de magnitud moderada y ocurrieron de manera gradual. Lo inusual es el repunte abrupto posterior a 1900, que supera claramente en velocidad y magnitud a cualquier fluctuación natural documentada en el milenio previo.

Implicaciones. Dado que la aceleración del calentamiento reciente es excepcional en la historia climática y coincide con el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, la evidencia sugiere que no se trata de un ciclo natural, sino de un fenómeno inducido por la actividad humana. Por lo tanto, los gobiernos sí deben preocuparse y responder con políticas públicas que promuevan la mitigación y la adaptación frente al cambio climático, ya que los costos de la inacción serán cada vez mayores en el tiempo.

Parte 1.2. Variación de la temperatura en el tiempo

El cambio climático no solo se refleja en un aumento de la temperatura promedio, sino también en la forma en que se distribuyen las temperaturas a lo largo del tiempo. Un artículo del New York Times analizó cómo la frecuencia de temperaturas “frías”, “templadas” y “calientes” cambió entre los periodos 1951–1980 y 1981–2010. Este enfoque muestra que

incluso pequeños cambios en la media pueden alterar de forma significativa la probabilidad de experimentar temperaturas extremas. En esta sección replicaremos parte de ese análisis, construyendo tablas de frecuencias e histogramas para comparar la distribución de anomalías de temperatura en ambos periodos, y evaluando si las temperaturas se han vuelto más extremas o más variables con el tiempo.

1.2.1

Crea dos tablas de frecuencias similares a la Figura 1.6 para 1951–1980 y 1981–2010.

Rango de anomalía (°C)	1951–1980	1981–2010
-1.0 a -0.8	0	0
-0.8 a -0.6	0	0
-0.6 a -0.4	0	0
-0.4 a -0.2	2	0
-0.2 a 0.0	12	0
0.0 a 0.2	15	1
0.2 a 0.4	1	7
0.4 a 0.6	0	6
0.6 a 0.8	0	7
0.8 a 1.0	0	4
1.0 a 1.2	0	6

Cuadro 1: Frecuencias de anomalías anuales de temperatura en dos periodos comparativos.

1.2.2

Con las tablas anteriores, construye dos histogramas y describe similitudes y diferencias.

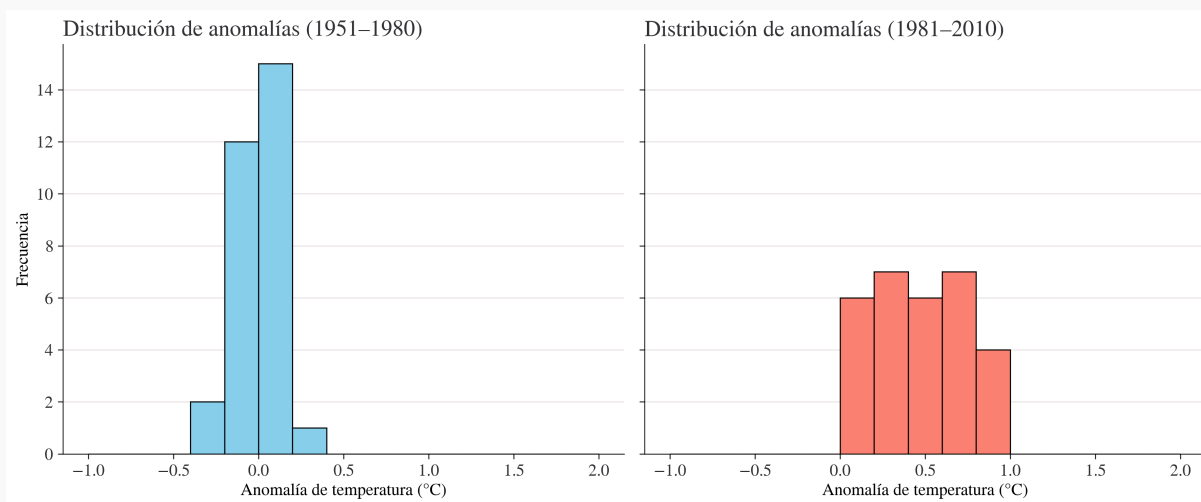


Figura 1: Figura 2.1: Distribución de anomalías de temperatura anual (J–D) en dos periodos comparativos: 1951–1980 y 1981–2010. Ambos histogramas usan los mismos rangos de clase (bins) para permitir comparación directa.

