

Investigación conjunta de la intersección del tiempo y del clima

por Mitchell W. Moncrieff¹, Melvyn A. Shapiro², Julia M. Slingo³ y Franco Molteni⁴

Introducción

Los principales obstáculos que se plantean a la hora de avanzar en la diagnosis y predicción del tiempo y del clima para escalas temporales que varían de días a años son atribuibles, en parte, a las lagunas del conocimiento y a la capacidad limitada de los modernos sistemas operativos y de investigación de la predicción numérica para representar la convección en la precipitación y su organización a múltiples escalas, sobre todo en los trópicos. En este sentido,

las mejoras en la parametrización convectiva no se han producido al mismo ritmo que las mejoras en el conocimiento como resultado del estudio de los procesos de organización convectiva. Puesto que esta última aún no está representada por las modernas parametrizaciones, los efectos a gran escala de la organización convectiva, por tanto, aún tienen que ser evaluados correctamente. Algunos ejemplos de fenómenos tropicales donde la organización de la convección a escala múltiple supone un proceso fundamental son:

- La oscilación de Madden-Julian (OMJ; Madden y Julian, 1972; Figura 1) y otros tipos de perturbaciones con acoplamiento convectivo en los que intervienen las ondas de Kelvin y las ondas de gravedad de Rossby.
- Fenómenos meteorológicos de gran impacto, como los ciclones tropicales.
- Perturbaciones ondulatorias del este dentro de la zona de convergencia intertropical (ZCIT).

En estos ejemplos es común la multiplicidad de escalas interrelacionadas que están asociadas a los sistemas de precipitación y a los transportes tridimensionales característicos de masa, momento y energía que los acompañan. La ubicuidad de los fenómenos organizados subraya la necesidad de representar la coherencia dinámica, la evolución avanzada y el transporte asociado al tipo de régimen en modelos globales, puesto que estos aspectos no son identificados por los sistemas de parametrización modernos.

Los efectos de cambio de fase del agua dentro de los sistemas con organización convectiva se manifiestan en diversas escalas temporales: desde el movimiento convectivo y las escalas temporales diurnas (horas en un día), pasando por la escala temporal de organización de un sistema mesoconvectivo (~ días) hasta llegar al tiempo de permanencia del agua en la atmósfera (~ 2 semanas). De esta manera, el comportamiento y el efecto de los cambios de fase en el agua y su vinculación con la organización convectiva constituye

Investigación del tiempo y del clima en la OMM

El Experimento de investigación y predictibilidad del sistema de observación (THORPEX) es parte integrante del Programa Mundial de Investigación Meteorológica (PMIM) de la OMM; fue creado en el Decimocuarto Congreso Meteorológico Mundial (2003) como un programa global internacional de investigación y desarrollo atmosférico a 10 años bajo los auspicios de la Comisión de Ciencias Atmosféricas (CCA) de la OMM. El objetivo de THORPEX es el de acelerar las mejoras en la precisión de las predicciones meteorológicas de gran impacto durante un plazo que oscila entre un día y dos semanas para el beneficio de la sociedad, la economía y el medio ambiente.

El Programa Mundial de Investigaciones Climáticas está copatrocinado por la OMM, la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO y el Consejo Internacional para la Ciencia. El PMIC identifica las lagunas de conocimiento, da prioridad a las necesidades y lidera la investigación a nivel mundial sobre la variabilidad del clima y el cambio climático de cara a satisfacer los requisitos del usuario final y las necesidades de los responsables de adoptar políticas.

1 Centro Nacional de Investigación de la Atmósfera, Boulder, Colorado (EEUU)

2 Oficina de Meteorología y de Calidad del Aire de la NOAA, Boulder, Colorado (EEUU)

3 Universidad de Reading, Reading (Reino Unido)

4 Centro europeo de predicción meteorológica a medio plazo, Reading (Reino Unido)

un desafío fundamental en materia de investigación, que afecta al tiempo y también a los procesos climáticos a largo plazo a través de los efectos de la humedad y de las nubes en la interacción entre las nubes y la radiación.

Aunque la OMJ no es la única manifestación de la organización convectiva tropical multiescalar, representa un modo crítico de variabilidad atmosférica que se extiende hasta la intersección del tiempo y del clima (Shapiro y Thorpe, 2004; THORPEX/ICSC, 2005). La OMJ domina la variabilidad tropical en las escalas de tiempo subestacionales. Tiene influencias a nivel global a través de las interacciones tropicales y extratropicales y está implicada directamente en la irrupción de los monzones asiáticos, australianos y africanos. Cada vez se reconoce con mayor ímpetu a la OMJ como un elemento influyente en los episodios meteorológicos de gran impacto y en la variabilidad climática a escalas temporales estacionales e interanuales. Sin embargo, conocer de forma adecuada los procesos que contribuyen al inicio y mantenimiento de la OMJ, así como llevar a cabo unas simulaciones y predicciones que sean realistas, siguen constituyendo los principales retos científicos a los que se enfrenta la comunidad meteorológica y climática.

Observaciones, representación parametrizada y explícita de la convección, modelos teóricos y concebidos

La convección asociada a las precipitaciones tropicales se organiza a través de un amplio abanico de escalas espaciotemporales; en concreto, se establecen cuatro categorías principales de organización multiescalar:

- cumulonimbo (~ 1-10 km, hora);
- grupos mesoconvectivos (~ 100-500 km, día);
- "supergrupos" a escala sinóptica (~ 1 000-3 000 km, semana);
- envolvente de la OMJ (~ 10 000 km, semanas-meses).

