

# Evaluación ambiental de las emisiones de gases de efecto invernadero en una empresa metalmecánica

Emissions of greenhouse gases of a metalworking enterprise. Environmental evaluation

**Autores:**

**Ing. Qco. Fernando Coronado Montécél.**  
f\_coronado\_montecel@hotmail.com

**Ing. Qca. Sandra Ronquillo Castro, MSc.**  
sandra.ronquillo@ug.edu.ec

Facultad de Ingeniería Química  
Universidad de Guayaquil

## RESUMEN

La contaminación ambiental, causada por la industrialización y acrecentada por la sobrepoblación y deforestación de bosques y selvas, enfrenta a las industrias a elaborar planes de remediación para contrarrestar sus efectos. La investigación pretende, al tiempo que cuantifica los gases de efecto invernadero producidos por las actividades -tanto industriales como antropogénicas-, de una empresa metalmeccánica, ofrecer soluciones para atenuar su impacto ambiental. Con el empleo de la metodología establecida por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático y por el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, las cantidades en toneladas de dióxido de carbono (1038,9707), metano ( $3,2181 \times 10^{-2}$ ), óxido de nitrógeno ( $1,6210 \times 10^{-2}$ ) y clorofluorocarbonos ( $6,1938 \times 10^{-2}$ ) se delimitan como la cantidad de gases emitidos por dicha empresa, durante el año 2015. Estos y sus efectos serán mitigados por medio de la siembra de 555 individuos de Eucalipto blanco (*Eucalyptus globulus*), formando un sumidero de carbono, así como planes adecuados de reducción del consumo de materiales, energía eléctrica, y por ende, de los referidos gases.

**Palabras clave:** cambio climático, contaminación ambiental, efecto invernadero, remediación ambiental.

## ABSTRACT

The environmental pollution, caused by the industrialization and increased by the overpopulation and deforestation of forests and jungles, facing industries to develop remediation plans to counteract those effects. This research aims, to the time that quantify the greenhouse gases produced by the activities -both industrial and anthropogenic- of a metalworking enterprise, to offer solutions to attenuate its environmental impact. With the use of the methodology established by the Intergovernmental Panel on Climate Change and the Protocol Greenhouse Gases, the amounts in tonnes of carbon dioxide (1038.9707), methane ( $3.2181 \times 10^{-2}$ ), oxide nitrogen ( $1.6210 \times 10^{-2}$ ) and chlorofluorocarbons ( $6.1938 \times 10^{-2}$ ) are delimited as the amount of gases emitted by such enterprise during the year 2015. These and their effects will be mitigated through sowing of 555 individuals of Tasmanian bluegum (*Eucalyptus globulus*), forming a carbon sink; and adequate plans to reduce the consumption of materials, electric power, and therefore, referred gases.

**Keywords:** climate change, environmental pollution, environmental remediation, greenhouse effect.



Tan pronto como la humanidad controló el fuego, comenzó un proceso de alteración de su ambiente. En un inicio, dada la baja densidad de población, los efectos sobre dicho ambiente fueron mínimos; entonces los sumideros existentes y la alta densidad de vegetación confinaban los gases de efecto invernadero producidos de manera artificial.

Las necesidades del Hombre superan cuanto la naturaleza puede producir, tanto en cantidad como en tipo de requerimientos. De ahí, una de las razones del aumento de la industria, generadora de los recursos necesarios a la humanidad. Lo irónico es que su desarrollo va acompañado de la "producción" de subproductos contaminantes para el ambiente.

El uso de la ciencia con objetivos militaristas llevó a la creación y posterior detonación del primer dispositivo de fisión nuclear. La comunidad científica, liderada por los creadores de ese ingenio, Robert Oppenheimer y Albert Einstein, abogó por el cuidado del medio ambiente. Tal demanda iba acompañada de un lógico temor por las consecuencias de una guerra termonuclear global. Sin embargo,

esas voces, calladas en un comienzo, encontraron eco durante la segunda mitad de la década de los sesenta en la sociedad norteamericana y europea con el movimiento Hippie y el nacimiento de religiones naturalistas, todos contrarios a la Guerra de Vietnam.

