

GRADO: ECONOMÍA

Curso 2014/2015

UN ANÁLISIS ECONOMETRICO DEL CALENTAMIENTO GLOBAL

Autor/a: Hegny Yohana Corzo Ardila

Director/a: Josu Arteche

Bilbao, a 29 de Junio de 2015



Tabla de contenido

1. Introducción	3
2. Antecedentes históricos del Calentamiento Global.....	5
3. Teorías del calentamiento global.....	7
3.1. Calentamiento Global Antropogénico.....	7
3.2. Teoría del calentamiento global natural	8
4. Recolección y análisis de datos	10
5. Modelo econométrico.....	14
5.1. Especificación del modelo inicial.....	14
5.2. Estadísticos principales de las variables.....	14
5.3. Análisis de correlación.....	15
5.4. Estimación por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) del modelo inicial.....	17
6. Evidencia de regresiones espurias	17
7. Análisis preliminar de las variables ATMG, CO2 y SUNSPOTS.....	19
7.1. Gráficos de series temporales y correlogramas.....	19
7.2. Contraste de Raíz Unitaria - Dickey Fuller	22
7.3. Estimación MCO del modelo en primeras diferencias	24
8. Análisis modelo dinámico	25
8.1. Especificación modelo dinámico	26
8.2. Estimación del modelo dinámico inicial.....	26
8.3. Contraste de heterocedasticidad	29
8.4. Contraste de autocorrelación	29
8.5. Interpretación de los coeficientes.....	30
9. Conclusiones.....	32
10. Apéndice.....	33
11. Bibliografía	36

Análisis Econométrico del Calentamiento Global

Resumen

El análisis econométrico de un fenómeno tan complejo como el calentamiento global, no es una tarea sencilla. Existen dos teorías acerca de las causas de este fenómeno, y cada una pone de relieve los factores más influyentes. Por un lado las emisiones de CO₂ a favor de la teoría del calentamiento antropogénico, y por otro el número de manchas solares a favor de la teoría del calentamiento natural.

Al trabajar con las series temporales de cada variable, el análisis difiere del tradicional, ya que la existencia de raíces unitarias en las variables del modelo, puede provocar la existencia de aparentes relaciones entre las variables que en realidad no son ciertas, obteniendo regresiones espurias tipo II. Este error puede ser corregido tomando las variables en diferencias, pero se puede incurrir en el error tipo I, es decir rechazar verdaderas relaciones, debido a que se pierde información sobre las relaciones entre las variables como causas de la diferenciación. De este modo estaríamos cometiendo errores sistemáticos, que podemos solucionar teniendo en cuenta que las series temporales son procesos dinámicos y que una opción adecuada sería especificar un modelo dinámico que no presente autocorrelación.

Al establecer un modelo dinámico ADL (Autoregressive Distributed Lag), que puede considerarse como un modelo ECM (Error Correction Model), concluimos este análisis, apoyando la teoría del calentamiento antropogénico, debido a la falta de significatividad de las manchas solares.

1. Introducción

El calentamiento global es uno de los problemas que más nos preocupa en la actualidad y que causa gran controversia. Desde finales del siglo XIX se vienen observando aumentos en la temperatura aproximadamente de 0.8 °C. El cuarto informe científico, realizado por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), nos advierte de los fenómenos que se vienen observando, tales como: “sequías más intensas y duraderas” en grandes áreas de la

tierra (IPCC, 2007), aumento elevado del nivel del mar a una velocidad veinte veces mayor que la media de los últimos 3.000 años¹, y once de los doce últimos años han sido de los más calurosos desde que comenzó a hacerse seguimiento (Monbiot, 2008).

Durante estas últimas décadas la comunidad científica ha realizado una serie de investigaciones para encontrar una respuesta contundente a esta gran pregunta: ¿Cuáles son los factores más influyentes en el calentamiento de la tierra? Existen dos teorías que relacionan causas distintas al fenómeno del cambio en las temperaturas. Pero hasta el momento no se ha podido dar una respuesta concreta a dicha cuestión.

Cabe destacar que se ha atribuido este fenómeno a la actividad humana y en muchas ocasiones se ha afirmado que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producto de la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento, son los principales causantes de este problema. Pero entre todos estos gases el que mayor importancia tiene es el dióxido de carbono (CO₂). Por otro lado se afirma lo contrario, esto es, que no solo es el hombre sino la propia naturaleza la que provoca el calentamiento global, en cuyo caso es la actividad solar, la actividad volcánica, fenómenos como el Niño, los ciclos Milankovitch² y otros procesos biológicos etc., aquéllos factores que influyen en el cambio de la temperatura en la tierra.

De acuerdo a las teorías expuestas, los gobiernos han establecido una serie de estrategias para mitigar este fenómeno, pero se han centrado exclusivamente en analizar el problema causado por la actividad del hombre (calentamiento de tipo antropogénico), descartando la posibilidad de un calentamiento global natural. Son muchas, sin embargo, las variables que pueden influir en este fenómeno y que se deberían tener en cuenta para establecer medidas de control o solución a este problema.³

Este trabajo busca indagar en diversas fuentes de información, acerca de las dos teorías mencionadas, para poder determinar qué factores influyen y que variables podrían explicar los cambios de la temperatura media global. Para ello se especifica inicialmente un modelo econométrico lineal general y usando el software econométrico Gretl, se obtienen las estimaciones necesarias para el análisis. Es importante tener en cuenta que se trabaja con series temporales, y que éstas merecen un tratamiento especial, por lo que se debe analizar detalladamente el comportamiento de las series, las posibles relaciones que existen entre ellas, para poder especificar un modelo de acuerdo con estos resultados y llegar a una conclusión acerca de cuál de las dos teorías del calentamiento global se sustenta con los datos obtenidos.

¹ IPCC, 2001. Climate Change 2001: *The Scientific Basis*. Chapter 11.

² Basados en los cambios de la órbita de la tierra, la variación del eje terrestre y la precesión de los equinoccios.

³ Cambio climático, calentamiento global y efecto invernadero. Obtenido de <http://cambioclimaticoglobal.com>.

2. Antecedentes históricos del Calentamiento Global

El clima de la tierra ha cambiado a lo largo de la historia, y en los últimos 650.000 años se han producido 7 ciclos de avance y retroceso glacial que terminaron con el difícil final de la última glaciación hace 7.000 años, lo que marcó también el inicio de la era climática moderna y de la civilización humana. La mayor parte de estos cambios climáticos se atribuyen a variaciones muy pequeñas de la órbita terrestre y, que a su vez, cambiaron la cantidad de energía solar que recibía la Tierra.

El descubrimiento científico del cambio climático comenzó a principios del siglo XIX cuando se sospechó por primera vez que hubo cambios naturales en el paleoclima⁴ y se identificó por primera vez el efecto invernadero natural. Fue Svante Arrhenius en 1896, quién inicio el estudio del aumento de la temperatura. Su trabajo consistió en cuantificar las concentraciones de dióxido de carbono en la atmosfera que le llevaron a concluir que dichas concentraciones contribuían en las variaciones a largo plazo del clima, y a proclamar que los combustibles fósiles podrían dar lugar o acelerar el calentamiento de la tierra, ya que una duplicación de CO₂ en la atmosfera produciría un aumento de temperatura de entre 4 y 6 °C. (Maisonave, 1997)

Unos años más tarde de las investigaciones de Arrhenius, la Organización Meteorológica Mundial (OMM), se propone estudiar los niveles de CO₂ en la atmosfera, pero es Charles Keeling y su equipo quienes llevan a cabo la investigación, midiendo en dos lugares distintos de la tierra (Mauna Loa y la Antártida) las concentraciones de CO₂. Los resultados mostraban el incremento exponencial de dichas concentraciones, por lo que era necesario tomar medidas para evitar graves cambios en la tierra. La National Aeronautics and Space Administration (NASA) en 1988, confirma este hecho, y se crea el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), por iniciativa de la OMM y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

En 1990 el IPCC presentó un primer informe de evaluación en el que se reflejaban las investigaciones de 400 científicos confirmando que el calentamiento atmosférico de la tierra era real y *“Que existe un efecto invernadero natural que hace que la tierra sea más cálida de lo que sería en caso de no existir este efecto”*, además *“Que las emisiones producidas por las actividades humanas aumentan sustancialmente las concentraciones atmosféricas de los gases que producen el efecto invernadero como anhídrido carbónico, metano, clofluorocarbonos (CFC) y óxido nitroso. Estos aumentos potencian el efecto de invernadero, lo que produciría en término medio un calentamiento adicional de la superficie de la tierra. El principal gas con efecto invernadero, el vapor de agua, aumentará como consecuencia del calentamiento del planeta y a su vez aumentará dicho efecto”*. IPCC (1990).

La comunidad internacional debía tomar medidas para evitar el problema, y según las conclusiones del informe, llevaron a los gobiernos a aprobar la Convención Marco de las

⁴ Estudio de los climas en el pasado.

Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC)⁵ firmada en 1992 en Río de Janeiro en la Cumbre para la Tierra.

Los informes del IPCC han sido la base para la toma de algunas decisiones, y han tenido un papel importante en las negociaciones que dieron lugar al protocolo de Kioto, firmado en 1997, donde se empiezan a establecer metas vinculantes para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para 37 países industrializados y la Unión Europea. En el protocolo se reconoce que son estos países los únicos responsables de los elevados índices de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como resultado de la quema de combustibles fósiles durante más de 150 años (Naciones Unidas, 1998).

Con la firma del protocolo, los países industrializados se comprometieron a reducir sus emisiones. Este texto señalaba su ratificación por al menos 55 países cuyas emisiones igualaran al 55% de las emisiones de CO₂ producidas en el año 1990 para que fuera aprobado. En el año 2000 no se consiguió la ratificación del protocolo debido a las posiciones enfrentadas entre la UE y E.E.U.U. En enero de 2001, en el tercer informe del IPCC, se confirmó la influencia de la actividad humana en el clima así como los efectos del calentamiento global en diversas zonas del mundo. En 2001 E.E.U.U, uno de los mayores productores de emisiones de CO₂, se retira del protocolo por lo que no se alcanza el mínimo exigido.

En 2004 ratifican UE, Japón, Canadá, Rusia, con lo cual se alcanza el mínimo exigido y en 2005 el objetivo es reducir las emisiones de GEI a escala mundial. El primer periodo del protocolo de Kioto se llevó a cabo de 2008 a 2012 cuyo objetivo era reducir el total de emisiones de cada país como mínimo un 5 % con respecto al nivel de 1990, aunque estos compromisos variaban de un país a otro.

En el año 2007 se genera una fuerte polémica por la aparición del documental dirigido por la BBC, donde se presentaba al cambio climático como un efecto natural de la variación de la actividad del sol y los rayos cósmicos galácticos. Era evidente la controversia entre ambas teorías. Para este año los pronósticos del informe IPCC (2001) estaban muy lejos de cumplirse ya que la temperatura media global dejó de aumentar a principios del siglo XXI e incluso se observó un leve descenso a pesar de que las emisiones seguían una tendencia creciente.

Una vez finalizado el primer periodo del protocolo, en el año 2013, se ratificó el segundo periodo que se extiende hasta 2020 sin la conformidad y participación de E.E.U.U mayor emisor de GEI del mundo. Se crea una nueva lista de GEI que debían cubrir éste segundo periodo, se incorpora la métrica para calcular la equivalencia en dióxido de carbono y se añade un nuevo gas, el trifluoruro de nitrógeno (NF₃).

El IPCC (2013) y la Agencia Internacional de la Energía (IEA,) aseguran que los combustibles fósiles seguirán siendo la principal fuente de energía en las próximas décadas. Además afirman que incluso si todos los países del mundo cumplieran con el Protocolo de Kioto, algunas consecuencias de los cambios en el clima a finales del siglo XXI, tales como la subida de las temperaturas medias globales en más de 1,5 °C a la del periodo entre 1850 y 1950, subida del nivel del mar de 18 cm para el año 2040 y unos 48 cm para el año 2100 en el caso más

⁵ United Nations Framework Convention on Climate Change

extremo, menores precipitaciones, pocos recursos hídricos y la intensificación de los fenómenos meteorológicos extremos serían inevitables.

