

DATOS GENERALES

Clave del proyecto:	IN102415
Título:	Desarrollo del modelo termodinámico global y su aplicación a la predicción y simulación climáticas
Etapas:	Informe Final 2015
Modalidad:	a) Proyecto de investigación
Tema prioritario:	Predicción y simulación climáticas de la temperatura y precipitación, con especial énfasis en México.
Tipo proyecto:	Interdisciplinario
Disciplina:	Ciencias de la atmósfera
Especialidad:	Física del clima
Adscripción del proyecto:	Centro de Ciencias de la Atmósfera
Duración:	3 Años
Palabras clave:	Cambio climático, Modelo Termodinámico Global, Parametrización de Precipitación, Predicción Climática, Simulación Climática
Situación:	Proyecto aprobado

CANTIDADES ASIGNADAS

Primer año:	\$ 155,000.00
Segundo año:	\$ 147,400.00
Tercer año:	\$ 103,295.00
Total:	\$ 405,695.00

TITULAR(ES) DEL PROYECTO

Responsable:	VICTOR MANUEL MENDOZA CASTRO
Adscripción:	Centro de Ciencias de la Atmósfera
Corresponsable:	ELBA ELSA VILLANUEVA URRUTIA
Adscripción:	Centro de Ciencias de la Atmósfera

El Modelo Termodinámico del Clima (MTC) fue creado a principios de la década de los 60 para el pronóstico climático a corto plazo, es pionero a nivel mundial. La hipótesis fundamental del MTC es que las interacciones en el sistema climático Atmósfera-Océano-Continente, cuya escala temporal va de un mes en adelante, son esencialmente de naturaleza termodinámica, con los procesos dinámicos subordinados a los termodinámicos; por lo tanto, la ecuación básica del modelo es la de conservación de energía térmica o Primera Ley de la Termodinámica. Desde que fue creado por el Dr. Julián Adem en 1962, el MTC ha sido continuamente mejorado en sus parametrizaciones físicas, realizando numerosas investigaciones sobre el pronóstico mensual y estacional, y sobre simulación y sensibilidad climáticas de épocas pasadas (paleoclima) y futuras (cambio climático actual). La investigación más reciente, usando el MTC, está relacionada con la influencia que tienen las anomalías de la temperatura del mar, asociadas a la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), en la precipitación de verano en México a través de la nubosidad inducida en el modelo (Mendoza et al., 2014).

Actualmente el MTC se integra únicamente sobre el Hemisferio Norte (~12 a 90°N) en una proyección estereográfica polar. En este proyecto proponemos construir la versión del Modelo Termodinámico del Clima Global (MTCG), cuyo dominio será la esfera completa con representación tridimensional. El MTCG no tendrá fronteras y en particular se podrá incluir procesos termodinámicos de la zona ecuatorial (ahora excluidos) de gran importancia para el clima de México, como son la Zona Intertropical de Convergencia, El Niño, las Ondas del Este (principales generadoras de huracanes) y otras zonas ciclogénicas. También se parametrizará la advección de calor por viento troposférico de manera que se incorpore una mayor baroclinicidad en el modelo.

Hasta ahora el MTC tiene la insolación (flujo de radiación solar en el tope de la atmósfera) como campo de entrada prescrito y por ende los parámetros astronómicos sólo pueden cambiarse externamente para dar un nuevo campo de insolación. En este nuevo modelo la insolación será un campo calculado internamente de manera analítica por medio de la fórmula de Milankovitch con los parámetros astronómicos pertinentes al problema en cuestión. El MTCG permitirá, haciendo los ajustes adecuados (principalmente en los parámetros de la insolación), aplicarlo a la simulación del clima de los planetas vecinos (Marte y Venus).

El MTCG ampliará las expectativas de investigación con un modelo creado por investigadores de la UNAM, que lo colocará dentro de los mejores Modelos de Balance de Energía de complejidad intermedia, para ser utilizado a nivel internacional en la simulación del clima y del cambio climático, y en la predicción mensual y estacional de la temperatura y precipitación con especial énfasis en el territorio mexicano.