Datos recopilados por globos meteorológicos en la Antártida, durante las décadas de los ochenta y los noventa, confirmaron la disminución de la densidad del ozono estratosférico. Se patentizaba el agravamiento de la situación ambiental en el mundo. Poco después, el accidente de la Central Nuclear Memorial "Vladimir Ilich Lenin" en Chernóbil, en la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, y la crisis climática del valle del lago Texcoco, donde se asienta la Ciudad de México, agravaron la situación ambiental e hicieron que la sociedad tomara conciencia de que toda actividad produce polución -unas más sutiles que otras-, pero todas al final con potencial para alterar el ambiente, destruir ecosistemas e incrementar el efecto invernadero natural de la Tierra.

Con el inicio del siglo XXI, las industrias muestran

cada vez más preocupación por sus afectaciones al ambiente. En consecuencia, ejecutan planes en aras de reducir sus emisiones, emplean tecnologías más limpias, reducen a niveles mínimos el consumo de papel, disminuyen el uso de combustibles fósiles, entre otras medidas, que en modo alguno no conlleven a la alteración del nivel y volumen de producción.

Una alternativa para mitigar el impacto generado en el ambiente por las emisiones, es la puesta en marcha de programas de reforestación. Cumplir con este objetivo va mucho más allá de sembrar árboles. Es preciso, como paso previo, calcular las emisiones de dióxido de carbono de una empresa, tanto directas como indirectas, así como el ambiente en que esta se encuentra, para establecer la cantidad y tipo de árboles a ser plantados.

Toda emisión tiene carácter global por sus efectos, aunque su origen sea local. Por ende, cualquier contaminante tiende a aumentar el efecto invernadero de la atmósfera. La responsabilidad con el ambiente no se limita a las empresas, abarca ámbitos tan disímiles como el hogar y los espacios sociales. Cada actividad antropogénica, con independencia de la estructura en que se halle, puede cuantificar su particular volumen de emisión de gases de efecto invernadero, a través de idénticos cálculos a los aplicados a la industria, posibles de ser replicados en cualquier tipo de estructura organizacional.

## MÉTODOS

La investigación presenta dos escenarios: el primero, una investigación teórica en función de los datos recopilados para definir el actual calentamiento global terrestre, y el segundo, una cuantificación de los gases de efecto invernadero producidos por una empresa metalmeccánica, dedicada a la construcción de buques y estructuras flotantes, ubicada dentro del área urbana de la ciudad de Santiago de Guayaquil.

Para la primera parte, se utilizan investigaciones previas de la actividad solar, así como datos paleoclimáticos y paleontológicos. La segunda, utiliza lineamientos establecidos por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático, el

Protocolo de Gases de Efecto Invernadero así como las normativas ISO 14064-1:2006 Partes 1 y 3, ISO 14064:2006, ISO 14065:2013 e ISO 14067:2013 para establecer la cantidad de gases de efecto invernadero producidos por las actividades tanto industriales como antropogénicas de la empresa previamente descrita.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Calentamiento global

Durante la existencia de la vida en la Tierra, esta se ha enfrentado a varios niveles de extinción, unos severos como la denominada Gran Mortandad, y otros más sutiles, todos ellos vinculados a un cambio en el clima. Los eventos que pueden modificar, de forma real el clima, más allá de un ligero calentamiento global como el presentado durante los últimos 200 años, son:

- Energía emitida por el Sol.
- Oblicuidad de la órbita terrestre.
- Inclinación del eje terrestre.
- Traslación del sistema solar alrededor del centro galáctico.
- Distribución de las masas continentales.
- Distribución de los océanos.
- Vulcanismo.
- Actividad biológica.