Un aspecto desconocido que se antoja fundamental es el de llegar a saber cómo interactúan las escalas menores para conformar sistemas organizados a una escala mayor que se realimentan a sí mismos, como por

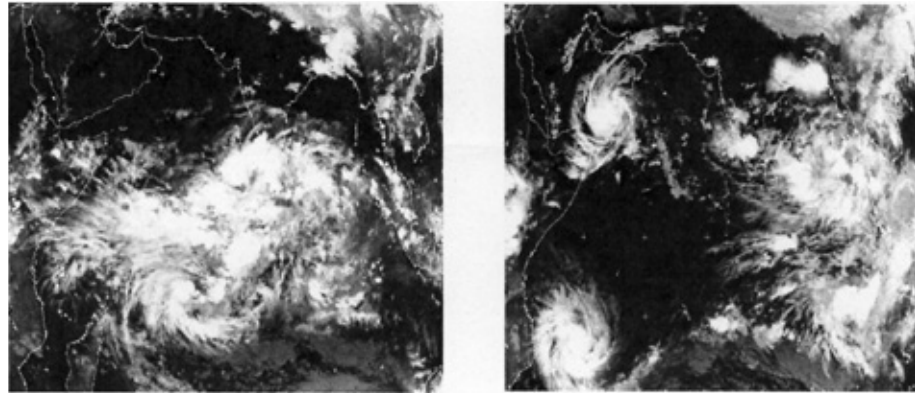


Figura 1 – Organización convectiva multiescalar y oscilación de Madden-Julian (OMJ): OMJ sobre el Océano Índico el 2 de mayo de 2002 (izquierda); una semana más tarde, la OMJ se había desplazado hacia el este sobre Indonesia, dando lugar a ciclones tropicales en su estela (derecha). La organización convectiva multiescalar resulta claramente visible dentro de la OMJ. Los ciclones gemelos ponen de relieve que los fenómenos meteorológicos organizados de gran impacto están directamente asociados a una organización convectiva a gran escala y a las ondas ecuatoriales.

ejemplo las OMJ o los monzones. Se admite que la actividad tropical sinóptica y mesoconvectiva aparece frecuentemente unida a unos modos localizados meridionalmente de variabilidad atmosférica, concebidos como ondas de gravedad de Rossby y ondas de Kelvin. Se plantean, entonces, las siguientes cuestiones:

- Cómo varía la actividad convectiva en función de los modos de ondas y viceversa.
- La retroalimentación entre la convección y los procesos que van desde la escala sinóptica a la planetaria.
- Los procesos termodinámicos y el transporte de momento como un efecto a gran escala de la organización mesoconvectiva.
- Los efectos de las perturbaciones extratropicales que se propagan en las regiones ecuatoriales donde se forma una OMJ, como por ejemplo las olas de frío que se originan en Siberia y la propagación de ondas de Rossby, de las regiones extratropicales a los trópicos (Kiladis, 1998).

Observaciones

Las actividades de campo se encargan de documentar desde las estructuras regionales hasta las mesoescales, así como los procesos físicos asociados, como por ejemplo los procesos

de capa límite con acoplamiento atmósfera-oceano. Durante las últimas fechas se han llevado a cabo dos campañas regionales de relevancia directa en lo que respecta a la formación de una OMJ en el Océano Índico occidental:

- El experimento VASCO-CIRENE coordinó el barco CIRENE y el sistema de observación VASCO ("aeroclippers" y globos presurizados lanzados desde las Seychelles). El objetivo era medir el efecto de los procesos físicos (como por ejemplo la formación de capas cálidas, el bombeo de Ekman, el enfriamiento de la subsuperficie debido a la mezcla vertical y a los flujos superficiales) sobre las perturbaciones de la temperatura de la superficie del mar (TSM), pasando de escalas de régimen diurno a otras de tipo subestacional con el fin de cuantificar los mecanismos que afectan a la variabilidad subestacional de la TSM, y la retroalimentación de las variaciones de la SST en la atmósfera. (<http://www.lmd.ens.fr/vascocirene>).
- El crucero MIRAI a través del Océano Índico para el estudio del inicio convectivo de la OMJ (MISMO) analizó las características de la atmósfera y el océano de la parte del Índico comprendida entre su extremo más oriental y su zona central, poniendo especial hincapié en la estructura vertical de la atmósfera, es decir, el vapor de

agua, los regímenes de nubes, la convergencia de humedad, la interacción entre el mar y la atmósfera, incluyendo la variabilidad diurna y la respuesta del océano al inicio de la OMJ (http://www.jamstec.go.jp/iorgc/mismo/docs/MISMOplanE_6-1.pdf). El potencial para realizar futuras actividades de campo en el Océano Índico, que está sacando partido de las mejoras solicitadas en lo que respecta a las mediciones a largo plazo, aparece resumido en *CLIVAR Exchanges* (2006).

El hecho de que la OMJ abarque una amplia gama de escalas espaciales y temporales, que varían de convectivas a planetarias, significa que las campañas regionales tradicionales per se ya no son suficientes para documentar ni para predecir en su totalidad el alcance de los episodios de OMJ. Resulta necesario emplear todos los sistemas de observación y predicción globales junto con las campañas regionales tradicionales, como las que se han descrito anteriormente. Este requisito de predicción basada en la observación ha supuesto la base de una recomendación formulada en el seminario internacional THORPEX-PMIC, del que se informa más adelante; a saber, “desarrollar un laboratorio coordinado a nivel internacional con procesos virtuales de cálculo y observación”. Este concepto se ha materializado en una iniciativa del THORPEX-PMIC: “Año de la convección tropical (YOTC)”, que se resume en Waliser y Moncrieff (2007). En la dirección <http://hydro.jpl.nasa.gov/imp/WCRP.THORPEX.YOTC.pdf> puede obtenerse un borrador con los detalles del concepto en cuestión.