El proyecto será de particular importancia en la formación y el apoyo económico de estudiantes, se pretende contar con dos estudiantes de licenciatura, tres de maestría y uno de doctorado, que se espera sean coautores en los artículos.

La hipótesis fundamental del Modelo Termodinámico del Clima (MTC) es que las interacciones en el sistema climático Atmósfera-Océano-Continente, cuya escala temporal va de un mes en adelante, son esencialmente de naturaleza termodinámica, con los procesos dinámicos subordinados a los termodinámicos, por lo tanto la ecuación básica del modelo es la de conservación de energía térmica, la cual se aplica a la capa troposférica, a la capa superior del océano y a la capa superior del continente.

El MTC se venía integrando únicamente sobre el Hemisferio Norte (~12 a 90°N); sin embargo, ahora contamos con la versión del Modelo Termodinámico del Clima Global (MTCG), el cual es integrado y desplegado sobre la esfera terrestre sin fronteras, en donde se puede incluir el efecto termodinámico del cinturón tropical (abarcando el ecuador), de gran importancia para el clima de México, por la presencia de la Zona Intertropical de Convergencia y de El Niño.

Con el MTCG hemos realizado experimentos preliminares de sensibilidad en la respuesta térmica de la atmósfera a forzamientos producidos por los eventos de El Niño 1972-73, 82-83, 97-98 y 2015 y de la Niña 73-74 y 99-2000 (Melchor Pinto, 4° Informe 2016-2 del Proyecto Doctoral, Junio 2016 e Informe de Candidatura, Enero 2016).

Algunas parametrizaciones del MTC hemisférico fueron modificadas para adaptarlas al MTCG, y ahora están en ambos modelos:

1. Parametrización de la humedad relativa como una función de la altura. En esta parametrización, la humedad relativa en superficie es la suma de su valor climático más su anomalía, la cual depende de la anomalía de la temperatura. De esta manera, la humedad relativa en cada nivel de la troposfera resulta ser una función de la anomalía de la temperatura en superficie.

2. Parametrización del agua precipitable en función de la temperatura. Usando la humedad relativa en función de la altura, se determinó el agua precipitable en la columna atmosférica, la cual resulta ser una función de las anomalías de la temperatura en superficie.

3. Parametrización de la emisividad del vapor de agua en función del agua precipitable, en la banda de 8 a 12.5 micras. En esta parametrización se usó el calculador espectral E-Trans y la base de datos espectrales de alta resolución HITRAN (E-Trans/HITRAN), ambos proporcionados por el grupo de Espectroscopía y Percepción Remota de nuestro Centro. Dado que el agua precipitable es función de las anomalías de la temperatura, el resultado es una retro-alimentación positiva, en donde el calentamiento troposférico trae como consecuencia un mayor contenido de vapor en la atmósfera, lo que conlleva a una mayor emisividad por vapor de agua y a un consecuente recalentamiento, que incluso puede llegar a ser catastrófico, como lo indican nuestros experimentos de cambio climático inducido por gases de efecto invernadero.

4. Parametrización de la amplificación del calentamiento desde la parte superior de la troposfera hacia la superficie. El proceso de amplificación del calentamiento inicia con una pérdida momentánea del balance en el flujo radiativo entre la tropopausa y la troposfera, en donde la tropopausa experimenta un enfriamiento y la parte superior de la troposfera un calentamiento; este calentamiento se propaga y se amplifica hacia la superficie; el resultado final es la recuperación del balance en el flujo radiativo y un ajuste de la temperatura en todos los niveles de la troposfera incluyendo la superficie, el cual incrementa el gradiente vertical de temperatura (lapse rate); de esta manera, el sistema atmósfera-oceano-continente alcanza un nuevo equilibrio termodinámico, pero a una mayor temperatura en la superficie y la troposfera (Advances in Space Research, 57 [2016] 1373-1390).

