

EFFECTOS PLANETARIOS EN EL CLIMA

TEORÍA DE MILANKOVITCH

Mariato Castro MSC

Mucho se habla en nuestros días sobre los grandes cambios climáticos que ha sufrido nuestro planeta. Bien es cierto, que la presencia del hombre sobre la Tierra, ha acelerado estos procesos por contaminación, tala indiscriminada, depredación.

Poco, en cambio, se ha disertado sobre el efecto de las fuerzas orbitales dentro de todo este contexto. Para poder comenzar a hablar de fuerzas orbitales debemos comenzar por explicar la teoría de Milankovitch.

Milutin Milankovitch fue un astrofísico serbio que nació en 1879 y murió en 1958. Fue uno de los primeros visionarios en desarrollar teorías relativas al movimiento de la tierra y sus influencias a largo plazo en los cambios climáticos. Nació en la aldea rural de Dalj y estudió en el Instituto de Tecnología de Viena, graduándose en 1904 con un doctorado en Ciencias Técnicas. Trabajó en la universidad de Belgrado en matemáticas aplicadas desde 1909. Dedicó su carrera a desarrollar teorías matemáticas del clima basadas en la variación de estaciones y latitud dependiendo de la radiación solar recibida por la tierra.



Milutin Milankovitch no fue el primero en relacionar los ciclos orbitales con los cambios climáticos, se conoce que ADHEMAR 1842 y CROLL 1875 fueron quienes primero detectaron esta relación.

La teoría de Milankovitch es una teoría astronómica para explicar los cambios climáticos. Estos están directamente relacionados a los cambios de la órbita de la tierra alrededor del sol.

La teoría de Milankovitch se basa en que la tierra gira alrededor del sol variando en, a saber:

- Excentricidad de la órbita alrededor del sol, es una medida de la elipse. Si la órbita es mas eliptica la excentricidad es mayor. Los

cambios en la excentricidad influyen en la variación de la distancia que separa la tierra del sol.

- Cambios en la obliquidad, esto es en el ángulo del eje de la tierra estando en órbita alrededor del sol. Tiene su máximo efecto en los polos.

- Precesión, es el cambio de dirección del eje de rotación de la tierra, también conocido como el eje "spin". Tiene dos componentes esta perturbación, la precesión axial y la precesión elíptica. La primera ocurre debido al torque del sol y los planetas en el área ecuatorial causando la rotación del eje. La precesión elíptica es la que se produce cuando la órbita elíptica rota alrededor del sol. La combinación de los dos componentes es la que da lugar a la precesión equinoccial.

El calculó estos lentos cambios en la órbita de la tierra con cuidadosas medidas de la posición de las estrellas y a través de ecuaciones utilizando la fuerza gravitacional de otros planetas y estrellas.