Convección parametrizada y representación explícita de la misma

Un inconveniente de la predicción meteorológica y de los sistemas de predicción climática que ya viene siendo arraigado desde hace tiempo es su inadecuada representación de los procesos físicos que tienen lugar a una escala inferior a la de la rejilla, y la OMJ no es una excepción. La Figura 2 muestra un ejemplo en el que la OMJ se desintegra, pasando de ser un sistema robusto en el análisis a no hacer apenas acto de presencia en la previsión para alrededor de 5 días. Se piensa que, en gran medida, esta circunstancia se

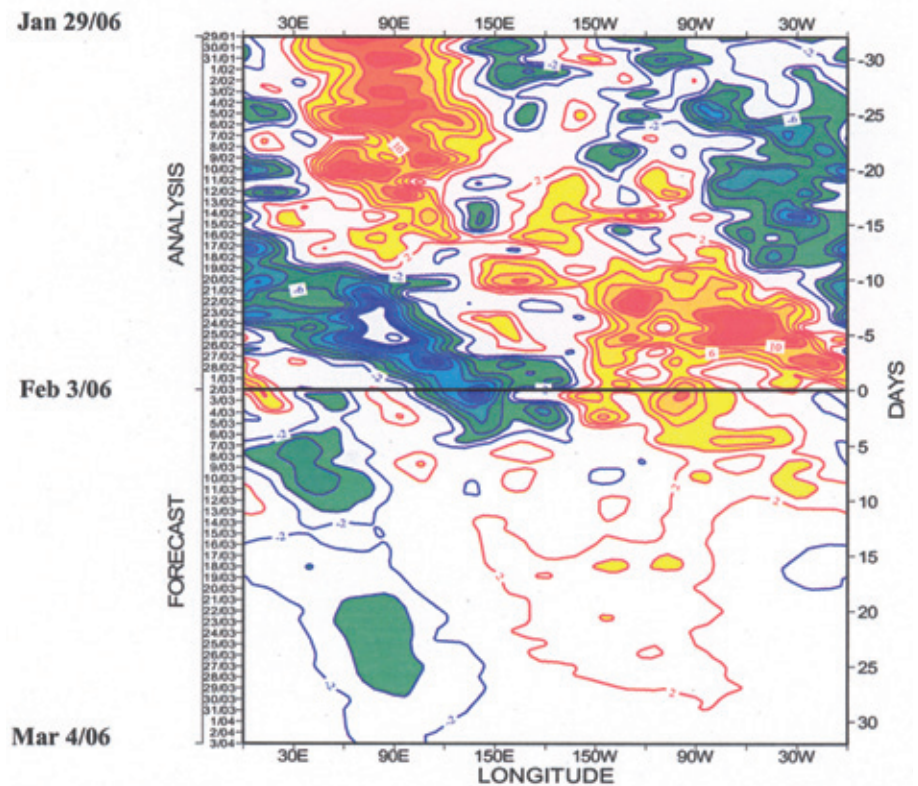


Figura 2 – OMJ en el sistema de predicción del CEPMMMP correspondiente a un episodio de febrero de 2006. La OMJ que se propaga hacia el este destaca en el análisis como potencial de velocidad a 200 hPa, pero la señal se pierde después de unos cinco días en la predicción del 3 de febrero (por cortesía de Adrian Tompkins, CEPMMMP).

debe a las deficiencias en la parametrización de la convección, aunque no existe prueba que fundamente dicha conjetura. Las simulaciones realizadas con los modelos Aqua-Planet experimentan dificultades similares. La Figura 3 muestra la coherencia mínima de la organización convectiva simulada en los modelos climáticos de Aqua-Planet al utilizar diferentes parametrizaciones de la convección. Los sistemas simulados se propagan hacia el este, otros hacia el oeste, y lo más probable es que ninguno sea realmente una OMJ. Además, la disparidad de las escalas espaciales de la organización convectiva simulada pone de relieve que las simulaciones no ofrecen una selección de escala correcta.

Los ordenadores modernos permiten que los modelos que resuelven los sistemas de nubes (CRM; en la actualidad, modelos no hidrostáticos que trabajan con un espacio de rejilla del orden de 1 km y que, originalmente, se desarrollaron para llevar a cabo estudios e idealizaciones de procesos) tengan cada vez unas propiedades de cálculo mayores y funcionen durante tiempos cada vez más prolongados. En un espacio de red de unos pocos kilómetros, los CRM pueden reproducir circulaciones

mesoescalares de forma explícita, pero representarán de forma defectuosa la convección asociada a los cumulonimbos. En otras palabras, los CMR captan de forma incompleta la jerarquía espacial identificada en el primer párrafo del apartado “Observaciones, representación parametrizada y explícita de la convección, modelos teóricos y concebidos”, concretamente, en la primera de las cuatro categorías fundamentales de organización convectiva. Los efectos de este truncamiento no se conocen en su totalidad, y constituyen un importante campo de investigación.

La herramienta con un mayor desarrollo es el CRM global, como por ejemplo Tomita (2005). Los CMR se aplican en lugar de la parametrización convectiva moderna, desde un enfoque denominado parametrización de la convección capaz de resolver sistemas de nubes o “sobrep parametrización”, que fue desarrollado en sus orígenes en el modelo Aqua-Planet (Grabowski, 2001) y aplicado hace pocas fechas en modelos climáticos completos (como por ejemplo, Khairoutdinov y otros, 2005). Como nota interesante, cabe mencionar que las OMJ en los modelos con sobrep parametrización suelen ser muy intensas y persistentes, al contrario que las OMJ