El concepto de cambio climático ha sido utilizado, desde inicios del segundo milenio de nuestra era, por organismos entre ellos Greenpeace. Muchos de ellos omiten el hecho de que una modificación sustancial en el clima está más allá de las posibilidades indirectas de cualquier ingenio construido por la humanidad, exceptuando los dispositivos de fisión - uranio y plutonio-, o fusión nuclear -hidrógeno y sus isotopos-. Todos en conjunto podrían causar un invierno nuclear, al polucionar la atmósfera con compuestos radiactivos y destruir el ozono estratosférico, teorizado durante los años de la Guerra Fría como parte de la teoría Mutual Assure Destruction (MAD).

Un cambio climático es la consecuencia, en función de millones de años, de factores que la humanidad no puede controlar. La actual extinción

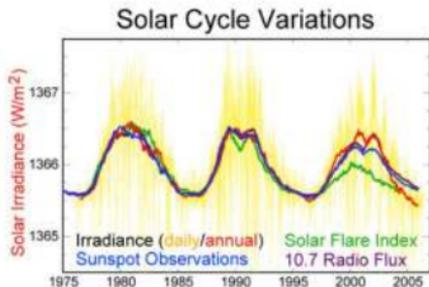


de especies, tanto vegetales como animales, es causada por la tala y caza indiscriminadas durante el Holoceno, la cual fue originada, mantenida y propiciada en todos sus niveles de responsabilidad por la raza humana. La actividad biológica puede cambiar el clima. Hay evidencia de que 2500 millones de años atrás, se generó un cambio en la composición atmosférica global, reemplazando el metano original por el oxígeno actualmente presente.

En la figura 01, se muestra la variación del ciclo solar desde 1975 hasta 2005: la irradiación diaria (amarillo) y anual (rojo) de la energía proveniente del Sol. Se observan manchas solares (azul), en ciclos de once años, aparecen cuando el astro aumenta su actividad. Mientras, las llamaradas solares (verde) afectan los sistemas de comunicación de la Tierra y de forma directa el clima: a menor cantidad de manchas solares el clima se enfría. Lo descrito coincide con una teoría del astrónomo norteamericano John Eddy, dada a la luz en 1976, basada parcialmente, en los estudios del astrónomo británico Edward Maunder, publicados en 1893, la cual, además, considera que un mínimo de estos fenómenos coincide con inviernos fuertes y veranos suaves, así como que durante un máximo de estos eventos, se presentan las condiciones climáticas opuestas.

La figura 02 muestra el registro de temperaturas de la Tierra durante los últimos 530 millones de

Figura 01. Variaciones del ciclo solar 1975 - 2005



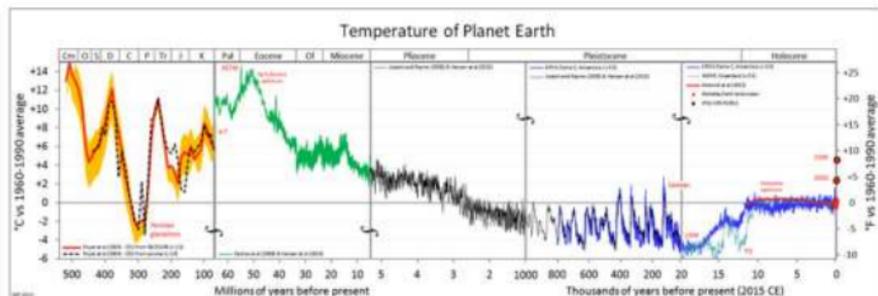
Fuente: NASA, 2006

años, desde el inicio del periodo Cámbrico hasta el Holoceno. Durante este periodo, con menos de doscientos años de actividad industrial humana, la temperatura, y por ende el clima, han variado drásticamente sin intervención antropogénica alguna.