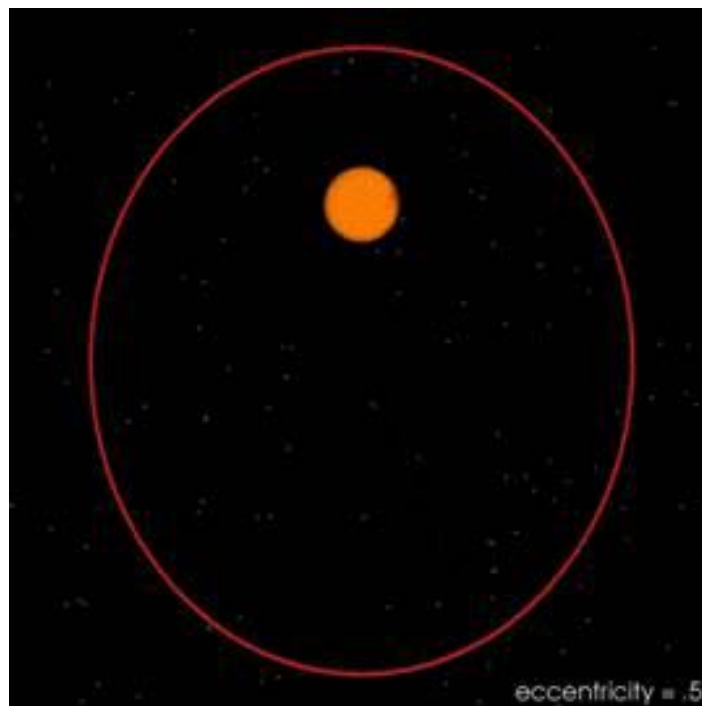
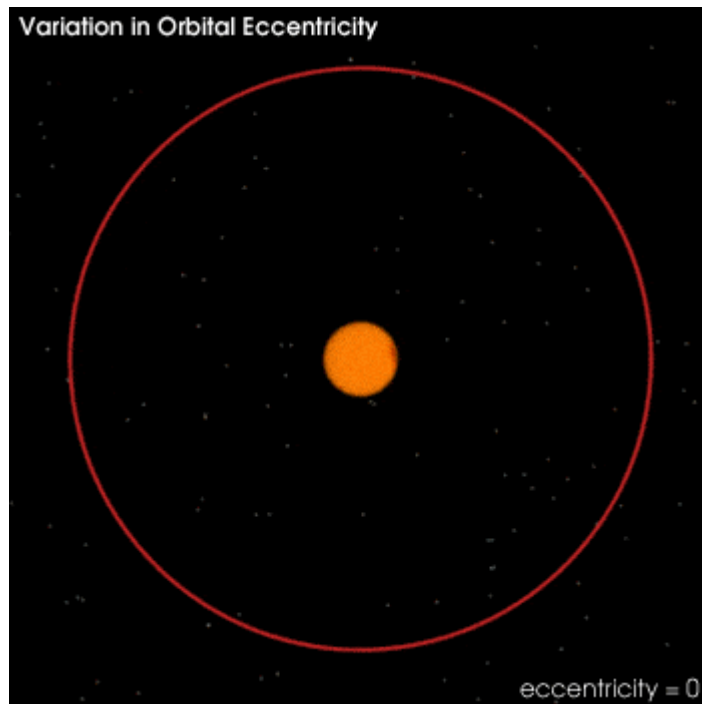
Milankovitch determinó que la tierra se desplaza en su órbita cerca de 22 a 25 grados en un ciclo de 41.000 años. La tierra se inclina, ello causa las estaciones y la intensidad que ellas tengan. Los cambios en la inclinación de la tierra sobre su propio eje tienen influencia sobre las estaciones, las pueden hacer mas o menos severas, pueden existir, por ejemplo, veranos menos o más cálidos o inviernos menos o más fríos.

La posición de los solsticios en la órbita anual se pueden acentuar o modificar por la excentricidad de la órbita que tiene la tierra alrededor del sol y el efecto de precesión.

La órbita de la tierra alrededor del sol no es circular, lo que significa, que en el tiempo la tierra puede estar mas cerca o mas distante del sol. Las variaciones orbitales son los cambios en la excentricidad de la órbita que afecta la distancia entre la tierra y el sol. Normalmente la diferencia es de 3 por ciento, 5 millones de kilómetros en el lugar más próximo llamado perihelio el cual ocurre cerca del 3 de Enero y la parte mas alejada que se produce aproximadamente el 4 de Julio y es denominada afelio. El perihelio es conocido como la precesión de los equinoccios y ocurre en un período de 22.000 años. Por ejemplo, hace 11.000 años el perihelio ocurrió en Julio e hizo que las estaciones fuesen mas severas que hoy en día. La llamada redondez o excentricidad de la órbita de la tierra varía en ciclos de 100.000 a 400.000 años y su efecto se ve reflejado directamente en las estaciones.