3. Teorías del calentamiento global

3.1. Calentamiento Global Antropogénico

La base de esta teoría está en afirmar que las emisiones de GEI producto de la actividad humana (antropogénica) que se desprenden de la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural y la producción de cemento etc., son la causa fundamental del calentamiento global. Desde la revolución industrial se vienen emitiendo más y más gases de efecto invernadero, aumentando sus concentraciones en la atmósfera y potenciando el calentamiento global. Entre estos gases encontramos los relacionados en la Tabla 1, en cuyo caso es el CO₂ el más relevante de los GEI.

El efecto invernadero es un fenómeno donde el sol irradia energía en longitud de ondas cortas, y mientras una tercera parte de la energía que alcanza la zona superior de la atmósfera se refleja de nuevo al espacio, las dos restantes son absorbidas por la atmósfera. Los gases de efecto invernadero, que son componentes de la atmósfera, retienen parte de la energía que el suelo emite y evitan que una parte del calor del sol recibido por la tierra deje la atmósfera y vuelva al espacio, produciendo un efecto similar al observado en un invernadero y permitiendo que el planeta tenga una temperatura aceptable para la vida. Sin el efecto invernadero natural la temperatura promedio estaría por debajo del punto de congelamiento del agua.⁶ (Falkner, 2013)

Tabla 1. Gases de Efecto invernadero

GEI	Fuerza Irradiativa (W/m ²)
Dioxido de Carbono	1,85
Metano	0,51
Óxido Nitroso (N ₂ O)	0,18
Clorofluorocarburo CFC-11	0,06
Clorofluorocarburo CFC-12	0,17
Clorodifluorometano HCFC- 22	0,04
Ozono Troposférico	0,35
Ozono Estratosférico	-0,10

Fuente: <http://cambioclimaticoglobal.com/gasesinv>

⁶ Temperatura de congelación del agua pura 0 °C

El IPCC en su IV informe de evaluación establece que *“El calentamiento global es inequívoco y se atribuye a la acción del hombre con una probabilidad superior al 90%”*. Por lo tanto, éste es el factor que parece estar influyendo más activamente en los cambios del clima en la actualidad.

3.2. Teoría del calentamiento global natural

“La afirmación de que el hombre es la causa primaria del reciente calentamiento no está apoyada por la ciencia. La evidencia científica citada por el IPCC es largamente contradicha por las observaciones y los análisis”. (Singer, 2008)

A lo largo de la historia el clima de la tierra ha presentado diversas oscilaciones, y se ha podido observar un óptimo climático medieval⁷ y una pequeña edad de hielo⁸. Éstos son algunos de los diversos cambios que ha presentado el clima. Algunas hipótesis que se han expuesto dentro de esta teoría establecen un calentamiento global producido por la propia naturaleza, incluyendo como factores causantes del mismo la actividad solar, la actividad volcánica, fenómenos como el niño, los ciclos Milankovitch etc.

La hipótesis más defendida es la existencia de cambios cíclicos en la actividad solar (ciclos de manchas solares) o también la teoría de Milankovitch que propugna la existencia de oscilaciones cíclicas en los parámetros de la órbita terrestre, aunque en este trabajo se haga hincapié únicamente al efecto de las manchas solares en el calentamiento global.

El primer registro de manchas solares fue realizado por astrónomos chinos hacia el año 800 A.C. Los astrólogos chinos y coreanos creían que las manchas solares eran presagios de sucesos importantes. Esto les llevó a mantener registros esporádicos durante cientos de años. Alrededor de 1600, con la invención del telescopio, varios astrónomos siguieron observando las manchas y Galileo Galilei fue quien por primera vez hizo un seguimiento serio de las mismas, determinando que el Sol rotaba con un periodo aproximado de 27 días.

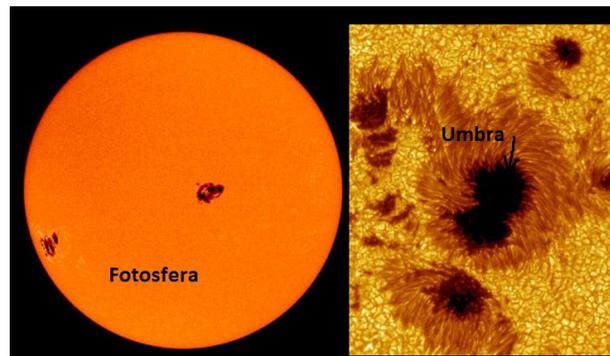
En 1843 Samuel Heinrich Schwabe descubrió el aumento y disminución en el número de manchas solares y alrededor de 1852 Rudolf Wolf anunció que el periodo del ciclo de las manchas solares coincidía con el periodo de cambios en la actividad geomagnética de la tierra.

Las manchas solares son puntos o regiones negras en el disco solar, como se muestra en la Figura 1. Se ven más oscuras simplemente porque tienen una temperatura menor que el resto de la fotosfera, que tiene una temperatura alrededor de 5800 °K (aproximadamente 5500 °C o 10000 °F) y la umbra suele tener unos 4200° K (aproximadamente 2700 °C o 6700 °F). Éstas se forman durante un periodo que puede durar días o semanas, y su número no es constante sino que varía a lo largo de un ciclo que dura aproximadamente once años con máximos y mínimos incluso casi nulos durante este último.

⁷ Desde el siglo X al XIV durante el medioevo Europeo un clima caluroso como el actual.

⁸ Periodo frío que va desde siglo XIV hasta mediados de XIX

Figura 1. Mancha Solar

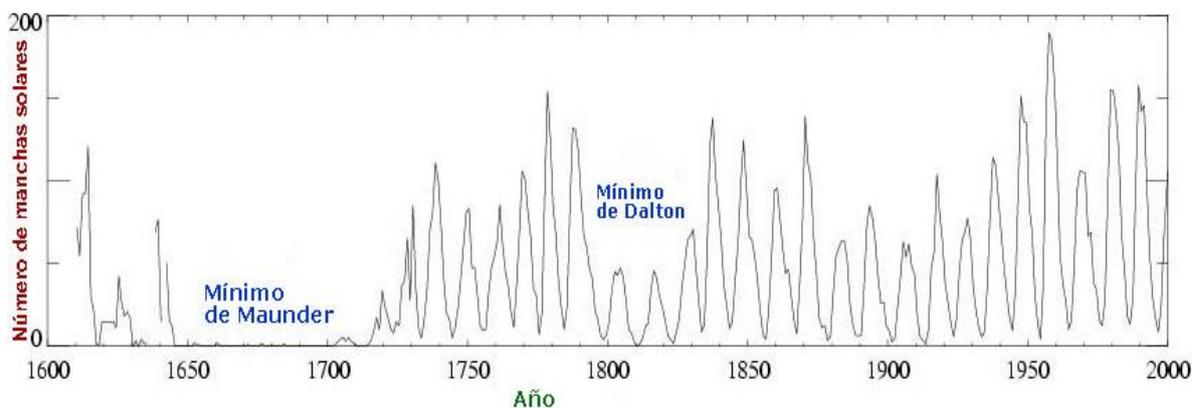


Fuente: NASA Y European Space Agency (ESA) y la Academia de Ciencias de Suiza.

Durante el máximo, del sol se desprenden enormes cantidades de energía al espacio. Ésta energía es bombardeada a la tierra con resultados positivos y negativos, pero el efecto más importante es la cantidad adicional de energía radiante que el Sol envía a la atmósfera de la tierra. Durante el máximo medieval u óptimo climático medieval, se observaron un mayor número de manchas solares coincidiendo con un periodo de climas cálidos en la tierra. El último máximo solar fue 2014 aunque las previsiones de la NASA lo estimaran para el año 2006.

El mínimo más importante estuvo comprendido entre 1645 y 1715 y conocido como Mínimo de Maunder (ver Figura 2). Recibió el nombre del astrónomo solar E. W. Maunder que observo valores extremadamente bajos de manchas solares durante estos años y que se correspondía con la pequeña edad de hielo, periodo de fríos muy intensos en Europa y América del Norte.

Figura 2. Mínimo Maunder y Mínimo de Dalton



Fuente : NASA

La variabilidad solar ha sido uno de los aspectos ignorados en el primer informe del IPCC, no han aceptado metodologías para conocer qué parte del calentamiento global es causado por factores naturales y han infravalorado las pruebas que demuestran la influencia

del sol en el cambio del clima en el pasado y, con una alta probabilidad, en el cambio en el siglo XX y XXI.

Pero quienes la defienden han encontrado evidencia de la alta influencia sobre el clima, y según ciertos autores probablemente sean mucho más importantes que el efecto del CO₂. El IPCC empezó a tener en cuenta el calentamiento natural solo después del trabajo realizado por Baliunas y Jastrow (1990), el cual demuestra la correlación existente entre la temperatura del siglo XX y el ciclo solar (Friis - Christensen y Lassen, 1991).

En marzo de 2006 la actividad de manchas solares fue casi inexistente, se experimentó un mínimo solar hasta principios de 2008, pero hay evidencia de que las temperaturas, a pesar de atravesar un mínimo, siguieron aumentando. Esto demostraba que aun teniendo datos que relacionan la actividad solar con el clima, aún no se ha podido comprobar esa relación según Dean Pesnell científico del Observatorio Dinámico Solar (SDO) de la NASA.

4. Recolección y análisis de datos

El objetivo de este análisis es intentar explicar qué factores son relevantes e influyen en el cambio de la temperatura media global de la superficie terrestre y océanos, estableciendo como variable endógena del modelo la Anomalía de la Temperatura Media Global (ATMG), medida en grados centígrados.

Los datos se han obtenido del Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC) y corresponden a observaciones anuales desde 1880 a 2013, cuya contribución ha sido realizada por R. Ruedy, M. Sato y K. Lo (2010), miembros de la National Aeronautics and Space Administration Goddard Institute for Space Studies (NASA GISS). El instituto Goddard se encarga de monitorizar las temperaturas superficiales globales de manera continua, desde 1880, año en que se estableció una distribución razonable a nivel mundial de las estaciones meteorológicas y son más de 1000 estaciones meteorológicas en todo el mundo, de donde se obtienen estas medidas.

La anomalía de la temperatura es un indicador que resulta de restar a la temperatura media global de un mes en determinado año, el promedio de temperaturas globales registrado en el mismo mes pero en el periodo 1951- 1980. Una anomalía positiva indica que la temperatura observada ha sido más cálida que el valor de referencia⁹, mientras que una anomalía negativa indica que la temperatura observada ha sido más fría que dicho valor. Las anomalías describen con mayor precisión la variabilidad del clima y dan un marco de referencia que permite comparaciones más significativas entre localidades y datos más precisos de las tendencias de la temperatura (Dahlam, 2009).