En la figura se evidencia que, contrario a la "Hipótesis Gaia", el planeta no es capaz de autorregular las condiciones para que la vida conocida sea sustentable, pues los factores externos modifican de forma efectiva y dramática el clima, y por ende, los mecanismos de evolución y adaptación de las especies.

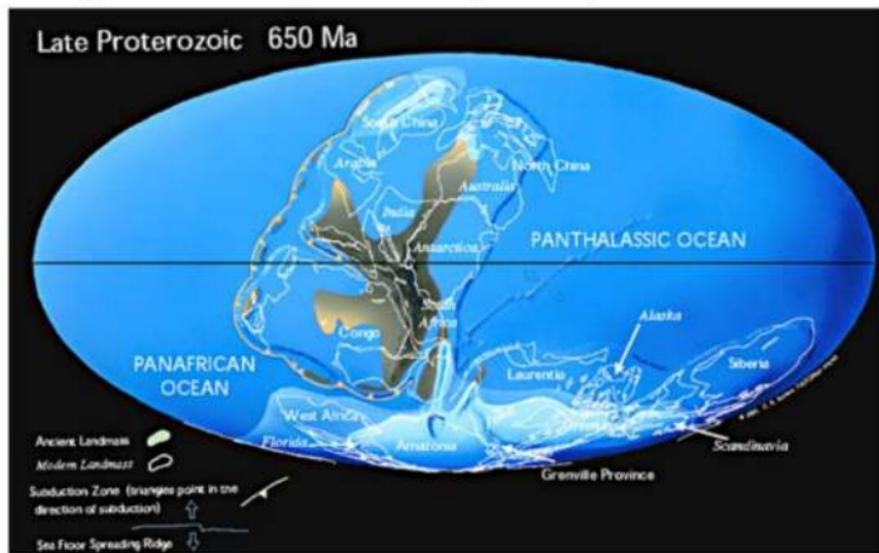
La actividad volcánica puede modificar el clima a escala local y por un periodo de tiempo corto, en

Figura 02. Registro de temperaturas de la Tierra



Fuente: Nairn, a. E. M. 1963

Figura 03. Distribución continental al final del periodo Criogénico, Proterozoico tardío



Fuente: Scotese, C.R. 2002. Web <http://www.scotese.com>, (Paleomap website)

términos geológicos, de unas decenas de años. Sin embargo, durante el máximo evento volcánico registrado -una pluma mantélica- cambió el clima del planeta hace 250 millones de años. Durante la denominada Gran mortandad o extinción masiva del Pérmico-Triásico, se extinguió cerca del 90% de la vida.

Sin embargo, el cambio más persistente lo produce la distribución de los continentes y océanos, a los cuales se deben tanto las corrientes de aire como oceánicas que distribuyen el calor del Sol. Este cambio puede tener una duración de millones de años y ser tan dramático como una glaciación, un óptimo climático o un aumento descontrolado de la temperatura que desertifique gran parte del planeta, la figura 03 muestra la posición de las masas terrestres y oceánicas durante el Periodo Criogénico del Neoproterozoico, cuyo inicio fue hace aproximadamente 850 millones de años.

En la actualidad se presenta un ligero aumento de la temperatura, debido a la contaminación atmosférica por agentes opalescentes a la radiación infrarroja, como lo demuestran los datos tanto paleoclimatológicos así como de la potencia solar y la temperatura de eras geológicas anteriores a la aparición del hombre.

**Caracterización de las emisiones de la empresa metal mecánica.**

La empresa metalmeccánica objeto de esta investigación utiliza materiales catalogados como precursores de gases de efecto invernadero. Entre ellos se hallan madera, diésel y entre otros. Cabe indicar que cualquier "biocombustible" es altamente contaminante a los recursos agua, aire y suelo, pues actúa cual derivado del petróleo. En consecuencia, véase el prefijo 'bio' un eufemismo que indica origen vegetal actual y no extinto. La caracterización de estos materiales se divide en tres niveles:

• Nivel 1: combustible gaseoso, combustible líquido, vehículos de la empresa, aceites lubri-



cantes, dióxido de carbono emitido directamente, consumo de refrigerantes.