Esta diferencia en la cantidad de distancia hace que se produzca cerca de un 6 por ciento de incremento en la radiación solar (insolación) de Julio a Enero. La forma de la órbita cambia de ser elíptica, alta excentricidad a estar muy cercana a la forma circular, baja excentricidad en un ciclo que toma entre 90.000 a 100.000 años. Cuando la órbita es altamente elíptica la cantidad de insolación recibida en el perihelio puede llegar a ser en el orden de 20 a 30 por ciento mayor que durante el afelio. Esto hace que ocurran cambios sustanciales que lleven a marcados cambios climáticos.

Colocados en conjunto estos movimientos orbitales llevan el nombre de ciclos de Milankovitch.



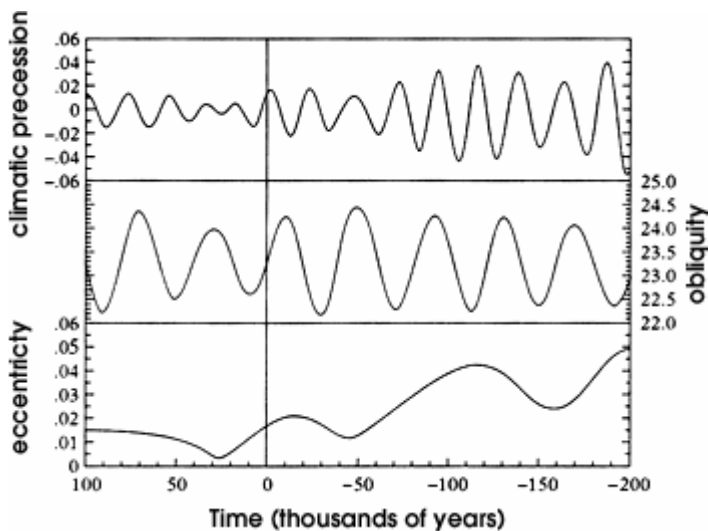
En las gráficas se puede ver como la excentricidad varía entre ser muy cercana a la forma circular y luego desplazarse a la forma elíptica.

Utilizando tres variaciones orbitales, Milankovitch formuló un modelo matemático que calcula diferencias latitudinales en la insolación y el

correspondiente cambio de temperatura superficial para 600.000 años. Correlacionó estos cambios con la retirada de los hielos.

Luego de esto asumió que los cambios de radiación en algunas latitudes y estaciones son mas importantes para el crecimiento y decaimiento de la cantidad de hielo.

La combinación de 41.000 años del ciclo de inclinación sobre su propio eje y 22.000 años del ciclo de precesión hace que los inviernos y los veranos sean mas o menos severos e influyen directamente sobre las capas de hielo (las incrementa o las derrite).



Este gráfico calcula los valores para 300.000 años de variación orbital. La línea cero representa hoy en día, el valor -200 indica 200.000 años en el pasado, el valor 100 indica 100.000 años desde este momento. Milankovitch denotó que estos ciclos de mecanismos orbitales corresponden a muchos indicadores de cambios climáticos en el pasado, tales como las edades de hielo.

Por mas de 50 años, la teoría de Milankovitch fue ignorada. Un estudio que data de 1976 en la revista Science examinó sedimentos de aguas profundas y encontró que aplicando esta teoría se podía reflejar los cambios climáticos ocurridos, HAY et. al. 1976. En este trabajo los autores estuvieron en capacidad de extraer el registro de cambios de temperaturas hasta 450.000 años, encontrando las mayores variaciones de clima asociadas con cambios en la geometría (excentricidad, obliquidad y precesión) de la órbita de la tierra.

Los cambios orbitales ocurren en miles de años y el sistema climático puede tomar miles de años en responder a las fuerzas orbitales. La teoría sugiere que el conductor de la edad de hielo es la radiación total recibida en las zonas de latitud norte donde las mayores capas de hielo han sido formadas en el pasado, cerca de 65 grados norte. La pasada edad de hielo correlaciona muy bien con 65N de verano de insolación según IMBRIE, 1982. Los cálculos astronómicos muestran que 65N de insolación norte podría incrementar

gradualmente en los próximos 25.000 años y si 65N de insolación de verano declina en una cantidad suficiente podría causar una edad de hielo dentro de 100.000 años, HOLLAN, 2000.