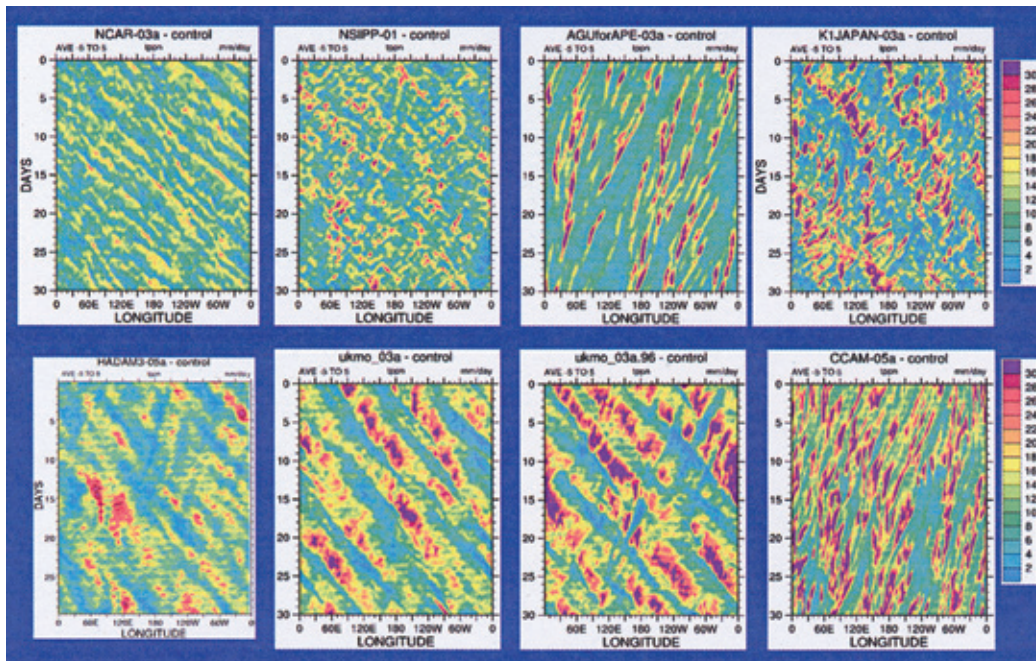


Figura 3 – Organización a gran escala de la convección (precipitación) tropical que tiene lugar en alguno de los modelos climáticos que toman parte en el Proyecto de intercomparación del modelo Aqua-Planet (<http://www-pcmdi.llnl.gov/projects/amip/ape/>) (por cortesía de Mike Blackburn (Universidad de Reading) y Dave Williamson (CNIA))

en los modelos con una parametrización convencional. Este comportamiento exagerado arroja nuevas preguntas, de las cuales podría decirse que cuentan con más probabilidades de encontrar respuesta que las relacionadas con la parametrización moderna.

Modelos teóricos y concebidos

Es poco probable que el problema de la parametrización pueda resolverse únicamente mediante la mejora de la resolución en la simulación. Los modelos dinámicos concebidos cuantifican aspectos importantes, como el transporte energético a gran escala asociado con la organización mesoconvectiva y los mecanismos que intervienen en los sistemas de simulación numérica. Por ejemplo, el modelo mecánico no lineal de Moncrieff (2004) en el que la organización mesoconvectiva se entrelaza con las dinámicas de giro de Rossby cuantifica las propiedades del transporte a mayor escala y de la superrotación de los sistemas similares a la OMJ generados por la simulación sobreparametrizada de Grabowski (2001). El modelo multiescalar cuasi lineal de Biello y otros (2006), basado en la teoría de la perturbación asintótica de Majda y Klein (2003) y que representa tres categorías de calentamiento (convección profunda, estratiforme y de tipo congestus (Johnson y otros, 1999)), muestra que los sistemas del tipo de la OMJ pueden generarse mediante la organización a gran escala de flujo de momento y calentamiento. La Figura 4 muestra las marcas características de las OMJ para este modelo:

- remolinos mesosinópticos desviados hacia el oeste;
- giros ciclónicos y anticiclónicos agrupados en vertical y en horizontal;
- irrupción de viento del oeste en la troposfera inferior.

Otro enfoque concebido de cara a la cuantificación de la organización convectiva a gran escala implica modelos con una troposfera activa en términos dinámicos, una capa límite planetaria pasiva y parametrizaciones similares de la convección profunda, el intercambio de calor en superficie y el enfriamiento por radiación, así como una resolución vertical básica, es decir, la primera y segunda velocidad baroclínicas deben ser proporcionales a $\sin \pi z$ y a $\sin 2\pi z$ respectivamente. La organización convectiva multiescalar tiene lugar en presencia del primer modo baroclínico, pero no presenta una coherencia similar a la OMJ (Yano y otros, 1995). Los sistemas similares a la OMJ que cuentan con más realismo aparecen cuando se introduce el segundo modo baroclínico (Khouider y Majda, 2006).

Interacciones de la OMJ OMJ y ENOA

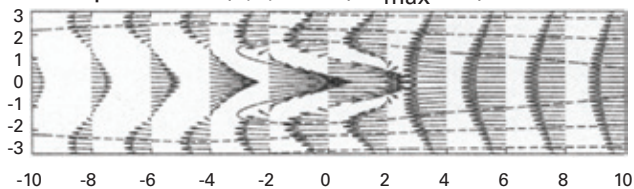
El fenómeno de El Niño/Oscilación Austral (ENOA) es impulsado fundamentalmente por un acoplamiento a gran escala entre la atmósfera y el océano en la región del Pacífico. La organización convectiva afecta en gran medida a este acoplamiento entre la

atmósfera y el océano mediante la modificación del balance de radiación en superficie, la evaporación, la fuerza del viento y, por ende, ralentizando en todos los órdenes la interacción entre las capas límite de la atmósfera y el océano. Las fuertes irrupciones de viento ecuatorial del oeste que se desplazan hacia el este, a nivel de superficie, asociadas a la OMJ, estimulan las ondas de Kelvin oceánicas que influyen en el inicio de El Niño reduciendo el gradiente zonal ecuatorial de la temperatura de la superficie del mar. Esta interacción implica tres mecanismos diferentes:

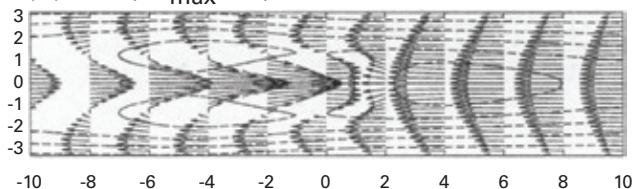
- Enfriamiento de la masa de agua caliente del Pacífico occidental como resultado directo de una mayor evaporación de la superficie a causa de la irrupción del viento, de las corrientes descendentes mesoescalares y de escala convectiva, y por las precipitaciones.
- Expansión hacia el este de la masa de agua caliente a través de las corrientes del oeste que se inducen en la capa de mezcla oceánica.
- Calentamiento del Pacífico ecuatorial oriental a través de las ondas de Kelvin oceánicas que aumentan la termoclina y reducen el afloramiento de agua fría.

Los estudios basados en la observación relativos a una actividad anómalamente intensa de la OMJ antes del inicio de un episodio de El Niño arrojan la posibilidad de una relación entre la OMJ y El Niño.

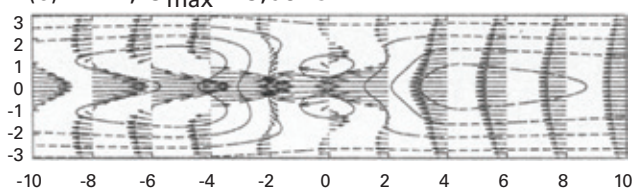
Tiempo= 0 días; (a) 0 km, $U_{\max} = 8,2516$



(b) 2 km, $U_{\max} = 6,0716$



(c) 4 km, $U_{\max} = 9,0578$



(d) 12 km, $U_{\max} = 9,0577$

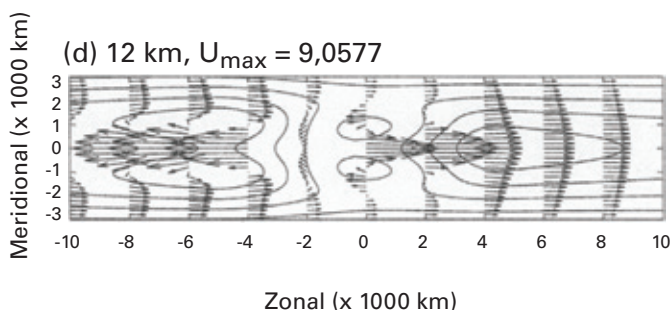


Figura 4 – Velocidad horizontal para las alturas seleccionadas de la troposfera, junto con las líneas de contorno de la presión de perturbación en un modelo dinámico multiescalar forzado por flujos verticales de calentamiento a escala sinóptica y de momento zonal (por cortesía de Biello, Majda y Mocireff (2007))

predicción más hábil para el período de tiempo de la semana 2. Por ejemplo, los ciclones tropicales ejercen influencia sobre las regiones extratropicales a través de su migración directa en dirección a los polos dentro de la trayectoria de los temporales de latitudes medias y/o la dispersión de las ondas de Rossby hacia los polos. De forma similar, Kiladis (1998) ha demostrado que las ondas de Rossby que se propagan desde latitudes superiores pueden estimular la convección tropical. No puede hacerse demasiado hincapié en el reto de mejorar la representación de la convección, su organización e interacción con las circulaciones a escala variable entre regional y mundial para los sistemas de predicción meteorológica y climática.

Seminario THORPEX-PMIC

El THORPEX y el PMIC convocaron un seminario internacional sobre la organización y el mantenimiento de la convección tropical y la Oscilación de Madden-Julian en el Centro Internacional de Física Teórica de Trieste (Italia), del 13 al 17 de marzo de 2006. El objetivo era evaluar el estado actual del conocimiento y las técnicas de predicción de la convección tropical multiescalar organizada, así como establecer las prioridades para la investigación conjunta que desembarcará en un conocimiento avanzado y en una mejora de las técnicas de predicción de la convección tropical organizada y de la OMJ. El seminario reunió a expertos en convección tropical e interacción bidireccional entre los trópicos y las latitudes mayores. Los participantes venían cargados de recomendaciones de formulación y oportunidades de fomento encaminadas a abordar los principales retos y a avanzar en el conocimiento y en las técnicas de predicción de la convección tropical, así como en su organización a gran escala y en la interacción bidireccional con las regiones extratropicales, que surgirían de:

- Los estudios de diagnóstico y las observaciones recientes y adicionales.
- El aumento de la capacidad de cálculo que permite los CRM.

La mejora de la técnica de predicción para la OMJ deberá incorporarse en última instancia a la próxima generación de modelos de predicción del ENOA. El hecho de que la organización convectiva a gran escala sea muy diferente en los modelos acoplados de atmósfera y océano con respecto a los modelos en los que solo se tiene en cuenta a la atmósfera sugiere que las formulaciones incompletas sobre la forma en que interactúan las capas límite del océano y la atmósfera se encuentran en el centro del problema de la interacción OMJ-ENOA.