Se ha elegido la anomalía de la temperatura como variable endógena ya que las mediciones de temperaturas absolutas son difíciles de recopilar y una de las razones es que algunas regiones tienen pocas estaciones de medición (Ej. Desierto del Sahara) y la

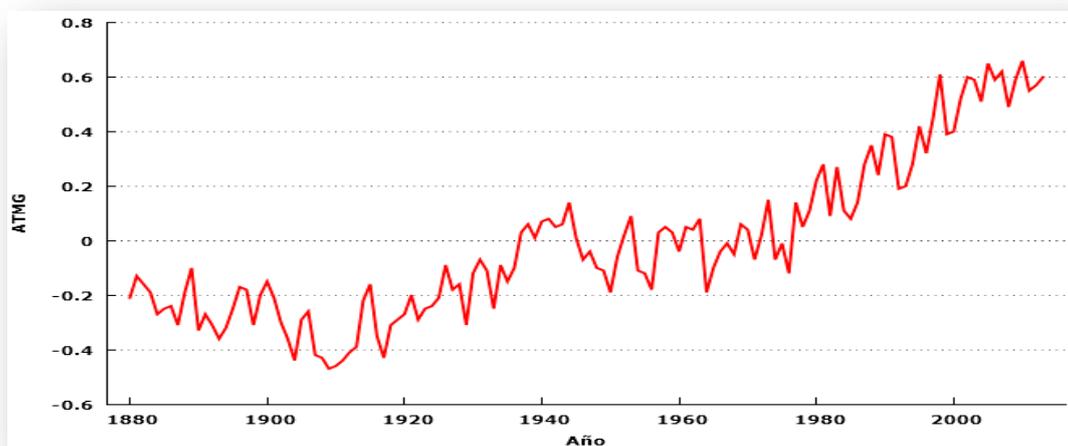
⁹ Valor promedio observado del mismo mes pero entre 1951 a 1980.

interpolación de temperaturas se debe hacer para regiones grandes con pocos datos. Por ejemplo, un mes de verano en un área puede ser más frío que el promedio tanto en una cima como en un valle cercano, pero las temperaturas absolutas serán distintas en ambos lugares. Este es el motivo por el cual se usan las anomalías de la temperatura ya que estas muestran que las temperaturas para ambas ubicaciones están por debajo de la media.

El análisis del GISS es actualizado mensualmente, pero sin embargo la presentación de los datos por CDIAC se hace anual. Así se evita el tratamiento de la estacionalidad en datos mensuales, ya que las observaciones de las demás variables están dadas en datos anuales.

Gráficamente podemos observar el comportamiento de la variable endógena a lo largo de la serie temporal.

Gráfico 1. Serie temporal ATMG



Fuente: Elaboración propia

Las anomalías anuales observadas en la superficie de la tierra y océanos a lo largo de serie nos muestran una pequeña variabilidad desde 1880 hasta 1920, las temperaturas son más frías que el valor tomado por referencia, pero no refleja una tendencia real. Alrededor de 1920 y hasta mediados de 1940 se observa un calentamiento significativo de $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadamente, seguido de un enfriamiento menos intenso desde esta fecha hasta mediados de 1960. Es desde la década de 1970 y hasta los últimos años cuando el aumento de la temperatura presenta una tendencia creciente alrededor de $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. (R. Ruedy *et al.*, 2014).

Con excepción de 1998 los 10 años más cálidos de la serie de 135 años se han producido desde el año 2000. “La temperatura de la superficie media global en 2014 ha sido la más cálida desde 1880 ($0,68\text{ }^{\circ}\text{C}$) por encima de la media de 1951 – 1980”. (NOAA, 2015).

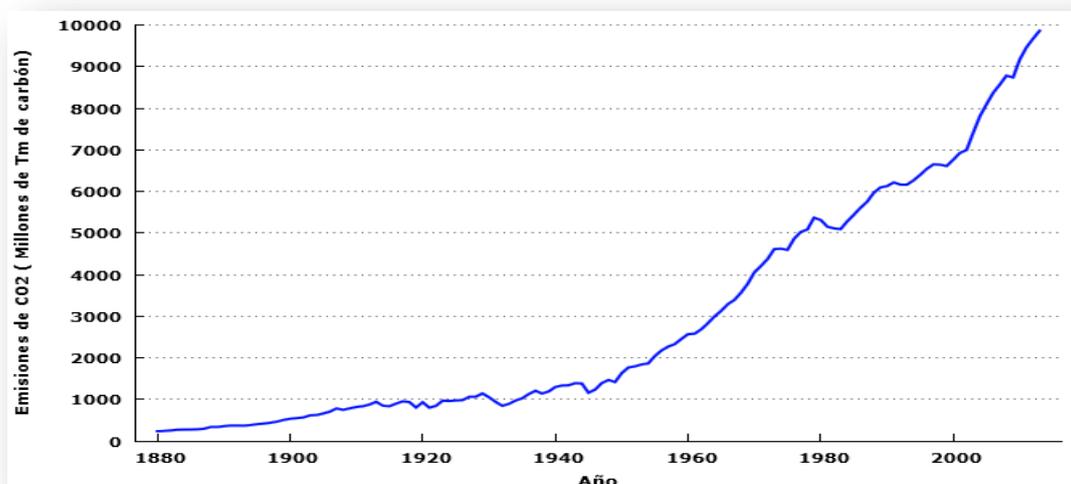
El interés se centra en analizar qué factores influyen en el comportamiento de esta variable, por lo que es importante establecer una serie de variables exógenas que expliquen

este comportamiento. Desde el punto de vista de la teoría del calentamiento antropogénico, los GEI tienen una gran influencia en el calentamiento global, pero el gas que mayor efecto tiene en el cambio de la temperatura del planeta es el CO₂.

Por lo tanto las Emisiones de CO₂ Globales que se desprenden de la quema de combustibles fósiles (Carbon, Petróleo, Gas natural) y la producción de cemento, es una de las variables explicativas incluidas en el modelo. La variable está medida en millones de toneladas métricas de carbón, si se requiere convertir a unidades de dióxido de carbono basta con multiplicar dichas unidades por 3,667. Los datos se han obtenido de Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC) del estudio realizado por Boden, T.A., et al. (2010) cuya serie va de 1751 a 2010. Se han tenido en cuenta las observaciones que van de 1880 a 2010 y se han añadido datos para los años correspondientes a los periodos 2011 a 2013 obtenidos de Global Carbon Budget 2014 (Le Quéré et al. 2014).

La tendencia de la variable está representada en el Gráfico 2. Es creciente desde 1880 hasta 1945 a un ritmo más o menos constante pero a partir de 1945 aproximadamente se observa un crecimiento acelerado y la mitad de estas emisiones de CO₂, se han producido desde mediados de la década de 1980.

Gráfico 2. Serie temporal Emisiones de CO₂



Fuente: Elaboración propia

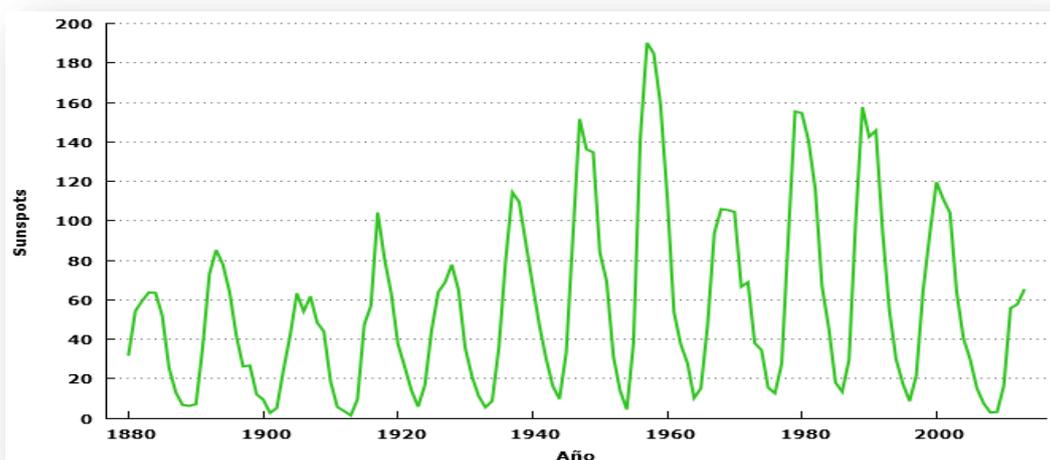
La estimación de las emisiones de carbono en 2013 ha sido de 9861,08 millones de toneladas métricas de carbón, que representa un máximo histórico y un aumento aproximado del 2% con respecto a 2012. Durante la crisis financiera mundial de 2008 – 2009, que trajo consigo consecuencias de uso económico y energético especialmente en Europa y América del norte, se observa un leve descenso en las emisiones pero en cuanto se empieza a observar

una leve recuperación en la economía mundial estas emisiones siguen una rápida tendencia creciente similar a la observada antes de la crisis (Boden, T.A., *et al*, 2010).

La energía que proviene del sol es otro factor que también debería tenerse en cuenta, ya que no es siempre la misma, depende en cierta medida de la cantidad de manchas solares, por lo que sería interesante conocer su relación con el calentamiento global. Dado esto, se establece Sunspots¹⁰ como variable explicativa relacionada con la teoría del calentamiento global natural. La variable está medida en el número promedio de manchas solares observada a lo largo de cada año, desde 1880 a 2013. Los datos han sido extraídos de Sunspot Index and Long-Term Solar Observations (SILSO).

En el Grafico 3. Se puede observar el comportamiento cíclico de las manchas solares. Dichos ciclos como hemos visto anteriormente tienen una duración de once años. Los picos representan el máximo del ciclo y además el pico más alto se encuentra aproximadamente en el año 1960.

Gráfico 3. Serie temporal SUNSPOTS (Número de manchas solares)



Fuente: Elaboración propia

Otra variable exógena del modelo es la variable ficticia protocolo de Kioto (PKIOTO), que hace referencia a la influencia de ciertas medidas adoptadas a partir de la firma del protocolo con el fin de hacer frente al fenómeno del calentamiento global mediante reducciones de emisiones de CO₂ producto de la actividad humana. La variable toma el valor cero para los años comprendido entre 1880 y 1996 y uno a partir de 1997.

¹⁰ Manchas solares en inglés

5. Modelo econométrico

De acuerdo con las lecturas realizadas, la búsqueda de datos de las posibles variables que pueden influir en el calentamiento global y las teorías expuestas en el apartado anterior, se ha diseñado inicialmente un modelo econométrico especificado como se muestra a continuación.

5.1. Especificación del modelo inicial

$$ATMG_t = \beta_0 + \beta_1 CO2_t + \beta_2 SUNSPOTS_t + \beta_3 PKIOTO_t + \xi_t$$

Donde,

- Y_t : $ATMG_t$: Anomalía en la temperatura media global anual, medida en grados centígrados. Datos recogidos de diversas estaciones meteorológicas a nivel mundial, y cada anomalía es el resultado de restar a la temperatura de un mes, el valor medio de la misma en el periodo de 1951 – 1980. Estos datos han sido transformados en datos anuales por CDIAC y son con los que se ha trabajado.
- X_1 : $CO2_t$: Emisiones de CO₂ por la quema de combustibles fósiles y producción de cemento, en millones de toneladas métricas de carbón.
- X_2 : $SUNSPOTS_t$: Número promedio de Manchas solares anuales.
- X_3 : $PKIOTO_t$: variable ficticia que toma el valor 1 después del año 1997 haciendo referencia a la fecha de aprobación del Protocolo de Kioto y 0 en caso contrario.
- ξ : termino de error.
- t : serie temporal que va desde 1880 a 2013 (T = 134 años.)

5.2. Estadísticos principales de las variables

En la Tabla 2 de estadísticos principales podemos observar que la anomalía media en las temperaturas globales en nuestra muestra es de -0,009 °C, siendo el número medio de manchas solares de 56,508 y las emisiones medias de CO₂ de 2901,600 millones de toneladas métricas de carbón.

Además podemos observar que la mediana, que es el valor central que deja el 50% de los valores a la derecha y el otro 50% a la izquierda del mismo, da un valor de -0,070 para la anomalía de la temperatura media global. Dados los datos de mínimo y máximo, las diferencias son significativas en todas las variables.