Similitudes. En ambos periodos la distribución es unimodal y relativamente concentrada, sin colas extremadamente largas. Además, los histogramas se construyen con los mismos intervalos de anomalía, por lo que las frecuencias son comparables.

Diferencias. (i) *Desplazamiento de la media:* en 1951–1980 la masa de probabilidad se concentra alrededor de 0 °C o levemente negativa; en 1981–2010 la distribución se desplaza claramente hacia la derecha (valores positivos), indicando un *aumento del nivel medio* de las anomalías. (ii) *Cambios en la asimetría:* el periodo antiguo muestra más presencia de valores negativos (cola izquierda), mientras que en 1981–2010 casi toda la masa se ubica por encima de 0 °C, con mayor peso en intervalos de 0.2–0.8 °C (cola derecha relativamente más marcada). (iii) *Dispersión:* la variabilidad aparente aumenta en el periodo reciente: además del corrimiento hacia valores positivos, hay más observaciones en clases alejadas del cero (por ejemplo, 0.6–1.0 °C), lo que sugiere una *mayor frecuencia de años cálidos*.

Lectura económica. El cambio entre periodos no es sólo un “ruido” de corto plazo: la distribución completa se traslada hacia valores más altos y gana peso en clases de anomalías positivas, coherente con un *cambio estructural* del clima. En términos de riesgos, este corrimiento implica una probabilidad mayor de años anómalamente cálidos, incluso si la forma básica (unimodal) se mantiene.

1.2.3

El tercio inferior (1.º–3.º decil) es “frío” y el tercio superior (7.º–10.º) es “caliente”. Usa `np.quantile` para obtener los deciles 3 y 7 en 1951–1980.

Al calcular los deciles de las anomalías de temperatura anual (J–D) para el periodo 1951–1980, se obtuvo lo siguiente:

- **Decil 3 (30 %):** $-0.063\text{ }^{\circ}\text{C}$
- **Decil 7 (70 %):** $0.08\text{ }^{\circ}\text{C}$

Esto implica que:

- Los valores iguales o inferiores a $-0.063\text{ }^{\circ}\text{C}$ se clasifican como *fríos* (primer tercio de la distribución).
- Los valores iguales o superiores a $0.08\text{ }^{\circ}\text{C}$ se clasifican como *calientes* (último tercio de la distribución).

Estos puntos de corte permiten diferenciar la frecuencia relativa de años fríos, templados y cálidos en los análisis comparativos entre periodos.

1.2.4

Con esos umbrales, cuenta cuántas anomalías son “calientes” en 1981–2010 y exprésalo como porcentaje. ¿Se observan temperaturas altas más frecuentemente?

[6] Al aplicar los puntos de corte obtenidos en la Pregunta 1.2.3 ($q_7 = 0.08\text{ }^{\circ}\text{C}$), se encontró que entre 1981 y 2010:

- **Años calientes:** 27
- **Total de años:** 30
- **Porcentaje de años calientes:** 90 %

Este resultado es notable: según la clasificación basada en los deciles del periodo 1951–1980, solo un 30 % de los años deberían considerarse “calientes”. Sin embargo, en 1981–2010 la proporción asciende al 90 %. Esto indica un cambio estructural en la distribución de las anomalías de temperatura y sugiere que los años con temperaturas inusualmente altas se volvieron la *nueva normalidad*. En consecuencia, sí se puede afirmar que experimentamos temperaturas altas con mucha mayor frecuencia en el periodo reciente.

1.2.5

Calcula media y varianza por estación (DJF, MAM, JJA, SON) en 1921–1950, 1951–1980 y 1981–2010. Compara varianzas: ¿parecen más variables los periodos recientes?

Cuadro 2: Media y varianza de las anomalías de temperatura por estación y periodo.

	1921–1950		1951–1980		1981–2010	
	Media	Varianza	Media	Varianza	Media	Varianza
DJF	-0.030	0.057	-0.003	0.050	0.523	0.079
MAM	-0.044	0.031	0.000	0.025	0.509	0.076
JJA	-0.053	0.021	0.001	0.015	0.399	0.067
SON	0.079	0.028	-0.001	0.026	0.429	0.111

Al comparar las varianzas por estación, se observa un patrón claro: en los periodos 1921–1950 y 1951–1980 las varianzas son relativamente bajas y estables, con valores en torno a 0.02–0.05. En cambio, en 1981–2010 todas las estaciones muestran un incremento significativo de la varianza, alcanzando valores entre 0.067 y 0.111.