OJM y las regiones extratropicales

La influencia de la organización convectiva multiescalar es claramente no local. La variabilidad subestacional a interanual de la convección tropical ejerce una gran influencia en la dispersión de ondas de Rossby a escala sinóptica en las regiones extratropicales y so-

bre las anomalías de la circulación a escala planetaria, como son el patrón del Pacífico/América del Norte (PAN), la oscilación ártica (OA) y la oscilación del Atlántico Norte (OAN). Algunos estudios, como el realizado por Ferranti y otros (1990), sugieren que si se representa de manera satisfactoria la convección tropical en los modelos meteorológicos y climáticos se podrá mejorar la técnica de predicción para las latitudes medias y los días posteriores. Los CRM y la sobreparametrización de carácter global pueden hacer frente a uno de los principales objetivos de THORPEX/PMIC: la interacción bidireccional entre los trópicos y las latitudes superiores que se esboza en la Figura 5.

El inicio y mantenimiento de ondas planetarias por parte de la convección organizada, como interacción bidireccional entre la circulación tropical y la extratropical, constituyen aspectos fundamentales de cara a realizar una

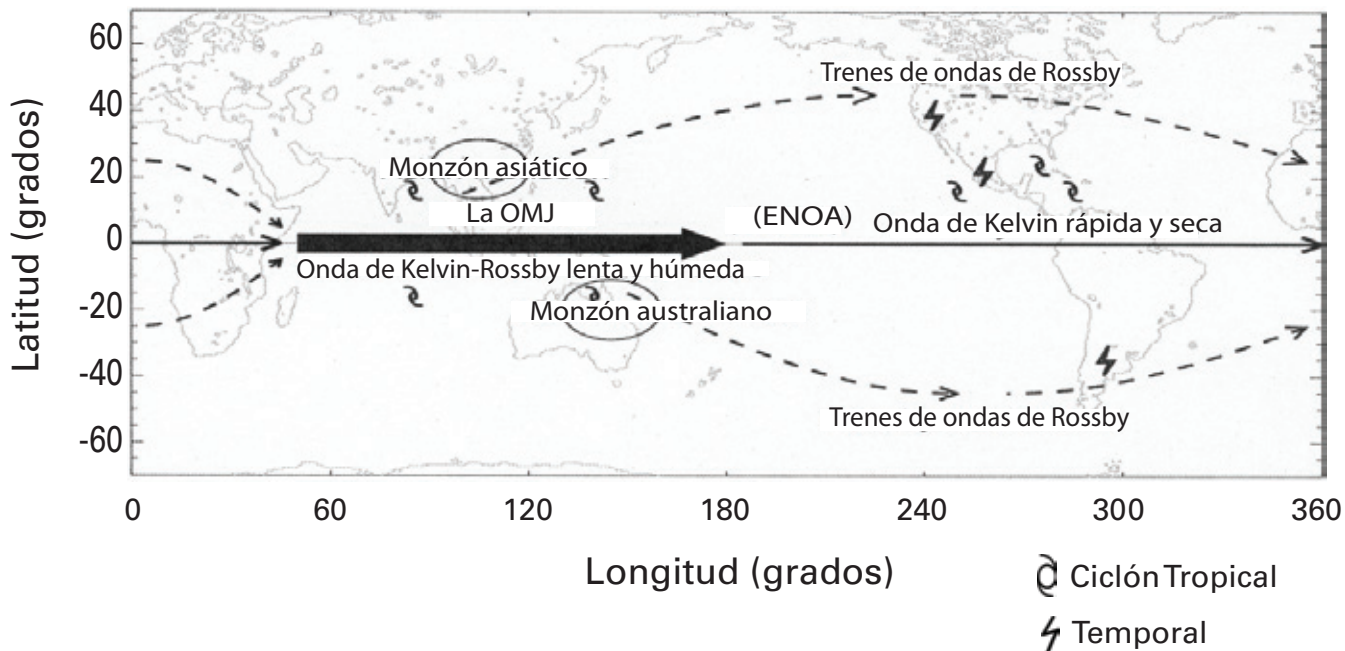


Figura 5 – Diagrama esquemático de la relación entre la OMJ, la teleconexión de las ondas planetarias y los episodios meteorológicos de gran impacto en latitudes superiores (cortesía de J. Lin, NOAA/CERES)

- Las mediciones y observaciones in situ, actuales y previstas, de nubes y precipitación por medio de los sistemas de teledetección espacial. El programa del seminario y las presentaciones del mismo están disponibles en http://cdsagenda5.ictpt.com.trieste.it/full_display.php?id=a04205.

En el seminario se repasó el estado actual del conocimiento acerca de la convección tropical organizada, con mención especial a la OMJ. Este punto incluía la identificación de los temas a tratar dentro de la iniciativa conjunta del THORPEX y el PMIC para mejorar el conocimiento, la simulación numérica y la predicción de la convección tropical organizada y la OMJ, así como la investigación y las aplicaciones socioeconómicas. Un aspecto sobre el que se hizo hincapié fue la interacción bidireccional entre los trópicos y las latitudes mayores. Concretamente, ¿de qué forma la convección tropical organizada modula las ondas sinópticas extratropicales y planetarias, y viceversa? Se llevaron a cabo discusiones sobre cuestiones relativas al conocimiento de la diagnosis, la formación y el mantenimiento de la convección tropical organizada, como por ejemplo:

- su influencia sobre los sistemas meteorológicos tropicales de gran impacto y su predicción;

- la interacción bidireccional con los sistemas meteorológicos extratropicales, como por ejemplo el inicio, propagación y dispersión de las ondas de Rossby;
- la mejora de los sistemas de predicción meteorológica y climática; un aspecto secundario importante fue el papel que el transporte de energía a gran escala juega en el tiempo y el clima (Figura 6).

Objetivos estratégicos

Los grupos que surgieron del seminario identificaron los dos objetivos principales que figuran a continuación como base para la observación, la simulación y la predicción en términos avanzados de la OMJ y sus implicaciones socioeconómicas, así como para diseñar proyectos de demostración de predicciones:

- Desarrollar un “laboratorio coordinado a nivel internacional con procesos virtuales de cálculo y observación” para facilitar los siguientes aspectos:
 - El acceso a las bases de datos meteorológicas y climáticas de observación, experimentales y operativas a nivel global, que corresponda a la máxima resolución posible, dadas las restricciones de cálculo a corto plazo.