Tabla 2. Estadísticos principales

Variable	Descripción	Media	Mediana	Desviación Típica	Mínimo	Máximo
<i>ATMG_t</i>	Anomalía en la temperatura	-0,009	-0,070	0,291	-0,470	0,660
<i>PKIOTO_t</i>	Protocolo de Kioto	0,127	0,000	0,334	0,000	1,000
<i>SUNSPOTS_t</i>	Numero de manchas solares	56,508	47,200	44,943	1,400	190,200
<i>CO2_t</i>	Emisiones de CO2	2901,600	1391,500	2711,500	236	9861,100

Fuente : Elaboración propia

5.3. Análisis de correlación

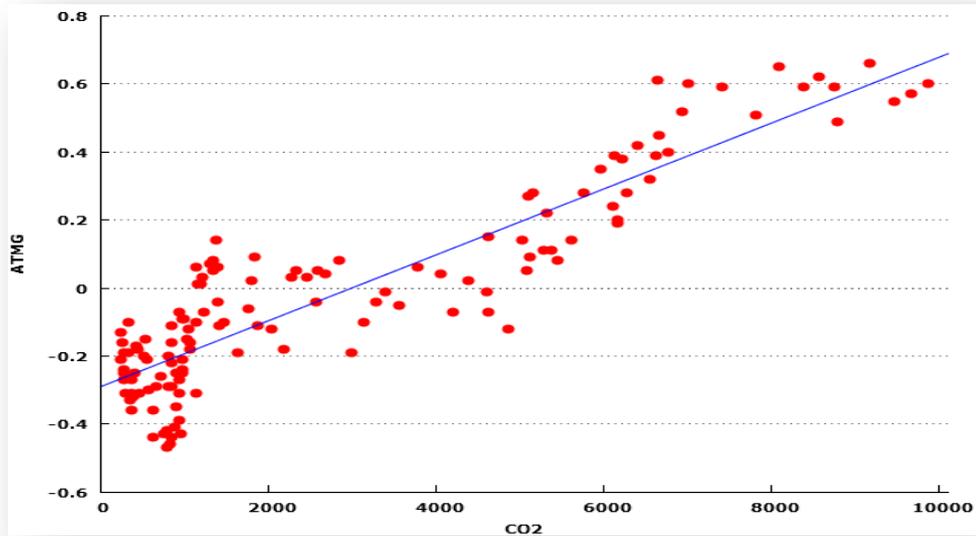
En la Tabla 3 se observan los coeficientes de correlación entre las variables, que como es sabido deben estar comprendidos entre -1 y 1. Cuanto más cercano a 1 el grado de correlación es positivo o directo y cercano a -1 se presenta un alto grado de correlación negativa o inversa. Si los valores se acercan a cero la correlación entre las variables puede llegar a ser nula.

Tabla 3. Coeficientes de correlación, usando las observaciones 1880 - 2013
Valor crítico al 5% (a dos colas) = 0.1697 para n = 134

ATMG	CO2	Sunspots	Pkyoto	
1	0,9047	0,1623	0,7391	ATMG
	1	0,1263	0,7237	CO2
		1	-0,0448	Sunspots
			1	Pkyoto

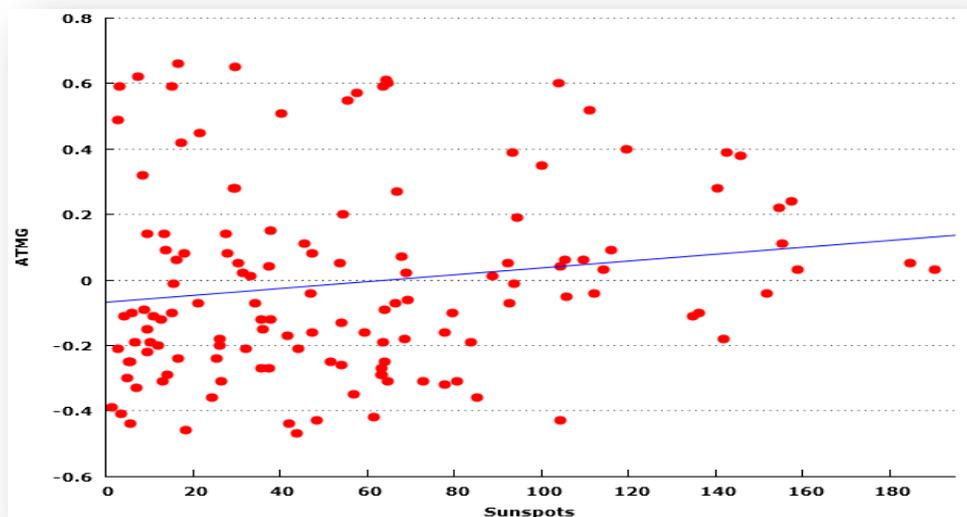
En vista de los datos obtenidos, la variable CO2 tiene una alta correlación positiva con la variable ATMG como se observa en el Gráfico 4, mientras que la variable SUNSPOTS parece que no tiene ninguna relación lineal con ATMG, ya que el valor es positivo pero muy próximo a cero. Ver Gráfico 5.

Gráfico 4. ATMG respecto a CO2



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5. ATMG respecto a SUNSPOTS



Fuente: Elaboración propia

La variable ficticia PKIOTO parece que presenta una alta relación lineal positiva con ATMG y CO2, pero casi nula con SUNSPOTS. Intentar explicar estas relaciones es tarea de este análisis y se llevará a cabo a lo largo de este trabajo.

5.4. Estimación por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) del modelo inicial

El modelo diseñado inicialmente es regresado por MCO, cuyos resultados quedan reflejados en la siguiente estimación:

Modelo 1. Usando las observaciones 1880 – 2013 (T= 134)

$$\widehat{ATMG}_t = -0,2025 + 0,0542CO2_t + 0,0005SUNSPOTS_t + 0,1731PKIOTO_t$$

$$\begin{matrix} (-15,19) & (14,33) & (2,11) & (3,82) \\ R^2 = 0,84 & & DW = 0,77 & \end{matrix}$$

Al estimar el modelo 1 se observa que:

- ◆ los resultados aparentemente son adecuados
- ◆ Tanto los valores del estadístico t (valores entre paréntesis) para todas las variables así como el coeficiente de determinación (R^2) son altos.
- ◆ El valor que toma Durbin Watson (DW) es 0,77, cercano a cero, y si contrastamos la existencia de un proceso autorregresivo de orden 1 AR (1) mediante el contraste de Durbin – Watson, vemos que se rechaza la hipótesis nula de no autocorrelación.
- ◆ El contraste de Breusch y Godfrey para detectar la presencia de autocorrelación de orden 1, da un valor para el estadístico de contraste de 50,255 con el cual se rechaza la hipótesis nula de no autocorrelación a favor de la existencia de autocorrelación en el modelo.

Cuando se obtienen resultados como éstos, teniendo en cuenta la evolución temporal de las series incluidas en el modelo, existe el riesgo de obtener relaciones espurias cuando en realidad las series no están relacionadas y es necesario realizar un análisis más detallado de las series (excepto la variable ficticia), para poder confirmar la posible existencia de este tipo de relaciones en el modelo.

6. Evidencia de regresiones espurias

Según la información recogida hasta el momento estamos en presencia de dos series como son ATMG y CO2, que crecen de una manera similar y que pueden presentar una raíz unitaria como se observa en el Gráfico 6.

Los resultados de la estimación del modelo 1 a simple vista parecen buenos, debido a que ambas series generan una alta correlación y se mueven juntas a lo largo del tiempo. Esta aparente relación puede estar causada por la falta de estacionariedad de ambas variables, provocando la existencia de regresiones espurias cuando en realidad las variables pueden no estar relacionadas.

Chiarella y Gao (2002) plantean la existencia de una alta probabilidad de estar ante una regresión espuria cuando se tiende a aceptar una relación falsa o rechazar una verdadera. En inferencia estadística existen dos tipos de errores que pueden ocurrir, el error tipo I que consiste en rechazar una hipótesis que es verdadera y el error tipo II aceptar una hipótesis falsa. Por tanto también en este caso se podría deducir que existen dos tipos de regresiones espurias, la tipo I que se refiere a rechazar una relación verdadera y tipo II aceptar una relación cuando es falsa.

En un artículo de Granger y Newbold (1974) se argumentaba que las regresiones espurias son aquellas existentes entre dos variables que muestran características como:

- ◆ No mantiene entre sí una relación causal
- ◆ Cuando se estima un modelo econométrico temporal en donde se relaciona una con la otra, se observa un elevado valor en la bondad del ajuste y un valor del estadístico DW muy bajo e inferior a 2.
- ◆ Estimadores estadísticamente significativos (estadísticos t y F elevados que rechazan la H_0).

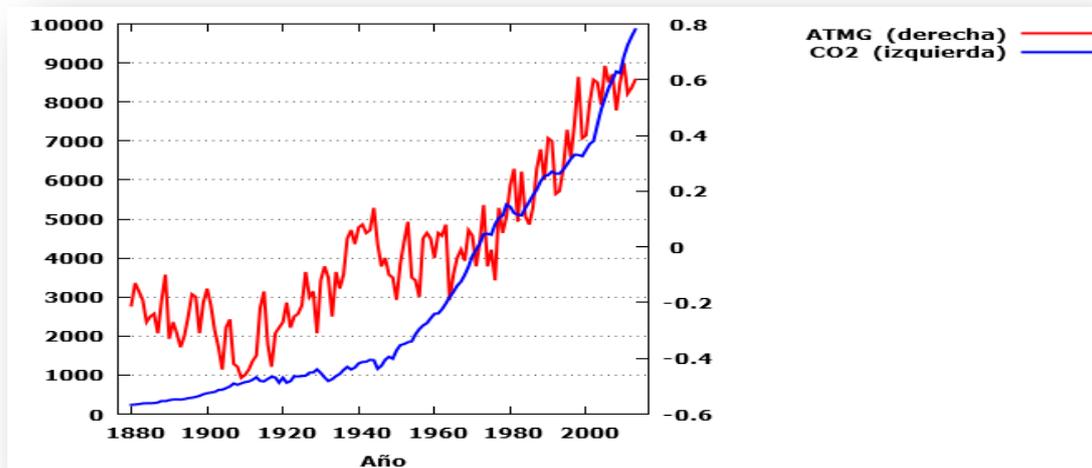
Entre sus conclusiones destacaban que la regresión de un paseo aleatorio sobre otro tiende a aceptar falsamente una relación inexistente (error tipo II) y casi con certeza obtener una relación significativa incluso si los dos son independientes. Granger y Newbold, junto con Philips (1986) afirmaron que la utilización de datos caracterizados por tener raíces unitarias conduciría a este fenómeno con serios errores en las inferencias.

Ambos llegaron a la conclusión de que esta situación podría deberse al carácter no estacionario de la perturbación aleatoria motivado por la inexistencia de la relación causal entre las dos variables. De acuerdo con esto es necesario analizar la estacionariedad de la perturbación aleatoria, ya que es una hipótesis que debe cumplirse en los modelos que están bien especificados. Afirman también que los bajos valores de DW podrían deberse no solo a la posible presencia de autocorrelación, con perturbación aleatoria estacionaria sino a la propia falta de estacionariedad de la perturbación.