Este aumento implica que no solo las medias de temperatura se desplazaron hacia valores positivos (indicando un calentamiento), sino que también se amplió la dispersión de los datos, lo cual refleja una **mayor variabilidad interanual**. En particular, el otoño (SON) presenta la varianza más alta (0.111), lo que sugiere que en esa estación las anomalías recientes son más inestables que en el pasado.

En conjunto, los resultados apoyan la hipótesis de que el cambio climático no solo se manifiesta en un aumento de la temperatura promedio, sino también en una *mayor frecuencia de desviaciones respecto al promedio*, es decir, temperaturas más extremas y variables en los periodos recientes.

1.2.6

Con base en los resultados, ¿aconsejarías invertir más en mitigar efectos de eventos climáticos extremos?

[6] Sí, los resultados obtenidos sugieren que el gobierno debería invertir más recursos en la mitigación y adaptación frente a los efectos de los eventos climáticos extremos.

La evidencia empírica muestra que:

- La distribución de las anomalías de temperatura cambió de forma significativa entre 1951–1980 y 1981–2010: los años “calientes”, que deberían representar únicamente un tercio de los casos, pasaron a ser la gran mayoría.
- Las medias de temperatura en todas las estaciones se han incrementado, confirmando un proceso de calentamiento sostenido.
- Las varianzas también son mayores en el periodo reciente, lo que implica una mayor *variabilidad interanual* y, por ende, una probabilidad creciente de eventos extremos (olas de calor, sequías, inviernos atípicamente cálidos, etc.).

Este conjunto de hallazgos es consistente con lo planteado en el artículo del *New York Times*: pequeños cambios en la media y en la varianza de la distribución pueden alterar drásticamente la frecuencia de temperaturas extremas.

Por tanto, desde una perspectiva de política pública, resulta prudente y necesario que el gobierno destine más recursos tanto a la **mitigación** (reducción de emisiones de gases de efecto invernadero) como a la **adaptación** (infraestructura resiliente, sistemas de alerta temprana, apoyo a comunidades vulnerables). Los costos de la inacción serían crecientes y más gravosos que los de una estrategia temprana y preventiva.

Parte 1.3. CO₂ y su relación con la temperatura

Usa la base de datos de Mauna Loa: <https://tinyco.re/3763425>.

1.3.1

¿Son estos datos una representación confiable de la atmósfera global? Sustenta con el artículo del Earth System Research Laboratory.

Sí, dado que los datos de CO₂ registrados en Mauna Loa son una representación confiable de la atmósfera global, según lo señala el *Earth System Research Laboratory* (ESRL). En este observatorio se mide de manera continua la fracción molar de CO₂ en aire seco con una precisión mejor a ± 0.2 ppm. La ubicación remota y elevada (3 400 m) del observatorio en Mauna Loa permite muestrear aire de la troposfera libre, alejado de influencias locales, lo que asegura condiciones de fondo (*background*) representativas de grandes extensiones atmosféricas (NOAA ESRL).

Además, el ESRL indica que Mauna Loa constituye el registro más largo y continuo de CO₂ en el mundo desde 1958, reconocido internacionalmente como referencia para observar tendencias globales de concentración. Aunque los promedios globales se calculan con una red más amplia de estaciones, los datos de Mauna Loa reflejan con gran fiabilidad las tendencias hemisféricas y globales, dado que el CO₂ es un gas bien mezclado en la atmósfera (NOAA ESRL).

1.3.2

Las variables **trend** e **interpolated** son parecidas, pero no idénticas. Explica la diferencia y por qué hay variación estacional en el CO₂.