- Nivel 2: consumo de energía eléctrica.
- Nivel 3: comisiones de empleados, transporte de empleados, consumo de madera, consumo de papel.

Una vez obtenidas las cantidades consumidas de estos precursores de gases de efecto invernadero, durante el año 2015, por la empresa metalmeccánica, se utilizaron ecuaciones específicas para cada caso, en dependencia del recurso utilizado. Las cantidades se normalizan a masa del precursor y luego esta es transformada en la energía que libera su combustión, con este dato se obtiene la cantidad de gas -dióxido de carbono, metano y óxido de nitrógeno- y en función de esa energía se obtuvieron los resultados, expresados en toneladas. Estos se muestran en la tabla 01.

Para el caso específico de los refrigerantes, dado que estos no presentan reacción alguna durante su actividad dentro de un compresor, su masa fue directamente expresada.

Una vez obtenidos los valores de gases de efecto invernadero emitidos por las actividades de la empresa metalmeccánica, se deben normalizar sus efectos potenciadores en función del dióxido de carbono, para lo cual se recurre a las siguientes relaciones; esto es que la masa de los gases diferentes del dióxido de carbono pueden expresarse en términos de:

- Una tonelada de refrigerante HFC-125 equivale a 3500 toneladas de dióxido de carbono.
- Una tonelada de refrigerante HCFC-22 equivale a 1810 toneladas de dióxido de carbono.
- Una tonelada de refrigerante HFC-134A equivale a 1430 toneladas de dióxido de carbono.

**Tabla 01. Gases de efecto invernadero convencionales**

Nivel	Tipo de emisión	Dióxido de carbono emitido		Metano emitido		Óxido de nitrógeno emitido	
		Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1	Combustible gaseoso	18,8082	Ton	0,0000	Ton	0,0000	Ton
1	Combustible líquido	0,0464	Ton	2,0083×10 <sup>-6</sup>	Ton	4,0165×10 <sup>-7</sup>	Ton
1	Vehículos de la empresa	122,1674	Ton	6,5807×10 <sup>-3</sup>	Ton	8,4581×10 <sup>-3</sup>	Ton
1	Aceites lubricantes	11,9424	Ton	4,8877×10 <sup>-4</sup>	Ton	9,7755×10 <sup>-5</sup>	Ton
1	Gas de efecto invernadero	5,3513	Ton	0,0000	Ton	0,0000	Ton
2	Consumo de energía eléctrica	686,4782	Ton	0,0000	Ton	0,0000	Ton
3	Comisiones de empleados	108,9272	Ton	3,3455×10 <sup>-3</sup>	Ton	4,4430×10 <sup>-3</sup>	Ton
3	Transporte de empleados	4,8439	Ton	2,6151×10 <sup>-4</sup>	Ton	3,4326×10 <sup>-4</sup>	Ton
3	Consumo de madera	80,2773	Ton	2,1503×10 <sup>-2</sup>	Ton	2,8670×10 <sup>-3</sup>	Ton
3	Consumo de papel	0,1285	Ton	0,0000	Ton	0,0000	Ton
<b>Total emisiones 2015</b>		<b>1038,9707</b>	<b>Ton</b>	<b>3,2181×10<sup>-2</sup></b>	<b>Ton</b>	<b>1,6210×10<sup>-2</sup></b>	<b>Ton</b>