Al realizar regresiones de series temporales no estacionarias en diferencias, con el fin de evitar regresiones espurias tipo II, puede llevarnos a obtener regresiones espurias de tipo I, es decir rechazar la relación entre las series en niveles (desaparecen las relaciones) debido a que la correlación entre las series no es una relación invariante, sino que depende del orden de integración de las series temporales. Diferenciando se corrige la autocorrelación y se obtienen series estacionarias (reducción del grado de integración), pero en el largo plazo las

series pierden información contenida en los niveles, gracias a los errores sistemáticos. (Chiarella y Gao, 2002)

Gráfico 6. Serie ATMG y CO2 contra el tiempo



Fuente: Elaboración propia

7. Análisis preliminar de las variables ATMG, CO2 y SUNSPOTS

7.1. Gráficos de series temporales y correlogramas

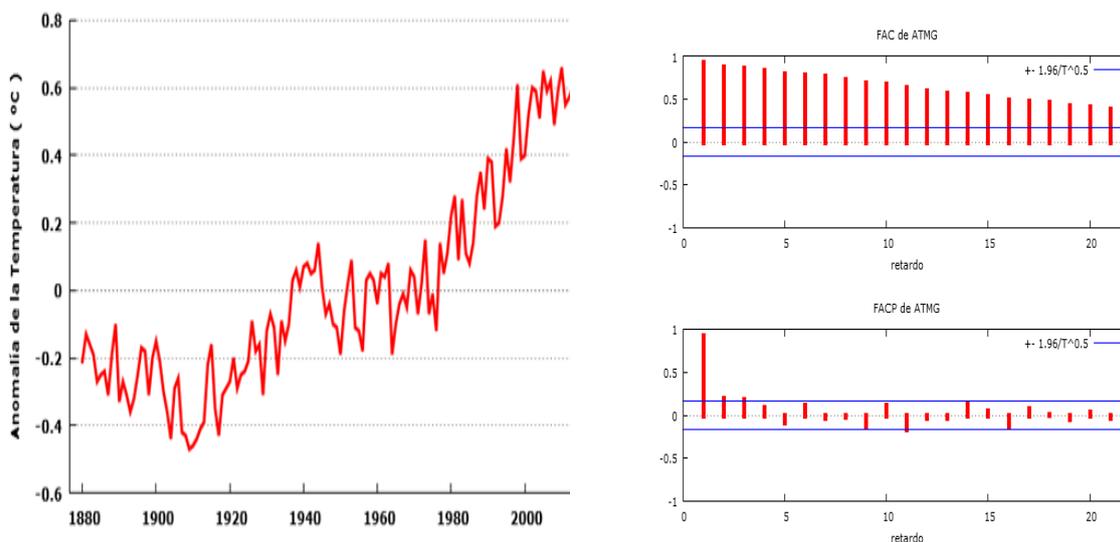
En este apartado, apoyado de los Gráficos 7, 8 y 9, vemos el comportamiento de las variables ATMG, CO2 y SUNSPOTS. Las series temporales de ATMG y CO2, parecen estar altamente relacionadas. Es habitual observar en las series tendencias crecientes que puede ser resultado de un proceso generador de datos (PGD) con raíz unitaria y una constante o un proceso estacionario alrededor de una tendencia.

Para iniciar a analizar con más detalle y conocer mejor el comportamiento de cada variable se realiza un gráfico contra el tiempo de cada una de las variables pero sin incluir la variable ficticia (PKIOTO). Además se obtiene el correlograma que representa gráficamente los valores de la Función Autocorrelación (FAC) y Autocorrelación Parcial (FACP) para tener información previa que luego deberá ser contrastada.

El ritmo de crecimiento de ATMG como se observa en el Gráfica 7, varía a lo largo de la serie y se puede dividir en tres subperiodos, uno que va de 1880 a 1910 aproximadamente con una tendencia decreciente y oscilaciones amplias que toman valores únicamente por debajo de 0 °C, otro a partir de 1910 hasta 1950 creciente pero con oscilaciones similares

alcanzando hacia 1940 valores positivos por encima de 0 °C y un último subperiodo comprendido desde 1950 a 2013 con un ritmo de crecimiento más intenso pero con oscilaciones relativamente constantes y con valores únicamente por encima de 0 °C.

Gráfico 7. Serie temporal y Correlograma de la variable ATMG



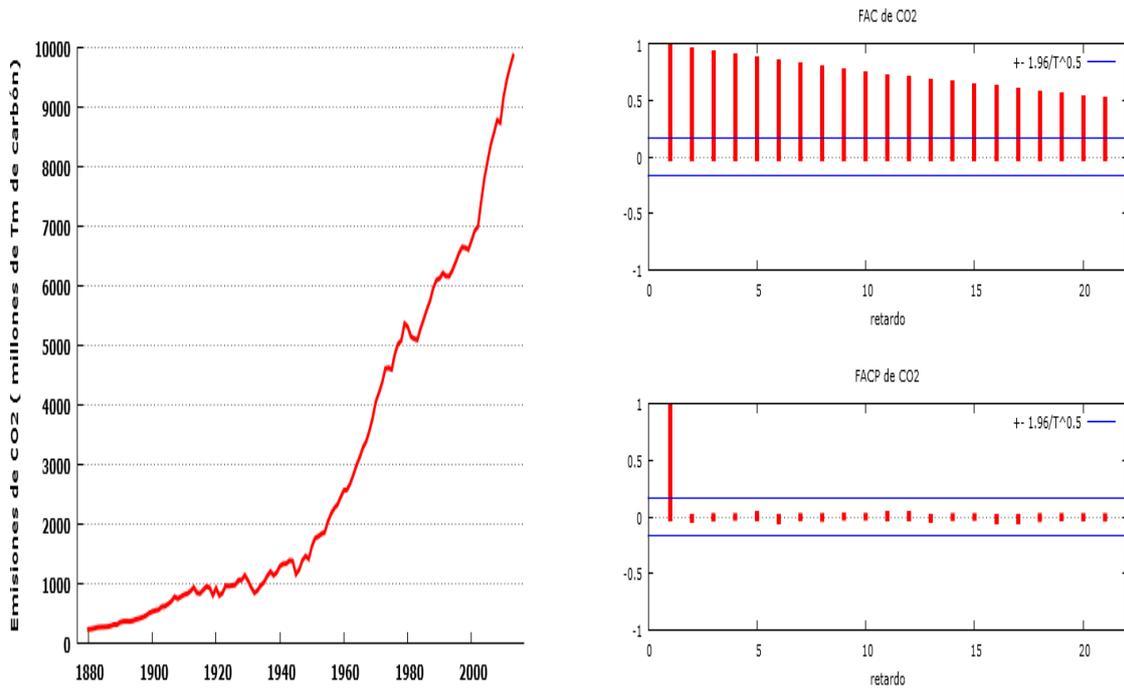
Fuente: Elaboración propia

En el correlograma se puede observar que los valores de la FAC tienden a cero muy lentamente por lo que se puede sospechar de la no estacionariedad de la variable. La serie de la variable CO₂, como se puede ver en el Gráfico 8, a diferencia de la variable ATMG, refleja una tendencia claramente creciente. El crecimiento es moderado entre 1880 y 1950 aproximadamente, pero se acelera a partir de esta fecha aunque alrededor de 1980 se observa un leve descenso. Desde 1980 el crecimiento es continuo y fuerte sin ningún cambio notable.

Al igual que la variable ATMG la FAC nos da indicios de que se trata de una variable no estacionaria ya que los valores se van acercando a cero de una forma muy suave. Lo contrario se observa en el Gráfico 9, correspondiente a la serie SUNSPOTS, no hay síntomas de un comportamiento similar a las otras dos series, pero sí de un fuerte comportamiento cíclico.

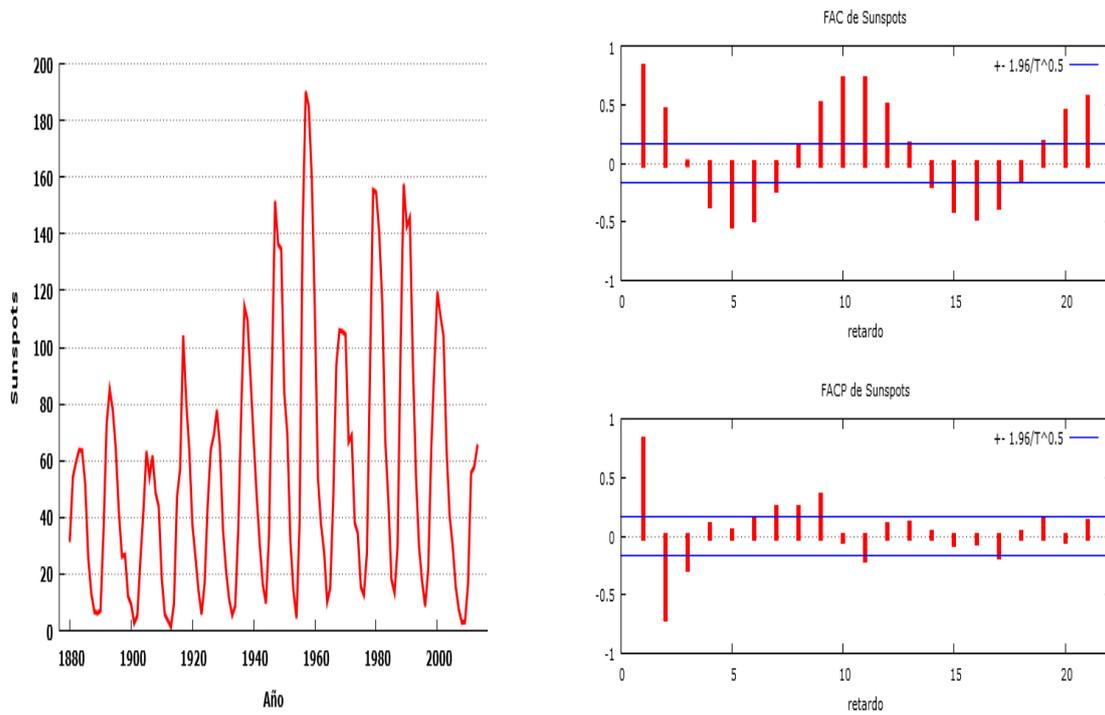
El resultado del análisis preliminar permite intuir que la variable ATMG y CO₂ son variables con una raíz unitaria, mientras que la variable SUNSPOTS parece que no lo es. Esta hipótesis no es concluyente, es necesario realizar un contraste adecuado de raíz unitaria a través del contraste Dickey – Fuller, para conocer el orden de integración de cada una de las variables y poder confirmar la presencia o ausencia de raíces unitarias.

Gráfico 8. Serie temporal y Correlograma de la variable CO2



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 9. Serie temporal y Correlograma de la variable SUNSPOTS



Fuente: elaboración propia

7.2. Contraste de Raíz Unitaria - Dickey Fuller

Cuando una serie no es estacionaria en covarianza, es decir cuando no es integrada de orden cero $I(0)$, podemos decir que presenta al menos una raíz unitaria, lo que puede ser contrastado mediante el test de Dickey - Fuller simple, basado en un modelo autorregresivo AR (1).

Para contrastar se puede asumir que las series pueden seguir cualquiera de los tres casos siguientes: Un modelo sin componente determinista (1), un AR (1) más una constante (2) y por ultimo un modelo AR (1) con tendencia determinista y constante (3).

$$ATMG_t = \rho ATMG_{t-1} + u_t \quad \mu = \beta = 0 \quad (1)$$

$$ATMG_t = \mu + \rho ATMG_{t-1} + u_t \quad \beta = 0 \quad (2)$$

$$ATMG_t = \mu + \beta t + \rho ATMG_{t-1} + u_t \quad (3)$$

$$u_t \sim N(0, \sigma_u^2)$$

Donde μ , ρ y β son parámetros a estimar y u es el término de error que se asume que cumple las propiedades de ruido blanco.

Pero en este análisis se usa el contraste de Dickey – Fuller teniendo en cuenta que el error puede que no cumpla las propiedades de ruido blanco. Para casos como este se dispone del test ampliado de Dickey - Fuller (ADF) que considera otros esquemas de autocorrelación.

Para contrastar la existencia de raíz unitaria, establecemos las siguientes regresiones con las variables en niveles y las primeras diferencias de ATMG y CO2 con constante y tendencia, y la variable SUNSPOTS sin tendencia.