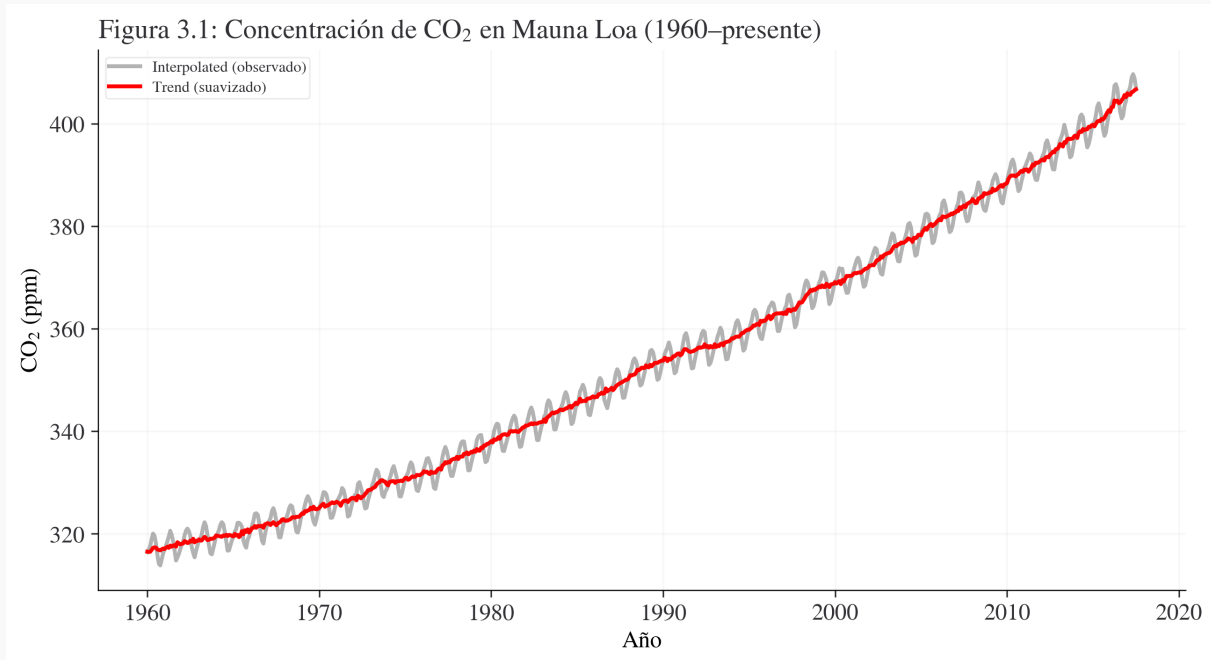
La variable **interpolated** corresponde a los datos observados de CO₂ en la atmósfera que incluyen tanto las mediciones reales como los valores estimados cuando hay faltantes, y además reflejan la variación estacional y mensual propia del ciclo natural. Por otro lado, la variable **trend** representa una línea suavizada de largo plazo, obtenida al eliminar dichas fluctuaciones estacionales con el fin de mostrar únicamente la evolución estructural del CO₂ en el tiempo. En otras palabras, mientras que **interpolated** captura los altibajos propios de cada estación, **trend** revela la trayectoria subyacente y sostenida del aumento de las concentraciones de CO₂, debido principalmente a las actividades humanas.

Respecto a la variación estacional en los niveles de CO₂, esta se explica principalmente por la actividad biológica de las plantas en el hemisferio norte, donde se concentra la mayor parte de la superficie terrestre. Durante la primavera y el verano la fotosíntesis aumenta y las plantas absorben más CO₂, lo que provoca una disminución en la concentración atmosférica. En cambio, en otoño e invierno, cuando las hojas caen y comienza la descomposición, se libera CO₂ otra vez a la atmósfera, elevando sus niveles. Así, el ciclo natural de la vegetación imprime un patrón estacional que se superpone a la tendencia ascendente causada por las emisiones humanas.

1.3.3

Grafica CO₂ (interpolated y trend) vs. tiempo (desde 1960). Ejes, leyenda y título.

[6]



El gráfico sugiere una relación clara y creciente entre el tiempo y la concentración de CO₂. Desde 1960 hasta la actualidad se observa una trayectoria ascendente y sostenida: la línea gris (**Interpolated**) muestra la variación mensual con su ciclo estacional típico, mientras que la línea roja (**Trend**) elimina dichas fluctuaciones y evidencia la tendencia estructural. En términos generales, el CO₂ atmosférico ha pasado de niveles cercanos a 315 ppm en 1960 a más de 410 ppm en años recientes. Esto indica un incremento continuo, acelerado y consistente con las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero. La evidencia sugiere, por lo tanto, que el tiempo y la concentración de CO₂ están vinculados por una relación de aumento sostenido, lo que respalda la preocupación científica respecto al papel del CO₂ en el cambio climático global.

1.3.3

Elige un mes y añade la tendencia de CO₂ al conjunto de anomalías de la Parte 1.1. Haz un diagrama de dispersión (CO₂ en y , anomalía en x), calcula la correlación de Pearson e interpreta (con limitaciones).