- Nuevos paquetes de análisis diagnóstico y métodos de visualización. Este esfuerzo proporcionará la infraestructura adecuada para explotar las observaciones, la predicción operativa y las simulaciones con alta resolución de la convección tropical, su interacción bidireccional con el tiempo y el clima de las regiones extratropicales, así como el impacto socioeconómico y su evaluación.

- Preparación de una estrategia para llevar a cabo una actividad o programa coordinado de observación, simulación y predicción que haga hincapié en la convección tropical organizada y su influencia en las técnicas de predicción para el área del Pacífico occidental y el Océano Índico, logradas por medio de los últimos apoyos y por los beneficios a corto plazo de la simulación, las observaciones, las posibilidades de la informática y otras actividades programadas.

Recomendaciones para la investigación conjunta

Se identificaron los siguientes asuntos como actividades de colaboración entre el THORPEX y el PMIC:

- Desarrollar aspectos métricos y descripciones de las caracterís-

ticas diarias, subestacionales, estacionales e interanuales de la OMJ y de la convección organizada que resuman nuestro conocimiento, habiliten la validación de modelos y predicciones, y tracen las líneas maestras para futuras investigaciones.

- Promover la colaboración en la utilización de experimentos del tipo de la predicción numérica del tiempo para explorar la aparición de errores en las simulaciones de la convección organizada y de la OMJ, así como las interacciones bidireccionales de los sistemas meteorológicos y climáticos tropicales y extratropicales.

- Promover la colaboración internacional en los estudios de CRM de alta resolución para explorar los efectos a mayor escala de la convección organizada a fin de optimizar el uso de los recursos informáticos y compartir el desarrollo de herramientas de análisis de datos.

- Integrar los estudios de procesos relativos a la convección organizada observada mediante dispositivos de teledetección espacial y terrestre (incluyendo el radar 3D Doppler), con las medidas in situ para ofrecer mejoras y validaciones de los modelos de alta resolución.

- Promover la colaboración con respecto a los experimentos de demostración de predicciones acoplando los sistemas que se basan en protocolos estadísticos (por ejemplo, Newman y otros, 2003) con los sistemas que se basan en protocolos dinámicos para estimar el valor de mejora de las simulaciones de la convección organizada y la OMJ para su aplicación a la predicción determinista y por conjuntos en escalas de tiempo de hasta cuatro semanas.

- Tener en cuenta la viabilidad y establecer la estrategia necesaria para diseñar y desarrollar actividades de campo sobre convección organizada (por ejemplo, en el Océano Índico) guiadas por los estudios de simulación con alta resolución.

- Apoyar la necesidad de mantener y potenciar las actuales y futuras misiones de satélite encargadas de tomar medidas de los sistemas de nubes y precipitaciones tropicales con el fin de aumentar la capaci-

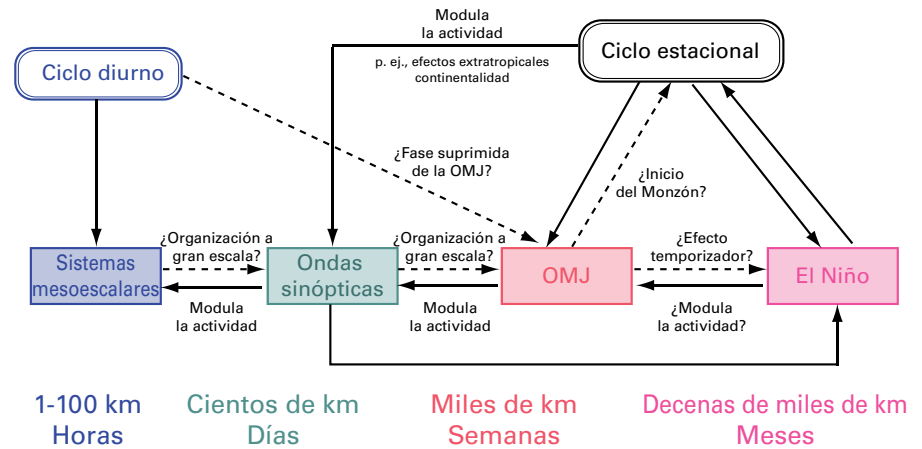


Figura 6 – El carácter continuo de la convección tropical y de la interacción de escalas en el tiempo y el clima. Las interacciones de escalas espaciales y temporales de la convección tropical: vínculo entre el THORPEX y el PMIC.

dad a largo plazo para llevar a cabo estudios sobre procesos, asimilación de datos y predicción.

- Desarrollar el concepto de “predicción perfecta” dentro del contexto de la OMJ.

- Promover el traspaso de conocimientos y técnicas de predicción de grado avanzado sobre la convección organizada con objeto de mejorar los modelos numéricos operativos de predicción meteorológica y climáticos a través de vínculos con grupos fundamentales dentro de la unión GEWEX/CLIVAR/THORPEX y con los centros de predicción operativa.

- Desarrollar una estrategia para demostrar y evaluar los beneficios socioeconómicos y las aplicaciones derivadas del conocimiento avanzado y de las técnicas de predicción de los episodios meteorológicos y climáticos tropicales multiescalares en unas escalas de tiempo que varían desde días hasta estaciones.