1. $SUNSPOTS_t = \beta_0 + \rho SUNSPOTS_{t-1} + \sum_{i=1}^r \rho_i SUNSPOTS_{t-i} + \xi t$
2. $ATMG_t = \beta_0 + \beta_1 t + \rho ATMG_{t-1} + \sum_{i=1}^r \rho_i ATMG_{t-i} + \xi t$
3. $CO2_t = \beta_0 + \beta_1 t + \rho CO2_{t-1} + \sum_{i=1}^r \rho_i CO2_{t-i} + \xi t$
4. $\Delta ATMG_t = \beta_0 + \beta_1 t + \gamma ATMG_{t-1} + \sum_{i=1}^r \gamma_i \Delta ATMG_{t-i} + \xi t$
5. $\Delta CO2_t = \beta_0 + \beta_1 t + \gamma CO2_{t-1} + \sum_{i=1}^r \gamma_i \Delta CO2_{t-i} + \xi t$

ρ y γ son parámetros a estimar que determinan la existencia o ausencia de raíz unitaria. Las series ATMG y CO2 presentan una tendencia creciente, por lo que es sensato establecer las regresiones con constante y con tendencia, aunque es necesario tener en cuenta que si se incluyen regresores irrelevantes en el test se reduce el poder de contraste, pudiendo concluir la posible existencia de una raíz unitaria cuando en realidad no existe.

ρ toma valores entre $-1 < \rho < 1$ ya que es un coeficiente de autocorrelación y si $\rho = 1$ entonces, $\gamma = 0$ ya que $\gamma = (\rho - 1)$, por lo que la serie en cuestión tendría una raíz unitaria. En el caso de que este parámetro tome valores mayores que la unidad la serie es explosiva. De esta manera evaluar la estacionariedad de una serie se puede realizar analizando si el valor absoluto de ρ es estrictamente menor que uno, o equivalentemente que γ sea menor que cero.

Este contraste especifica las hipótesis de igual manera que el DF simple. Bajo la hipótesis nula la variable es integrada de orden uno (X_t es $I(1)$) o no estacionaria y bajo la alternativa no lo es (X_t es $I(0)$) por lo que será estacionaria.

$$\begin{aligned}
 H_o : \quad \rho = 1 &\rightarrow \gamma = 0 && I(1) \\
 H_a : \quad \rho < 1 &\rightarrow \gamma < 0 && I(0)
 \end{aligned}$$

En la Tabla 4 se observan los resultados del contraste para cada serie original y su primera diferencia. Contrastar la serie diferenciada nos permite analizar, si basta con tomar una diferencia para lograr estacionariedad. Los resultados del contraste DFA para las series de ATMG y CO2 en niveles permiten concluir que, como el p-value que corresponde a la probabilidad de equivocarnos si rechazamos la H_o es mayor que 0,05, el nivel de significación de la prueba, entonces no podemos rechazar la H_o , por lo tanto la serie tiene una raíz unitaria, es decir ATMG y CO2 son no estacionarias o integradas de orden uno $I(1)$.

El contraste en las primeras diferencias de cada variable arroja los siguientes datos: El p-value obtenido en las variables en primeras diferencias es mucho menor que el nivel de significación (5 %), lo que lleva a rechazar la hipótesis nula de no estacionariedad, es decir estamos ante variables que no poseen raíz unitaria y es $I(0)$.

Con la variable SUNSPOTS tomada en niveles el contraste confirma la no existencia de una raíz unitaria en la serie, ya que el p-value es menor que el nivel de significación de la prueba (5 %).

Tabla 4. Contraste DFA: Niveles de las tres series y Primeras diferencias ATMG y CO2

variable	Regresión	Estadístico de contraste	P- value	Retardos	Tamaño muestra	Raíz
$SUNSPOTS_t$	β_0	-8,584	9,03E-15	2	131	$I(0)$
$ATMG_t$	$\beta_0 + \beta_1 t$ *	-2,477	0,339	3	130	$I(1)$
$CO2_t$	$\beta_0 + \beta_1 t$ *	0,919	0,999	1	132	$I(1)$
$\Delta ATMG_t$	$\beta_0 + \beta_1 t$ *	-10,663	1,57E-22	2	130	$I(0)$
$\Delta CO2_t$	$\beta_0 + \beta_1 t$ *	-8,732	2,47E-11	1	132	$I(0)$

* Regresión con constante y tendencia determinista
Fuente : Elaboración propia

7.3. Estimación MCO del modelo en primeras diferencias

La serie ATMG en primeras diferencias presenta una clara estacionariedad, pero la variable CO2, es posible que tomada en diferencias presente un problema de heterocedasticidad que se puede corregir, tomando la variable en tasas de crecimiento (logaritmos), y luego en sus diferencias. El planteamiento de un nuevo modelo en diferencias permite que la relación espuria que presentaba el modelo original haya desaparecido, por lo tanto estimar el nuevo modelo por mínimos cuadrados ordinarios da resultados muy diferentes a los establecidos en el apartado 5.4.

El resultado de la estimación del modelo es el siguiente:

Modelo 2. MCO usando las observaciones 1881 – 2013 (T= 133)

$$\Delta \widehat{ATMG}_t = 0,0104 - 1,4425 \Delta \text{Log}CO2_t + 0,0474 \Delta \text{SUNSPOTS}_t + 0,0104 \text{PKIOTO}_t$$

(0,977)
(-1,186)
(0,212)
(0,360)

$R^2 = 0,012$
 $DW = 2,55$

- ◆ el estadístico DW es 2,55, alejado del valor cero que implica autocorrelación positiva como sucede en el caso de regresiones espurias. En este caso incluso hay evidencia de AR (1) con coeficiente negativo.
- ◆ Al existir autocorrelación los estimadores adecuados para contrastar la significatividad de los parámetros, son los HAC (Heteroskedasticity and

Autocorrelation Consistent) de la matriz de varianzas y covarianzas del estimador MCO. Al realizar la estimación se obtienen los siguientes resultados:

$$\Delta \widehat{ATMG}_t = 0,0104 - 1,4425 \Delta \text{LogCO2}_t + 0,0474 \Delta \text{SUNSPOTS}_t + 0,0096 \text{PKIOTO}_t$$

(1,372)	(-1,267)	(0,303)	(0,717)
	$R^2 = 0,012$	$DW = 2,55$	

Donde,

- ◆ Ninguna de las variables es significativa
- ◆ la bondad del ajuste es muy pequeño
- ◆ Existe autocorrelación negativa
- ◆ El error tipo II mencionado en el apartado 6 se corrige trabajando con modelos en diferencias, pero la pérdida de información en el largo plazo es relevante.

Dado esto, los economistas continúan hablando de la necesidad de trabajar con los niveles de las variables. Por ejemplo Sargan (1964) introduce un mecanismo para la corrección del error de tal forma que se pueda retener la información perdida en caso de utilizar las variables diferenciadas. En relación a este mecanismo, Engle y Granger (1987) demuestran la existencia de un mecanismo corrector de errores subyacentes a las series temporales y aseguran que un modelo VAR¹¹ con variables diferenciadas se traduce en un modelo mal especificado si dichas variables están cointegradas.

Para evitar en la medida de lo posible ambos tipos de regresiones espurias (tipo I y tipo II), nos decantamos en este trabajo por analizar las relaciones entre las variables mediante modelos dinámicos (Chiarella y Gao, 2002).

8. Análisis modelo dinámico

Se ha decidido especificar un modelo dinámico, ya que la teoría económica establece que en la mayoría de los casos las relaciones entre la variable endógena y las exógenas son dinámicas¹². Dado que algunas variables presentan bastante inercia, lo que hace que una variable dependa de su propio pasado, lo conveniente sería utilizar como variable explicativa

¹¹ Vector de Autorregresión, vector columna de k variables aleatorias modelizado en términos de valores pasados de dicho vector. Ver Greene (1999, p. 735-736)

¹² Algunas razones son : a) El impacto de una variable sobre otra solo se observa tras un cierto tiempo, b) el impacto aunque sea instantáneo se deja ver durante un cierto número de periodos, c) o ambos casos a) y b) a la vez.

la endógena retardada, y tantos retardos como sean necesarios de igual manera con las exógenas.

Se establecen modelos dinámicos porque las variables pueden estar relacionadas en diferentes momentos del tiempo y el efecto de una variable exógena puede extenderse sobre varios periodos. Además el modelo dinámico que proponemos es un modelo ADL (Autoregressive Distributed Lag), que puede considerarse como un modelo ECM (Error Correction Model) sin restringir y nos permite la estimación fiable de los parámetros en el caso de que exista cointegración (Stock and Watson, 1993).

8.1. Especificación modelo dinámico

Se considera el siguiente modelo teórico ADL:

$$Y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^k \alpha_i Y_{t-i} + \sum_{s=1}^m \sum_{i=0}^k \beta_{s,i} X_{s,t-i} + u_t$$

Las variables incluidas en el modelo inicial formarán parte del modelo dinámico junto con **seis retardos** cada una, excepto la variable ficticia. La incorporación de estos retardos está justificada en la teoría de los modelos de expectativas adaptativas de P. Cagan (1956) y de rezagos distribuidos de Koyck (1954). Como la técnica a utilizar es de lo general a lo específico, empezaremos eliminando aquellos retardos que no son estadísticamente significativos en el modelo.

Modelo dinámico inicial (1)

$$ATMG_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \sum_{i=0}^6 \beta_i CO2_{t-i} + \sum_{i=0}^6 \lambda_i SUNSPOTS_{t-i} + \sum_{i=1}^6 \gamma_i ATMG_{t-i} + \mu PKIOTO_t + u_t$$

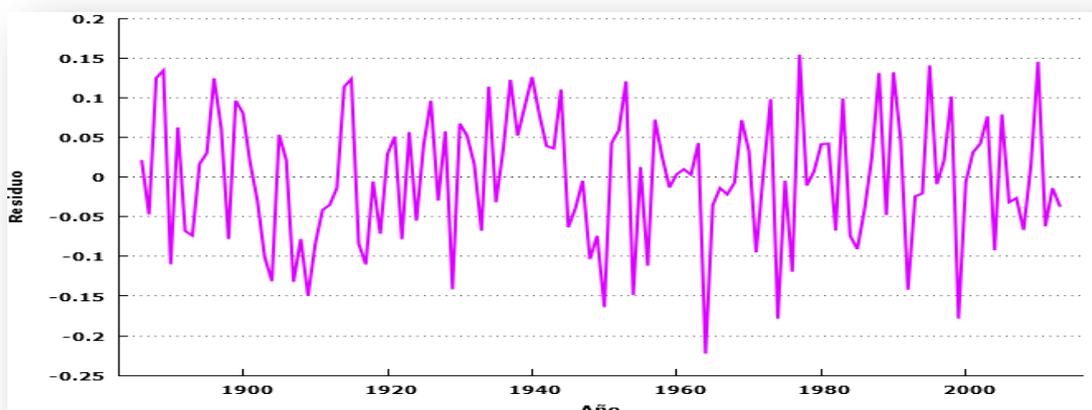
8.2. Estimación del modelo dinámico inicial

Cabe señalar que la anomalía de la temperatura no solo está relacionada con las emisiones de CO2 del año actual, sino que depende de las emisiones de años anteriores, pero

no se sabe si sucede lo mismo con la variable SUNSPOTS, aunque también se han tomado retardos de esta variable. En la estimación por MCO del modelo dinámico 1 (ver Apéndice 1) parece que:

- ◆ El ajuste es bueno ya que el valor que toma el $R^2 = 0.92$ está muy cercano a 1.
- ◆ Únicamente podríamos considerar significativamente relevante al primer retardo de la endógena.
- ◆ Las emisiones CO2 de seis años atrás parece que se quedan al límite de ser significativas.
- ◆ Claramente las SUNSPOTS actuales y hasta seis años atrás, no son significativas por lo que al parecer, no influyen en la anomalía de la temperatura actual.
- ◆ Al contrastar mediante Breush y Godfrey la existencia de un proceso autorregresivo AR (p) o MA (p), suponiendo $p = 6$, obtenemos un estadístico de contraste = 11,34 menor que el valor de una $\chi^2_{(6)} = 12,59$, es decir no se rechaza la hipótesis nula a un nivel de significación $\alpha = 5 \%$. Por lo tanto este modelo no presenta problemas de autocorrelación.
- ◆ Problema de heterocedasticidad parece que no se observa en el Gráfico 10. A simple vista se puede intuir que la varianza de las perturbaciones de ATMG se mantienen a lo largo del tiempo, pero si contrastamos dicha hipótesis obtenemos, que al realizar el contraste de White el resultado del estadístico de contraste es 47,4362, menor que el valor que toma una $\chi^2_{(43)} = 59,3035$. Por lo que se puede asegurar que las perturbaciones en este modelo son homocedasticas.

