

Inestabilidad del ciclo del carbono en el pleistoceno tardío: Aplicación en python.

Aguilar Roldán Aura Belem^{1*}, Galeana Ramírez Minerva Citlally², Avila Meza Mariana³

Resumen

Se trabaja el modelo de Maasch y Saltzman en python mediante librerías como numpy, matplotlib.pyplot, sympy y scipy. Consiste en demostrar que las oscilaciones en la rápida deglaciación del pleistoceno tardío fueron afectadas directamente por cambios en el dióxido de carbono atmosférico.

Todo esto mediante la integración de cinco parámetros principales: La temperatura de la superficie del mar (1), la cobertura de hielo permanente medido por la extensión del hielo oceánico (2), la fuerza de circulación de la termohalina principal en el Atlántico Norte (3), el cambio de nivel del mar asociado al cambio en la masa de hielo global (4) y la modificación negativa en la deglaciación(5)

Palabras clave

Pleistoceno tardío, Dióxido de Carbono atmosférico (CO_2), masa de hielo global, Profundidad del agua en el Atlántico Norte.

¹ Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra, UNAM

² Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra, UNAM

³ Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra, UNAM

*GitHub: auraaguilar

Índice

Introducción	1
1 Metodología	1
1.1 Modelo Maasch y Saltzman	1
1.2 Procedimiento experimental	2
2 Resultados	2
2.1 Código	2
3 Discusión de resultados	2
4 Conclusiones	2
Acknowledgments	3
Referencias	3

Introducción

A lo largo del Pleistoceno, extensos mantos de hielo glacial cubrieron las latitudes más elevadas del planeta, especialmente en el hemisferio norte, alternándose con épocas en las que dichas zonas quedaban parcialmente descubiertas, esto ocurrió hace unos doce mil años.

Un problema en esta etapa fue la inestabilidad del ciclo del carbono, Saltzman y Massch crean un modelo dinámico, se demuestra que muchas de las principales características del registro de hielo y el registro de dióxido de carbono en el Pleistoceno tardío pueden deducirse como una solución oscilatoria libre del modelo, incluyendo una rápida deglaciación durante la cual se produce un pico de CO_2 elevado y un rápido

aumento de la producción de aguas profundas del Atlántico Norte.

Esto permitirá que el modelo explique una cantidad significativa de la varianza y covarianza observadas de las variables climáticas de respuesta lenta, de ahí se crean tres postulados.

1) Masa de hielo global

2) Dióxido de carbono atmosférico (que puede controlar la temperatura de la superficie y de hielo a través del efecto "invernadero")

3) fuerza de la "bomba de CO_2 oceánica

Se construye una ecuación cualitativamente una ecuación cualitativamente aceptable para los lentos cambios de atmosférico, este modelo es altamente vulnerable debido a que los cambios en la circulación oceánica, así como a los cambios estado químico-biológico-térmico de las aguas de la capa superior con la que la atmósfera tiende a equilibrarse.

Este modelo puede dar cuenta de las principales características de las variaciones del hielo del Pleistoceno tardío como una oscilación libre con cuatro parámetros semi-ajustables.

1. Metodología

1.1 Modelo Maasch y Saltzman

Para la representación de este modelo, se busca graficar el comportamiento del siguiente sistema de ecuaciones. El cual se explica a continuación al igual que sus componentes.

Los principales parámetros en este delicado balance son los siguientes: I. Temperatura de la superficie del mar. II. Cobertura de hielo permanente medido por la extensión del hielo

oceánico. III. Fuerza de la circulación termohalina principal.
IV. Cambio de nivel del mar asociado al cambio global de la masa de hielo. V. Alteraciones negativas.

Tomando como argumentos principales:

()' el desequilibrio () de estado.

τ : la temperatura global de la superficie del agua.

η : es la extensión global media del hielo permanente.

I : es la masa de hielo global.

μ : es la concentración del CO_2 atmosférico.

F_H : denota forzamineto externo debido a entradas directas de CO_2

$$\dot{x} = -x - y$$

$$\dot{y} = (r - z^2)y - (p - sx)z$$

$$\dot{z} = -qx - qz$$

Tenemos cuatro parámetros:

Primarios : p, r

Secundarios :

s : $s > 0$, asimetría; $s = 0$, simetría

q : ratio of time scales, $q = \tau_{ice}/\tau_{ADW}$

$q = \infty \Rightarrow 2 - D_{system}$

$q \gg 1 \Rightarrow fast - slowsystem, 2 - D$

$q > 1 \Rightarrow center-manifold, (2 + 1) - D_{system}$

Sistema dinámico de primer orden

$$\dot{x} = -x - y$$

$$\dot{y} = ry - (x + \varepsilon(x + y))^2 y + p(x + \varepsilon(x + y))$$

1.2 Procedimiento experimental

2. Resultados

2.1 Código

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy import integrate
from sympy import *
init_printing()
p = 0.9
q = 1.2
r = 0.8
s = 0.8
X = 3.026
Y = 3.969
Z = 2.505
X = - X - Y
Y = -p * Z + r * Y + s * Z**2 - (Z **2) * Y
Z = - q * (X + Z)
def f(x, y):
    return X
def f(x, y):
    return Y
def f(x, y):
    return Z
y1 = - X - Y
x1 = np.linspace(-400, 100, 1000)
sol = integrate.odeint(f, y1, x1)
```

figuras/GRAFICAS-MAASCH.pdf

Figura 1. Difractograma de rayos X de NPs CuO; los planos cristalográficos característicos y que coinciden con la carta PDF Card No.: 01-089-5897 Quality: S Massarotti1998.

(1)

Es de suma importancia leer la documentación para evitar caer en errores de uso de flechas, subíndices y coeficientes; el código utilizado para la redacción de la ecuación anterior es el siguiente:

```
\begin{equation}
\label{eq:rxn-1}
\ce{C3H8(g) + 5O2(g) -> 3 CO2(g) + 4H2O(g)}
\end{equation}
```

3. Discusión de resultados

Las transformaciones de variables que emplearon Maasch y Saltzman en el modelo inicial [SS, 1987] permitieron vincular las rápidas deglaciaciones durante el pleistoceno tardío con los cambios en la concentración de CO

4. Conclusiones

Este modelo permitió predecir niveles del dióxido de carbono en la etapa del plioceno, además de mostrar una amplia visión de las condiciones de esa época, con esto, podemos decir que hubo un elevado incremento del dióxido de carbono, el cual dio origen a una desglaciación. El océano fue un factor sumamente importante ya que, además de ser un importante regulador del clima, debido a su incremento de dióxido de carbono interno y al aportar en gran

cantidad esta sustancia en la atmósfera fue de gran contribución para el favorecimiento de este gran cambio.

Agradecimientos

Este proyecto fue posible gracias a nuestro maestro y asesor, los cuales nos dieron las herramientas necesarias para desarrollar diferentes procesos y así poder llegar al resultado.

Referencias

@articlesaltzman1988carbon,
title=Carbon cycle instability as a cause of the late Pleistocene
ice age oscillations: modeling the asymmetric response,
author=Saltzman, Barry and Maasch, Kirk A,
journal=Global biogeochemical cycles,
volume=2,
number=2,
pages=177–185,
year=1988,
publisher=Wiley Online Library