Actualmente las teorías de las glaciaciones se basan en los ciclos de Milankovitch. Hace medio millón de años, fue un período en donde el hielo cubrió la mayor parte de Canadá, el norte de Europa y el norte de Asia. Este período estuvo separado por otros en donde la capa de hielo estuvo confinada a las altas latitudes, tal como lo tenemos hoy en día. Estas masivas cubiertas de hielo se desplazaron kilómetros, arrastrando con ellas grandes cantidades de terrenos, rocas a una gran distancia de su posición original. La evidencia se fundamenta en los registros geológicos y afloramientos encontrados al norte en latitudes medias. El problema para los científicos que estudian éstos fenómenos es el encontrar la razón que los causa y la teoría de Milankovitch explica perfectamente lo que se ha denominado teoría astronómica de la glaciación. Esta teoría fue sugerida por primera vez por el matemático Francés Joseph Adhemar en el año 1842. El propuso que existen perturbaciones en la tierra, que son cíclicas y que están causadas por la posición de la tierra con respecto al sol, que esta directamente asociada a glaciaciones y de-glaciaciones. En el momento, esta propuesta no tuvo acogida, pero posteriormente el geólogo escocés James Croll retomó la idea, pero quien le dio todo el impulso e hizo de ella una teoría fue Milutin Milankovitch.

No fue sino hasta el año 1976, cuando esta teoría fue aceptada ampliamente y se demostró que las fluctuaciones en el volumen de las grandes masas de hielo de la tierra están directamente relacionadas con la frecuencia de las perturbaciones orbitales.

Todos estos cambios en temperatura y las fluctuaciones de las grandes masas de hielo quedan evidenciados en el registro geológico y es este punto en el que basa la reconstrucción geológica. Se ha demostrado que existe una correlación entre los ciclos glaciares y de cambios de temperaturas y las teorías expuestas por Milankovitch, sobre todo en frecuencia, tiempo. Los modelos paleoclimáticos intentan explicar las relaciones entre las fuerzas astronómicas calculadas y los cambios paleoclimáticos.

Para Van Vugt et. al, los ciclos de Milankovitch y la manera como afectan el clima se ven expresados en el registro sedimentario como ciclos litológicos que pueden tener uno o mas de cuatro períodos típicos relacionados con la precesión (21.000 años), la obliquidad (41.000 años) y la excentricidad (100.000 a 400.000 años). En numerosas sucesiones continentales del Mediterráneo que han sido estudiadas se presentan diferencias en las expresiones de precesión y excentricidad. Los autores presentaron los resultados del estudio de una sección lacustre del Plioceno tardío en Lupoia al sureste de Rumania. Cuando se compara la expresión cíclica del lignito y los detritos en la cuenca con el equivalente en tiempo de lignito y carbonatos de la cuenca de Ptolemais al norte de Grecia, la cuenca de detritos y lignitos del Pleistoceno de la cuenca de Megalópolis al sur de Grecia y la cuenca de carbonatos y arcillas de Orera al norte de España, se encuentra:

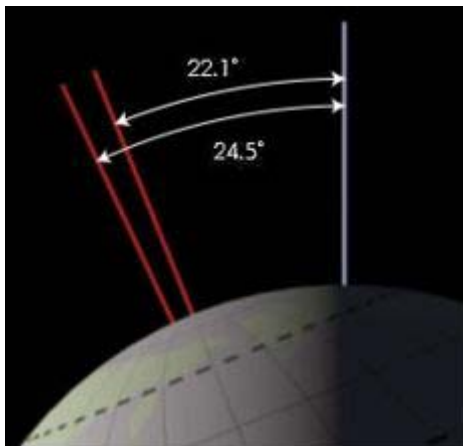
- En las cuencas con carbonatos domina la precesión.
- En las cuencas detríticas domina la expresión de excentricidad en sus ciclos litológicos.