Gráfico 10. Residuos de la regresión contra el tiempo



Fuente: Elaboración propia

En vista de los resultados que se han obtenido, podemos empezar eliminando uno a uno aquellos retardos que resultan ser no significativos. Hemos comprobado que MCO es un estimador con buenas propiedades y que conviene contrastar heterocedasticidad y auto correlación para poder contrastar la significatividad de los parámetros. A continuación se estima por MCO hasta encontrar un modelo con mejores características. En este caso se eliminan los retardos de SUNSPOTS y la propia variable, porque no resultan ser significativos en ninguno de los casos. Esta modificación no ha causado ningún cambio sustancial, lo único que se puede observar es que el primer retardo de CO₂ empieza a ser un tanto significativo, aunque en menor medida, y la variable ficticia pierde la mínima significatividad que presentaba en el modelo. (Ver Apéndice 2)

Al eliminar esta variable estamos descartando la teoría del calentamiento global natural, ya que SUNSPOTS es la variable característica de ésta teoría. Esto nos lleva a afirmar que las variaciones en las anomalías de las temperatura media global, en ningún caso queda explicada por la cantidad de manchas solares.

Se sigue con el mismo proceso en cada modelo, verificamos que no exista autocorrelación ni heterocedasticidad, y en el caso de que haya es necesario utilizar estimadores de varianzas y covarianzas HAC para obtener resultados fiables en los contrastes, pero de continuar igual que en el modelo 1, MCO es el adecuado. Empezamos a eliminar los retardos 4, 3,2 de la variable CO₂, que no han sido significativos hasta el momento, pero no observamos ninguna alteración importante (Ver Apéndice 3). Continuamos eliminando los retardos de la endógena 6, 5, 3,2 y el resultado de la estimación del modelo dinámico 4 es el siguiente:

Modelo dinámico 4. MCO, Usando las observaciones 1886 – 2013 (T= 128)

Variable dependiente: ATMG					
Variable	Coeficiente	Desv. Típica	Estadístico t	Valor p	
const	-3,202580000	1,3491	-2,3738	0,0192	**
Año	0,001632500	0,0007	2,3284	0,0216	**
CO2	-0,000162437	8,57E-05	-1,8943	0,0606	*
CO2_1	0,000217398	9,88E-05	2,1998	0,0298	**
CO2_5	-0,000268060	0,0001	-2,5368	0,0125	**
CO2_6	0,000224192	9,25E-05	2,4232	0,0169	**
Pkyoto	0,080640100	0,0405	1,9915	0,0487	**
ATMG_1	0,449945000	0,0765	5,8852	<0,00001	***
ATMG_4	0,222184000	0,0741	2,9972	0,0033	***
SCR	0,9073	R-cuadrado corregido		0,9119	
R-cuadrado	0,9174	h de Durbin		-0,4255	
F(8, 119)	165,2195	rho		-0,0192	

- ◆ Se obtiene un R^2 alto
- ◆ Las variables son significativas aunque algunas quedan en el límite.
- ◆ Para que sea un buen modelo, se debe contrastar la existencia o no de autocorrelación y de heterocedasticidad.

8.3. Contraste de heterocedasticidad

Para contrastar la posible presencia de heterocedasticidad en el modelo, se ha utilizado el contraste de Breusch y Pagan. Es un contraste general con validez asintótica y cuyas hipótesis están establecidas de la siguiente manera:

$$H_0 : \text{Var}(u_t) = \sigma^2 = f(\alpha_0) \quad \forall t, \quad \text{Homocedasticidad } y$$

$$H_a : \text{Var}(u_t) = \sigma_t^2 = f(\alpha_0 + \alpha_1 Z_{1t} + \alpha_2 Z_{2t} \dots + \alpha_p Z_{pt}) \quad \text{Heterocedasticidad,}$$

donde, las variables Z_{jt} son las variables explicativas del modelo. Dada la regresión auxiliar de los residuos MCO al cuadrado sobre las variables explicativas, se obtiene la $SCE = 5,9789$ por lo que el valor del estadístico de contraste es:

$$BP = \frac{SCE}{2} = 2,9895$$

Como $BP \sim \alpha, H_0 \chi^2_{(p)}$, donde (p) es el número de grados de libertad (número de variables en la hipótesis alternativa sin incluir la constante), la regla de decisión será rechazar H_0 si el valor del BP es mayor que $\chi^2_{(8)}$, a un nivel de significación del 5 %. En este caso como el valor de $\chi^2_{(8)} = 15,5073$ es mayor que BP , entonces no se rechaza la H_0 de homocedasticidad a un nivel de significación $\alpha = 0,05$, es decir en el modelo no existen problemas de heterocedasticidad.

8.4. Contraste de autocorrelación

Al estar trabajando con modelos dinámicos, lo adecuado sería utilizar el contraste de Breusch y Godfrey, para detectar si existe o no autocorrelación en el modelo. Este contraste tiene validez asintótica y se puede especificar en función de los parámetros del proceso que

define a las perturbaciones, y que puede ser autorregresivo o de medias móviles. Las hipótesis están definidas de la siguiente manera:

$$H_0 : u \sim (0, \sigma^2 I) \quad \text{o} \quad \text{ruido blanco} \quad y,$$

$$H_a : u_t = \phi_1 u_{t-1} + \phi_2 u_{t-2} + \dots + \phi_n u_{t-n} + \varepsilon_t \quad \text{Puede ser AR o MA}$$

El estadístico de contraste $BG = (T - n)R_u^2 \sim \chi_{(n)}^2$, donde n es el orden de la autocorrelación en la hipótesis alternativa. La regla de decisión será rechazar H_0 si el valor de BG es mayor que $\chi_{(n)}^2$, a un nivel de significación del 5 %. En este caso como el valor de $\chi_{(8)}^2 = 15,50$, mayor que $BG = 4,31$, por lo que no se rechaza la H_0 de no autocorrelación a un nivel de significación $\alpha = 0,05$. Podríamos comprobar que para cualquier $n < 8$ el resultado sería el mismo que antes, es decir no se rechaza la H_0 .

$$n = 6 \rightarrow BG = 3,365 < \chi_{(6)}^2 = 12,592$$

$$n = 4 \rightarrow BG = 0,747 < \chi_{(4)}^2 = 9,488$$

$$n = 2 \rightarrow BG = 0,597 < \chi_{(2)}^2 = 5,991$$

8.5. Interpretación de los coeficientes

Para interpretar los coeficientes estimados planteamos el modelo 4 de la siguiente manera y los resultados se presentan sin aproximación: (ver Apéndice 4)

$$\widehat{ATMG}_t = \widehat{\alpha}_0 + \widehat{\alpha}_1 t + \widehat{\beta}_0 CO2_t + \widehat{\beta}_1 CO2_{t-1} + \widehat{\beta}_5 CO2_{t-5} + \widehat{\beta}_6 CO2_{t-6} \\ + \widehat{\gamma}_1 ATMG_{t-1} + \widehat{\gamma}_4 ATMG_{t-4} + \widehat{\mu} PKIOTO_t$$

Efecto inmediato:

$$\frac{\partial \widehat{ATMG}_t}{\partial CO2_t} = \widehat{\beta}_0 = -0,000162437$$

El aumento de un millón de toneladas métricas de carbón se estima que provoca un efecto inmediato negativo sobre la anomalía de la temperatura. Parece tener un signo poco coherente con la teoría, aunque si observamos el efecto un año después, el resultado es positivo como se esperaba y parece apoyar la teoría del calentamiento antropogénico, es decir que un aumento en las emisiones de CO_2 provoca un aumento en la anomalía de la

temperatura, pero no contemporáneamente, sino a partir del año siguiente a las emisiones. El efecto posterior está definido como:

Efecto un año después:

$$\frac{\partial \widehat{ATMG}_{t+1}}{\partial CO2_t} = \widehat{\beta}_1 + \widehat{\gamma}_1 \frac{\partial \widehat{ATMG}_t}{\partial CO2_t} = \widehat{\beta}_1 + \widehat{\gamma}_1 \widehat{\beta}_0 = 0,000144311$$

Observamos que el aumento de un millón de toneladas métricas de carbón en el año t aumenta la anomalía de la temperatura del año siguiente en 0,000144311 °C. El signo es coherente, ya que se espera que las emisiones de hoy tengan un efecto en la temperatura de mañana.

Por último, el efecto esperado a largo plazo es muy pequeño pero positivo, lo que es coherente con la teoría de que con el paso del tiempo, las emisiones acumuladas de CO₂ en la atmosfera provocan un incremento de la anomalía en la temperatura.

$$\text{Efecto total a largo plazo} = \frac{\widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 + \widehat{\beta}_5 + \widehat{\beta}_6}{1 - \widehat{\gamma}_1 - \widehat{\gamma}_4} = 0,000033833$$

El coeficiente que acompaña la variable año, tiene un valor estimado positivo e igual a 0,0016325. Esto significa que el paso del tiempo tiene un efecto positivo sobre la anomalía de la temperatura, pero debido a causas desconocidas y que no se pueden atribuir a las variables incluidas en este modelo.

El valor del coeficiente de la variable PKIOTO = 0,0806, refleja que los resultados del protocolo no son los esperados. Desde 1997, año en que se ratificó el protocolo, hasta la fecha no se han logrado los objetivos de reducir las emisiones de CO₂, y como resultado las anomalías de las temperaturas en lugar de disminuir siguen aumentando.

9. Conclusiones

Cuando trabajamos con series temporales, se debe tener en cuenta que dichas series pueden presentar características que requieren de un análisis especial. La presencia de raíces unitarias en las series, por ejemplo, puede provocar la existencia de aparentes relaciones entre ellas que en realidad no son ciertas, obteniendo regresiones espurias de tipo II. Si corregimos este error mediante diferenciación de las variables, tenemos una probabilidad alta de incurrir en el error tipo I, es decir rechazar verdaderas relaciones, debido a que se pierde información sobre las relaciones entre las variables a causa de la diferenciación.

Una alternativa para analizar estas series, hubiese sido llevar a cabo un estudio de las variables bajo la teoría de la cointegración, pero dada su complejidad se ha omitido en este proyecto.

Optar por usar modelos dinámicos ADL es una solución alternativa para analizar series temporales, sin incurrir en ningún error (tipo I o tipo II), porque trabajando con los niveles de las variables no perdemos información y obtenemos estimaciones fiables.

En nuestro análisis encontramos que la variables SUNSPOTS, que representa la teoría del calentamiento global natural, no es significativa para explicar las variaciones en la temperatura global, llegando a la conclusión de no apoyar la influencia natural en el calentamiento global.

El efecto del protocolo de Kioto es contrario a lo esperado. Cabe resaltar que la no ratificación de grandes países emisores de CO₂ y el incumplimiento de los objetivos que se estipulan en el mismo, conllevan a un aumento en las temperaturas en lugar de una disminución en el corto plazo. Es posible que podamos observar un resultado distinto en el largo plazo, ya que desde el año 1997 hasta 2013, son pocos años para encontrar una influencia real de esta variable dentro de la serie utilizada en el análisis.

Según este trabajo, el calentamiento global está fundamentado por la teoría que afirma que las emisiones de CO₂ producto de la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento provocadas por la actividad humana, es la causa fundamental de este fenómeno. Por lo que es necesario tomar medidas más drásticas que las impuestas en el protocolo de Kioto para mitigarlo, ya que seguimos siendo dependientes del consumo de este tipo de energía.