- 5 Parametrización de la emisividad de la atmósfera con cielo claro, incluyendo vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y ozono extratroposférico. En esta parametrización la emisividad, calculada con el E-Trans/HITRAN, puede expresarse como una función potencial de la presión parcial del vapor de agua y de la temperatura, ambas en la superficie (Atmospheric Environment, 155 [2017] 174-18)

En esta última etapa del proyecto, hemos hecho ajustes al MTCG para aplicarlo al clima de Marte: simulación del ciclo estacional de temperatura y presión. El manuscrito de este trabajo está a punto de ser enviado a una revista internacional indizada. En esta aplicación del modelo, hemos calculado la emisividad de la atmósfera, compuesta esencialmente de dióxido de carbono (~96%) usando el E-Trans/HITRAN.

Hay dos nuevas parametrizaciones que ya son parte del modelo; pero ahora aplicadas solo a Marte y más adelante a la Tierra:

- 6) Conductividad térmica en el regolito, lo que conduce al concepto de inercia térmica que controla el almacenamiento sub-superficial cíclico de energía térmica por conducción de calor desde la superficie. La energía térmica se almacena en el suelo marciano durante el verano y es cedida lentamente en forma de calor durante el invierno. En un periodo anual la energía se puede almacenar en una capa de hasta

un metro de profundidad. En la dinámica del casquete polar de dióxido de carbono, este proceso es importante, pues contribuye a la sublimación del casquete marciano durante la noche polar.

7) El crecimiento/decremento de la masa de los casquetes se parametriza con la diferencia entre el calor latente liberado por la congelación parcial de la atmósfera y el calor absorbido por la sublimación del hielo, proceso que se da cuando la temperatura alcanza el valor de saturación (-127°C); esta diferencia es la que hemos llamado congelación neta (condensación para el caso de la Tierra) y se puede dar en toda la columna atmosférica y la superficie. El proceso de condensación/sublimación produce en la presión atmosférica una variación estacional a escala planetaria muy marcada, en donde casi un tercio de la atmósfera de Marte se congela para luego sublimarse, el MTCG de Marte simula bastante bien este proceso. Los casquetes de Marte calculados no solo están asociados a una isoterma (como en el MTC hemisférico), sino que ahora se constituyen por capas que se engruesan y crecen hacia el ecuador ($\sim 40^{\circ}\text{N}$ o S) con un espesor promedio de ~ 30 cm. La orografía drástica de Marte tiene un efecto importante sobre la forma cambiante de sus casquetes. Este conocimiento servirá ahora para aplicarlo a la criosfera (cubierta de hielo y nieve de agua) en la Tierra.

Este proyecto se vio favorecido con la integración a nuestro grupo de la Dra. Blanca Mendoza, Investigadora Titular C y la próxima integración de la Dra. Marni Pazos; ambas colaboraron en el estudio y adaptación del MTCG al clima de Marte; también tenemos la colaboración de la Dra. Guadalupe Cordero del Instituto de Geofísica y del estudiante de doctorado Sandro Cervantes.

Es importante mencionar que el estudiante de doctorado Miguel A. Altamirano, no incluido en el proyecto, está aplicando el MTCG a la atribución del cambio climático global. En la tercera etapa del proyecto, Miguel continuó el trabajo interrumpido por Julio Melchor, quien por razones personales abandonó el doctorado.