Esto podría ser explicado por una respuesta mas lineal a las fuerzas de insolación en los carbonatos que en los detritos. Otra explicación podría ser la baja amplitud de 100.000 años de excentricidad en el tiempo en que las secciones carbonáticas fueron depositadas

Actualmente, para muchos científicos, los mecanismos con los cuales la excentricidad de la órbita de la tierra puede afectar el clima de una manera directa e importante, no esta bien entendido. Evidencia reciente, publicada en el año 2000 indica que el dióxido de carbono atmosférico podría jugar un papel principal en amplificar los efectos orbitales. Muchos investigadores aún tienen dudas en la asociación entre el ciclo de clima de 100.000 años y las variaciones orbitales.

Las **variaciones orbitales** son las principales causantes de los periodos glaciales e interglaciales **holocénicos**.

Si bien la **luminosidad** solar se mantiene prácticamente constante a lo largo de millones de años no ocurre lo mismo con la **órbita** terrestre. Ésta oscila periódicamente haciendo que la cantidad media de **radiación** que recibe cada hemisferio fluctúe a lo largo del tiempo. Y son éstas variaciones las que provocan las pulsaciones glaciares a modo de veranos e inviernos de largo **período**. Son los llamados periodos **glaciales** e interglaciales. Hay que tener en cuenta varios factores que contribuyen a modificar las características orbitales haciendo que la insolación media en uno y otro **hemisferio** varíe aunque no lo haga el **flujo** de radiación global.



Rango de variación en la oblicuidad de la Tierra

La **excentricidad**, la **inclinación axial**, y la **precesión** de la órbita de la Tierra varía en el transcurso del tiempo produciendo las **glaciaciones** del **Cuaternario** cada 100.000 años. El eje de la Tierra completa su ciclo de precesión cada 25.800 años. Al mismo tiempo el eje mayor de la **órbita de la Tierra** gira, en unos 22.000 años. Además, la inclinación del eje de la Tierra cambia entre 21,5 grados a 24,5 grados en un ciclo de 41.000 años. El

eje de la Tierra tiene ahora una inclinación de 23,5° respecto a la normal al plano de la eclíptica.

El mínimo de Maunder

Desde que en 1610 Galileo inventara el telescopio, el Sol y sus manchas han sido observados con asiduidad. No fue sino hasta 1851 que el astrónomo Heinrich Schwabe observó que la actividad solar variaba según un ciclo de once años, con máximos y mínimos. El astrónomo solar Edward Maunder se percató que desde 1645 a 1715 el Sol interrumpe el ciclo de once años y aparece una época donde casi no aparecen manchas, denominado mínimo de Maunder. El Sol y las estrellas suelen pasar un tercio de su vida en estas crisis y durante ellas la energía que emite es menor y se corresponde con períodos fríos en el clima terrestre.

Las auroras boreales o las australes causadas por la actividad solar desaparecen o son raras.

Ha habido 6 mínimos solares similares al de Maunder desde el mínimo egipcio del 1300 adC hasta el último que es el de Maunder. Pero su aparición es muy irregular, con lapsos de sólo 180 años, hasta 1100 años, entre mínimos. Por término medio los periodos de escasa actividad solar duran unos 115 años y se repiten aproximadamente cada 600. Actualmente estamos en el Máximo Moderno que empezó en 1780 cuando vuelve a reaparecer el ciclo de 11 años. Un mínimo solar tiene que ocurrir como muy tarde en el 2900 y un nuevo período glacial, cuyo ciclo es de unos cien mil años, puede aparecer hacia la año 44.000 d. C., si las acciones del hombre no lo impiden.