10. Apéndice

[1] Modelo dinámico 1.

MCO, usando las observaciones 1886-2013 (T = 128)

Variable dependiente: ATMG

	<i>Coefficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
constante	-2.23532	1.69086	-1.3220	0.18904	
año	0.00111702	0.00089029	1.2547	0.21239	
CO2	-0.000186378	9.65798e-05	-1.9298	0.05633	*
CO2_1	0.000248218	0.000152446	1.6282	0.10647	
CO2_2	7.40008e-06	0.000156222	0.0474	0.96231	
CO2_3	-3.3557e-05	0.00015363	-0.2184	0.82752	
CO2_4	2.82975e-05	0.000154895	0.1827	0.85540	
CO2_5	-0.00028317	0.000163132	-1.7358	0.08553	*
CO2_6	0.000233312	0.000104154	2.2401	0.02719	**
Sunspots	0.000242181	0.000518182	0.4674	0.64121	
Sunspots_1	6.27649e-05	0.000741291	0.0847	0.93269	
Sunspots_2	4.29248e-05	0.000756611	0.0567	0.95487	
Sunspots_3	5.77167e-05	0.000786417	0.0734	0.94163	
Sunspots_4	-0.000335579	0.000777434	-0.4316	0.66688	
Sunspots_5	0.00070992	0.000762218	0.9314	0.35379	
Sunspots_6	-0.000231829	0.000525219	-0.4414	0.65983	
Pkioto	0.0910701	0.0501075	1.8175	0.07199	*
ATMG_1	0.452144	0.0944611	4.7866	<0.00001	***
ATMG_2	-0.0364763	0.104309	-0.3497	0.72727	
ATMG_3	0.0708019	0.102932	0.6879	0.49306	
ATMG_4	0.204401	0.105676	1.9342	0.05578	*
ATMG_5	-0.138419	0.105161	-1.3163	0.19095	
ATMG_6	0.144102	0.093633	1.5390	0.12681	
Media de la vble. dep.	0.000000	D.T. de la vble. dep.		0.294097	
Suma de cuad. residuos	0.858715	D.T. de la regresión		0.090434	
R-cuadrado	0.921826	R-cuadrado corregido		0.905446	
F(22, 105)	56.27957	Valor p (de F)		4.06e-48	
Log-verosimilitud	138.6542	Criterio de Akaike		-231.3084	
Criterio de Schwarz	-165.7117	Crit. de Hannan-Quinn		-204.6561	
rho	-0.040788	Durbin-Watson		2.079463	

[2] Modelo dinámico 2.

MCO, usando las observaciones 1886-2013 (T = 128)
 Variable dependiente: ATMG

	<i>Coefficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
constante	-2.94669	1.3976	-2.1084	0.03723	**
CO2	-0.000179179	9.09342e-05	-1.9704	0.05126	*
CO2_1	0.000238823	0.000143585	1.6633	0.09905	*
CO2_2	2.33571e-05	0.000147935	0.1579	0.87483	
CO2_3	-6.40475e-05	0.000145803	-0.4393	0.66131	
CO2_4	3.40319e-05	0.000148401	0.2293	0.81903	
CO2_5	-0.000283422	0.000157585	-1.7985	0.07479	*
CO2_6	0.000240708	9.95631e-05	2.4176	0.01723	**
Pkyoto	0.068476	0.0423954	1.6152	0.10909	
año	0.0015054	0.000725546	2.0748	0.04029	**
ATMG_1	0.461031	0.0911743	5.0566	<0.00001	***
ATMG_2	-0.0282058	0.101161	-0.2788	0.78090	
ATMG_3	0.074777	0.0996989	0.7500	0.45481	
ATMG_4	0.212237	0.10218	2.0771	0.04008	**
ATMG_5	-0.145598	0.101907	-1.4287	0.15586	
ATMG_6	0.144951	0.0905009	1.6017	0.11205	
Media de la vble. dep.	0.000000	D.T. de la vble. dep.		0.294097	
Suma de cuad. residuos	0.874022	D.T. de la regresión		0.088339	
R-cuadrado	0.920432	R-cuadrado corregido		0.909776	
F(15, 112)	86.37346	Valor p (de F)		3.05e-54	
Log-verosimilitud	137.5234	Criterio de Akaike		-243.0468	
Criterio de Schwarz	-197.4143	Crit. de Hannan-Quinn		-224.5061	
rho	-0.035700	Durbin-Watson		2.068310	

[3] Modelo dinámico 3

MCO, usando las observaciones 1886-2013 (T = 128)
 Variable dependiente: ATMG

	<i>Coefficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
constante	-2.97576	1.37919	-2.1576	0.03304	**
año	0.00152041	0.000716005	2.1235	0.03586	**
CO2	-0.000181561	8.79875e-05	-2.0635	0.04132	**
CO2_1	0.000235301	0.00010044	2.3427	0.02086	**
CO2_5	-0.000282292	0.000108188	-2.6093	0.01028	**
CO2_6	0.000238742	9.47645e-05	2.5193	0.01313	**
Pkyoto	0.0697336	0.0417023	1.6722	0.09721	*
ATMG_1	0.459826	0.0889771	5.1679	<0.00001	***
ATMG_2	-0.0358357	0.098405	-0.3642	0.71640	

ATMG_3	0.0792241	0.0967313	0.8190	0.41447	
ATMG_4	0.213034	0.0977832	2.1786	0.03140	**
ATMG_5	-0.141908	0.0991223	-1.4317	0.15496	
ATMG_6	0.143047	0.0887735	1.6114	0.10984	
Media de la vble. dep.	0.000000	D.T. de la vble. dep.		0.294097	
Suma de cuad. residuos	0.875808	D.T. de la regresión		0.087268	
R-cuadrado	0.920269	R-cuadrado corregido		0.911950	
F(12, 115)	110.6132	Valor p (de F)		3.13e-57	
Log-verosimilitud	137.3928	Criterio de Akaike		-248.7855	
Criterio de Schwarz	-211.7091	Crit. de Hannan-Quinn		-233.7212	
rho	-0.034881	Durbin-Watson		2.066159	

[4] Modelo dinámico 4

MCO, usando las observaciones 1886-2013 (T = 128)
Variable dependiente: ATMG

	<i>Coefficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
constante	-3.20258	1.34913	-2.3738	0.01921	**
año	0.0016325	0.00070113	2.3284	0.02158	**
CO2	-0.000162437	8.57485e-05	-1.8943	0.06061	*
CO2_1	0.000217398	9.88242e-05	2.1998	0.02975	**
CO2_5	-0.00026806	0.000105668	-2.5368	0.01248	**
CO2_6	0.000224192	9.25181e-05	2.4232	0.01689	**
Pkyoto	0.0806401	0.0404926	1.9915	0.04872	**
ATMG_1	0.449945	0.0764542	5.8852	<0.00001	***
ATMG_4	0.222184	0.0741299	2.9972	0.00332	***
Media de la vble. dep.	0.000000	D.T. de la vble. dep.		0.294097	
Suma de cuad. residuos	0.907279	D.T. de la regresión		0.087317	
R-cuadrado	0.917404	R-cuadrado corregido		0.911852	
F(8, 119)	165.2195	Valor p (de F)		1.09e-60	
Log-verosimilitud	135.1334	Criterio de Akaike		-252.2667	
Criterio de Schwarz	-226.5984	Crit. de Hannan-Quinn		-241.8376	
rho	-0.019164	h de Durbin		-0.425470	

11. Bibliografía

- * Baliunas, S. and Jastrow R., 1990: *Evidence for long-term brightness changes of solar-type stars*. Nature. 348, 520-523.
- * Boden, T.A., G. Marland, and R.J. Andres. 2010. Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO2 Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. DOI: 10.3334/CDIAC/00001_V2010.
Obtenido de http://cdiac.ornl.gov/ftp/ndp030/global.1751_2010.ems
- * Chiarella, Carl and Gao, Shenhui. 2002. *Type I Spurious Regression in Econometrics*. School of Finance and Economics (UTS). University of Technology, Sydney. Working paper N° 114. April, 2002. ISSN: 1036-7373
Obtenido de: www.business.uts.edu.au/finance/
- * Christensen, E. Friis and Lassen K. "Length of the Solar Cycle: An Indicator of Solar Activity Closely Associated with Climate". Science 1 November 1991: Vol 254, no 5032 pp. 698-700. DOI: 10.1126/Science.254.5032.698
- * Dahlam, Luann. 2009. Climate Change: Global Temperature. NOAA Climate.gov. Obtenido de: <http://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>.
- * Engle, R. F. Y Granger, C. W. 1987. "Cointegration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing". *Econometrika* 55, pp. 251-76.
- * Falkner, Robert. (2013). *The handbook of Global Climate and Environment Policy*. John Wiley & Sons Ltd.UK. ISBN: 978-0-470-67324-9
- * Granger, C. W. J. and Newbold, P. (1974). "Spurious Regressions in Econometrics". University of Nottingham. *Journal of econometrics* 2. pp. 111-120
- * Greene, William H. *Análisis Econométrico*. Prentice Hall Iberia. Tercera edición. Madrid 1999. ISBN: 84-8322-007-5
- * Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M. and Lo K., 2010: Global surface temperature change. *Rev. Geophys.*, 48, RG4004, DOI: 10.1029/2010RG000345.

- * IPCC, 1990: Climate Change 1990: The IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. Cambridge. Obtenido de:
https://www.ipcc.ch/ipccreports/far/wg_i/ipcc_far_wg_i_full_report.pdf

- * IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.

- * IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. << Summary for Policy makers >>, p.8. <http://www.ipcc.ch/SPM2febo7.pdf>

- * IPCC, 2013: Cambio Climático 2013: Base de ciencia física.<< resumen para responsables de políticas>>. Obtenido de :
https://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/ar5/ar5_wg1_headlines_es.pdf

- * Le Quéré, C. et al. 2014. Global Carbon Budget 2014. Earth System Science Data Discussions, ESSD-D DOI: 10.5194/essdd-7-521-2014
Obtenido de <http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/14/data.htm>

- * Maisonnave, Roberto. 1997. *“El efecto invernadero y el clima”*. Montevideo Obtenido de <http://www.artech.com.uy/aniu/confaca.pdf>

- * Monbiot, George. 2008. *Calor: Cómo parar el calentamiento del planeta*. (Francisco Martín, trad.). RBA libros, S.A. Barcelona (Obra original publicada en 2006).

- * Naciones Unidas, 1998. “Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”.
Obtenido de <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

- * Phillips, Peter C.B. 1986. *“Time Series Regression with a Unit Root”*. Cowles Foundation Discussion paper No. 740R. Yale University

- * Ruedy, R., Sato, M. And Lo, K. 2014. NASA GISS Surface Temperature (GISTEMP) Analysis. In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. DOI: 10.3334/CDIAC/cli.001

- * Sargan, J. D. 1964. 'Wages and Prices in the United Kingdom: A study in Econometric methodology'. En *Econometrics and Quantitative Economics*, editado por D.F. Hendry y K.F. Wallis, 275-314. Oxford: Basil Blackwell.

- * Singer, S. Fred. *"Nature, Not Human Activity, Rules the Climate"*: Summary for Policymakers of the Report of the Nongovernmental International Panel on Climate Change, Chicago, IL: The Heartland Institute, 2008. Obtenido de http://www.co2web.info/NIPCC-Final_080303.pdf

- * Stock, James H. and Watson, Mark W. *"A simple estimator of cointegrating vectors in higher order integrated systems"*. *Econometrika*, Vol. 61, No. 4 (July, 1993), 783-820

- * Sunspot Index and Long-term Solar Observations WDC-SILSO, el Real Observatorio SILSO, World Data Center - Sunspot Number and Long-term Solar Observations, Royal Observatory of Belgium, on-line Sunspot Number catalogue: <http://www.sidc.be/SILSO/>, 'year(s)-of-data'