Fuente: Empresa metalmeccánica, 2015

Elaborado por: Ing. Qca. Fernando Coronado Monticeli

**Tabla 02. Gases de efecto invernadero no convencionales**

Nivel	Tipo de emisión	Refrigerante HCFC-22		Refrigerante HFC-134A		Refrigerante HFC-125		Refrigerante HFC-32	
		Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1	Consumo de gas refrigerante	4,0619×10 <sup>-2</sup>	Ton	9,9790×10 <sup>-3</sup>	Ton	5,6699×10 <sup>-3</sup>	Ton	5,6699×10 <sup>-3</sup>	Ton
<b>Total emisiones 2015</b>		<b>4,0619×10<sup>-2</sup></b>	<b>Ton</b>	<b>9,9790×10<sup>-3</sup></b>	<b>Ton</b>	<b>5,6699×10<sup>-3</sup></b>	<b>Ton</b>	<b>5,6699×10<sup>-3</sup></b>	<b>Ton</b>

Fuente: Empresa metalmeccánica, 2015

Elaborado por: Ing. Qca. Fernando Coronado Monticeli

- Una tonelada de refrigerante HFC-32 equivale a 675 toneladas de dióxido de carbono.
- Una tonelada de óxido de nitrógeno equivale a 298 toneladas de dióxido de carbono.
- Una tonelada de metano equivale a 25 toneladas de dióxido de carbono.

En la tabla 03 se presenta la cantidad de dióxido de carbono equivalente de las emisiones de los otros gases caracterizados, siendo el valor caracterizado del anhídrido carbónico de 1038,9707 toneladas.

**Tabla 03. Equivalencia a dióxido de carbono**

Componente	Valor	Unidad
Metano emitido	0,8045	Ton de CO2
Nitrógeno emitido	4,8304	Ton de CO2
Gas refrigerante HCFC-22	73,5207	Ton de CO2
Gas refrigerante HFC-134A	14,2700	Ton de CO2
Gas refrigerante HFC-125	19,8447	Ton de CO2
Gas refrigerante HFC-32	3,8272	Ton de CO2
<b>Emisión total equivalente a dióxido de carbono año 2015</b>	<b>117,0976</b>	<b>Ton de CO2</b>

*Elaborado por: Ing. Qco. Fernando Coronado Montecel.*

El total de dióxido de carbono se establece en 1038,9707 toneladas, y el anhídrido carbónico equivalente de los demás gases totalizan 117,0976 toneladas, esto sumado equivale a 1156,0683 toneladas de este gas de efecto invernadero.

### Cálculo del sumidero

La especie arborea para ser utilizada como sumidero idóneo es el Eucalipto blanco (*Eucalyptus globulus*) dadas sus características de rápido crecimiento, adaptación al clima tropical de la República de Ecuador y su capacidad de absorción de dióxido de carbono por individuo en el lapso de treinta años, la cual es de 2,04 toneladas de este gas.

Utilizando los datos de las cantidades de dióxido de carbono, se obtuvo un resultado de 555 individuos de Eucalipto blanco (*Eucalyptus globulus*) a ser sembrados para capturar las emisiones de la empresa metalmeccánica, lo cual se completará en treinta años. Este cálculo toma en cuenta un promedio de mortalidad del 15%. Cabe resaltar que la cantidad a ser sembrada por hectárea debe estar entre 1600 y 1100 árboles.

### ACCIONES PARA LA REDUCCIÓN EN EL CONSUMO DE RECURSOS

Una disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero en la empresa metalmeccánica precisa que esta disponga de un plan para lograr tal objetivo. En este deberán trazarse directrices a ser cumplidas por todos los niveles de la organización, así como planes de capacitación constante al personal, involucrándolos en estos lineamientos que se denominarán frentes de acción, para contrarrestar los efectos de los gases emitidos sin incurrir en mermar la calidad y cantidad de la producción.

- Frente de acción 1: Reducción del consumo de energía eléctrica.
- Frente de acción 2: Reducción del uso de papel, impresoras y archivos físicos.
- Frente de acción 3: Reducción en los gases refrigerantes.
- Frente de acción 4: Reducción de las comisiones de empleados.
- Frente de acción 5: Reducción en el uso de vehículos livianos de la empresa.
- Frente de acción 6: Concientización y compromiso para la reducción de estos gases en el trabajo y el hogar.