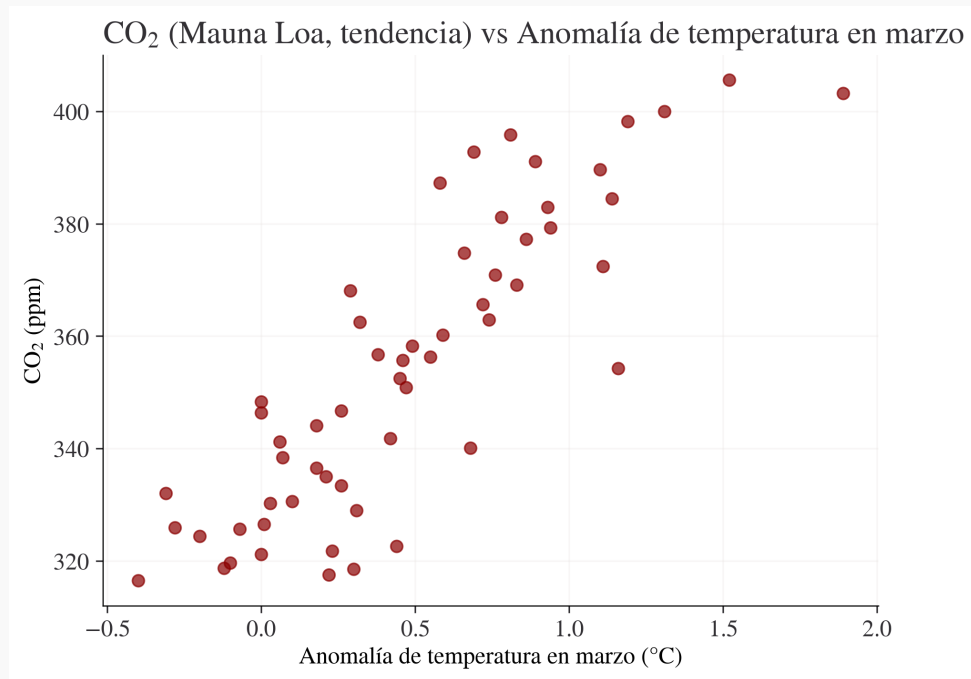


Figura 2: Figura 3.2: Diagrama de dispersión entre la anomalía de temperatura en marzo y los niveles de CO₂ (tendencia, Mauna Loa).

Cuadro 3: Coeficiente de correlación de Pearson entre CO₂ (tendencia en Mauna Loa) y anomalía de temperatura en marzo.

	Valor
Coeficiente de Pearson (r)	0.854
Valor-p	3.07×10^{-17}

El diagrama de dispersión muestra una clara relación positiva entre las anomalías de temperatura en marzo y los niveles de CO₂ atmosférico. Al calcular el coeficiente de correlación de Pearson se obtiene $r = 0.85$ con un valor-p prácticamente nulo ($p < 0.001$), lo que indica una asociación estadísticamente significativa y de gran magnitud.

Interpretación: a medida que la concentración de CO₂ aumenta, las anomalías de temperatura en marzo tienden a ser mayores. Esto es consistente con la teoría física que vincula el incremento de gases de efecto invernadero con el calentamiento global.

Limitaciones: la correlación no prueba causalidad por sí sola; existen otros factores que influyen en la temperatura interanual (como El Niño, erupciones volcánicas o aerosoles). Además, el análisis se realiza únicamente para un mes (marzo), lo que no necesariamente refleja la totalidad del comportamiento anual. No obstante, la magnitud y la dirección del coeficiente respaldan la evidencia científica de que el aumento de CO₂ está estrechamente asociado al calentamiento climático.

1.3.6

Da un ejemplo de correlación espuria relacionada con CO₂ o anomalías de temperatura.

Un ejemplo ilustrativo de correlación espuria consiste en observar que el incremento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera y las anomalías de temperatura global presentan trayectorias crecientes similares en las últimas décadas. Sin embargo, la coincidencia de estas tendencias no garantiza, por sí sola, la existencia de una relación causal directa entre ambas variables. La correlación espuria surge cuando dos series de datos parecen relacionadas estadísticamente, pero en realidad la asociación responde a la influencia de un tercer factor o a simples coincidencias en sus patrones.

Por ejemplo, es posible que el aumento simultáneo de CO₂ y temperatura global se interprete, de manera errónea, como una causalidad directa. En realidad, ambos fenómenos pueden estar siendo determinados por factores comunes, como el crecimiento industrial y las actividades humanas intensivas en combustibles fósiles. En este sentido, la quema de carbón, petróleo y gas natural, junto con la deforestación, no solo eleva la concentración de CO₂, sino que también contribuye al calentamiento global. De este modo, la relación observada entre CO₂ y temperatura podría considerarse espuria si se ignoran las variables intervinientes que explican su vínculo.