PARTICIPANTES INFORME FINAL

NOMBRE	TIPO DE PARTICIPANTE	PROCEDENCIA
ALEJANDRO AGUILAR SIERRA	Académico UNAM	Centro de Ciencias de la Atmósfera
DIEGO JIMENEZ DE LA CUESTA OTERO	Alumno UNAM	Cto. de Cienc. de la Atmósfera
JULIO CESAR MELCHOR PINTO	Alumno UNAM	Cto. de Cienc. de la Atmósfera
MANUEL RENE DE JESUS GARDUÑO LOPEZ	Académico UNAM	Centro de Ciencias de la Atmósfera
SANDRO CERVANTES NUÑEZ	Alumno UNAM	Cto. de Cienc. de la Atmósfera
YANET DIAZ ESTEBAN	Alumno UNAM	Cto. de Cienc. de la Atmósfera

CAPÍTULOS EN LIBROS

Título del libro Reporte Mexicano de Cambio Climático, Grupo 1, Bases Científicas, Modelos y Modelación

Título del capítulo Radiación Solar y Forzamiento Radiativo Antropogénico y Natural.

Formato En papel **Año de publicación** 2015 **Núm. páginas del capítulo** 24

Tamaño Tiraje 0 **Volumen**

Dirección de descarga http://www.pincc.unam.mx/reportemexico/reporte_mex_vol1.php

Difusión Nacional **Publicación de** Divulgación **Sello editorial** UNAM/PINCC

Idioma Español **ISBN impreso** 978-607-02-7522-7 **ISBN digital**

Participantes

ELBA ELSA VILLANUEVA URRUTIA Coautor

MANUEL RENE DE JESUS GARDUÑO LOPEZ Coautor

VICTOR MANUEL MENDOZA CASTRO Coautor

ARTICULOS CON ARBITRAJE

Nombre de la revista Advances in Space Research

Título del artículo SOLAR ACTIVITY CLOUDINESS EFFECT ON NH WARMING FOR 1980-2095

Dirección de descarga <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2015.11.024>

ISSN Factor de impacto 1.46

Año de publicación 2015 **DOI** 10.1016/j.asr.2015.11.024 **Difusión** Internacional

Idioma Inglés

Participantes

ELBA ELSA VILLANUEVA URRUTIA Coautor

MANUEL RENE DE JESUS GARDUÑO LOPEZ Coautor

VICTOR MANUEL MENDOZA CASTRO Autor

Nombre de la revista Atmospheric Environment

Título del artículo Atmospheric emissivity with clear sky computed by E-Trans/HITRAN

Dirección de descarga <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.01.048>

ISSN Factor de impacto 3.95

Año de publicación 2016 **DOI** 10.1016/j.atmosenv.2017.01.048 **Difusión** Internacional

Idioma Inglés

Participantes

ELBA ELSA VILLANUEVA URRUTIA Coautor

MANUEL RENE DE JESUS GARDUÑO LOPEZ Coautor

VICTOR MANUEL MENDOZA CASTRO Autor

DIFUSIÓN

PONENCIAS

Título de la ponencia EGU General Assembly 2016

Nombre del evento Mid-troposphere temperature anomaly on the Gulf of Mexico induced by El Niño

Lugar Vienna | Austria | 17–22 April 2016 **País** Austria **Difusión** Internacional

Participantes

ELBA ELSA VILLANUEVA URRUTIA Ponente

FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Nombre DIEGO JIMENEZ DE LA CUESTA OTERO

Título de la tesis A SIMPLE EARTH SYSTEM MODEL TO SIMULATE PAST GLACIAL CYCLES: A DYNAMICAL SYSTEMS APPROACH.

Director de la tesis MANUEL RENE DE JESUS GARDUÑO LOPEZ

Nivel Maestría **Fecha de titulación** 22/11/2016

Nombre YANET DIAZ ESTEBAN

Título de la tesis REGÍMENES CLIMÁTICOS Y SU RELACIÓN CON LA VARIABILIDAD INTERESTACIONAL DE LA PRECIPITACIÓN EN EL SUROESTE DE MÉXICO DESDE UNA PERSPECTIVA DE MAPAS AUTO-ORGANIZADOS.

Director de la tesis VICTOR MANUEL MENDOZA CASTRO

Nivel Maestría **Fecha de titulación** 28/01/2016