### CONCLUSIONES

El estudio permite arribar a las siguientes conclusiones:

1. La actividad antropogénica ha afectado la atmósfera con contaminantes, muchos de ellos, tóxicos para todas las formas de vida. Por ello, la expresión correcta no debe referirse a cambios climáticos sino a una contaminación atmosférica a escala global con gases nocivos para los ecosistemas que potencian el efecto invernadero de la atmósfera terrestre.
2. El consumo de recursos como la madera y el papel disminuye el sumidero vegetal de dióxido de carbono atmosférico. Ello colabora con la acumulación de este gas. Asimismo, el abuso en el consumo de energía eléctrica genera contaminación, dado que no toda la energía proviene de centrales hidroeléctricas, un porcentaje importante proviene del uso de combustibles fó-



- siles, los cuales aumentan la concentración de los tres gases de efecto invernadero naturales.
3. El mecanismo propuesto es el más fiable para el cálculo de los gases de efecto invernadero emitidos por las actividades de una empresa, cuya base es la materia prima adquirida, así como los diversos tipos de consumos energéticos y un control de los vehículos de los empleados que utilizan el estacionamiento dentro de las instalaciones.
  4. Los valores obtenidos de los gases de efecto invernadero caracterizados en toneladas son: dióxido de carbono (1038,9707), metano ( $3,2181 \times 10^{-2}$ ), óxido de nitrógeno ( $1,6210 \times 10^{-2}$ ) y clorofluorocarbonos ( $6,1938 \times 10^{-2}$ ); estos valores se los normaliza en dióxido de carbono (1038,9707) y dióxido de carbono equivalente de los demás gases registrados (117,0976).
  5. Para lograr la neutralización de los efectos de los gases en la atmósfera se requiere de la siembra de 555 individuos de Eucalipto blanco, con una densidad entre 1600 y 1100 árboles por hectárea.

## Referencias bibliográficas

---

- Alvarez, L. W. (1983) *Revista Proceedings of the National Academy of Sciences, University of Berkeley* 80 (2). *Experimental evidence that an asteroid impact led to the extinction of many species 65 million years ago. Estados Unidos de Norteamérica.*
- Bureau of Indian Standards. (2009). *ISO 14064-1 (2006): Greenhouse Gases, Part 1: Specification with Guidance at the Organization Level for Quantification and Reporting of Green House Gas Emissions and Removals. India.*
- Eddy, J. A., (1976). *Revista Science*, 192 (4245). *The Maunder Minimum. Estados Unidos de Norteamérica.*
- Hays, J. D., Imbrie, J. & Shackleton, N. J. (1976). *Revista Science* 194 (4270). *Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages. Estados Unidos de Norteamérica.*
- Lovelock, J. E. (1979) (1985). *Gaia, una nueva visión de la vida sobre la tierra. Reino de España.*
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2015). *Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono. Reino de España.*
- Pachauri, R.K. & Reisinger, A. (2007). *IPCC Fourth Assessment Report. Suiza.*
- Parrington A. J., (1997). *Revista Airpower Journal. Mutually Assured Destruction Revisited, Strategic Doctrine in Question. Estados Unidos de Norteamérica.*
- Ogden D. E., Sleep N. H. (2011). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. Explosive eruption of coal and basalt and the end-Permian mass extinction. Estados Unidos de Norteamérica.*
- DePaolo D. J., Manga M. (2003). *Revista Science* 300. *Deep Origin of Hotspots - the Mantle Plume Model. Estados Unidos de Norteamérica.*
- Salmey S & Benton M. J. (2008). *Revista Proceedings of the Royal Society. Biological* 275 (1636). *Recovery from the most profound mass extinction of all time.*