Actividades posteriores al seminario

Tras la celebración del seminario THORPEX-PMIC, ha tenido lugar una actividad considerable, tal y como se expone a continuación:

- Al segundo Simposio científico internacional sobre el THORPEX (STISS), celebrado en Landshut (Alemania), entre el 4 y el 8 de diciembre de 2006, asistieron más de 200 participantes de cinco continentes y 32 países. Se identificó la convección tropical organizada

como un posible esfuerzo de colaboración que abarca la totalidad de los cuatro componentes (predictibilidad y procesos dinámicos; sistemas de observación; asimilación de datos y estrategias de observación; e investigación y aplicaciones sociales y económicas) del plan científico internacional del programa THORPEX.

- El Instituto de estudios terrestres integrados y multidisciplinares, del Centro nacional de investigación de la atmósfera de EEUU (CNIA), acogió un seminario sobre la intersección del tiempo y del clima, que reunió a investigadores de la comunidad universitaria norteamericana, del Departamento de Defensa de los EEUU, de la NASA, del CNIA y del Servicio Medioambiental de Canadá, con la tarea de presentar objetivos concernientes a la convección tropical como contribución al programa THORPEX. El informe puede verse en <http://www.tiimes.ucar.edu/events/documents/wc-WhitePaper-draft.pdf>.

- Un consorcio con sede en la Universidad británica de Reading (llamado Cascade) se centra en la simulación con una resolución capaz de resolver los sistemas nubosos de la atmósfera tropical. Cascade está patrocinado por el Consejo nacional de investigaciones medioambientales, y colabora con universidades e instituciones, especialmente con la Oficina Meteorológica del Reino Unido.

- El Centro de modelación de escalas múltiples de procesos atmosféricos (CMMAP), de la Universidad estatal de Colorado (Fort

Collins, Colorado), es un centro científico y tecnológico patrocinado por la Fundación nacional para la ciencia (NSF). El objetivo del CMMAP es mejorar la representación de los procesos relacionados con las nubes que intervienen en los modelos climáticos; para ello se recurre a una estructura de simulación multiescalar (MMF). En las MMF, los sistemas convectivos se representan de forma explícita empleando los CRM: sobreparametrización. La OMJ es uno de los principales temas de investigación del CMMAP.

- El Grupo de trabajo de la OMJ subestacional sobre el estudio de la variabilidad y predictibilidad del clima (CLIVAR) desarrolla aspectos métricos para evaluar el comportamiento de los modelos climáticos y de predicción para plazos subestacionales y más largos, y se encarga de diseñar y coordinar los trabajos de experimentación y análisis con modelos múltiples y con modelos capaces de resolver las nubes, a fin de diagnosticar y mejorar la predictibilidad y la predicción de la OMJ. También ayuda a coordinar las actividades y seminarios relacionados con la OMJ que organizan algunos programas del PMIM y del PMIC (como, por ejemplo, el Experimento mundial sobre la energía y el ciclo hídrico (GEWEX), el CLIVAR y el THORPEX). Se puede obtener información adicional en www.usclivar.org/Organization/MJO_WG.html.

Documentos de posicionamiento en preparación

El THORPEX y el PMIC han encargado dos documentos de posicionamiento para abordar los aspectos más generales de la investigación conjunta sobre el tiempo y el clima y su intersección con el sistema terrestre. El primer documento, al que se hace referencia como THORPEX/WCRP White Paper 1, está dirigido a las comunidades meteorológicas, climáticas y socioeconómicas y a los organismos que las respaldan. Esta iniciativa pondrá colaboraciones específicas entre el programa THORPEX y el PMIC, e implica asuntos altamente prioritarios relativos a la predicción

y simulación numéricas, la asimilación de datos, las observaciones semanales a estacionales, y las evaluaciones y aplicaciones de carácter socioeconómico.

Se está preparando un segundo documento para informar a los encargados de diseñar las políticas, a las academias científicas nacionales y a los usuarios de la información meteorológica, climática y medioambiental, de la necesidad imperiosa de establecer una agenda internacional de investigación multidisciplinar para acelerar los avances en la predicción de los fenómenos meteorológicos y climáticos de gran impacto y en el conocimiento de las complejas interacciones del sistema biológico y químico de la Tierra para, de esta manera, mejorar la toma de decisiones.

Conclusiones

Este documento resume el desafío de avanzar en el conocimiento de la convección tropical, la organización convectiva multiescalar y los mecanismos de interacción bidireccional con las regiones extratropicales, dentro del marco de una iniciativa de investigación conjunta del programa THORPEX y el PMIC. Cumplir este desafío supone un paso fundamental de cara a mejorar las técnicas actuales de predicción numérica a plazo medio y su ampliación hacia las escalas de tiempo subestacionales, e incluso más allá de estas. Las actividades descritas ponen de relieve un progreso temporal hacia este noble objetivo.

Agradecimientos

Queremos dar las gracias a Gilbert Brunet, Duane Waliser y Huw Davies por sus útiles comentarios.

Referencias

BIELLO, J.A., A.J. MAJDA & M.W. MONCRIEFF, 2007: Meridional momentum flux and superrotation in the multiscale IPESD MJO model. *J. Atmos. Sci.* (en imprenta).

CLIVAR Exchanges 2006: Special edition on Indian Ocean climate, 39, Vol. 11, 31 pp.

FERRANTI, L., T.N. PALMER, F. MOLteni & E. KLInKER, 1990: Tropical-extra tro-

pical interaction associated with the 30-60 day oscillation and its impact on medium and extended range prediction. *J. Atmos. Sci.*, 47, 2177-2199.

GRABOWSKI, W.W., 2001: Coupling cloud processes with large-scale dynamics using the Cloud-Resolving Convection parameterization (CRCP). *J. Atmos. Sci.*, 58, 978-997.

JOHNSON, R.H., T.M. RICKENBACH, S.A. RUTLEDGE, P.E. CIESIELSKI & W.H. SCHUBERT, 1999: Trimodal characteristics of tropical convection. *J. Climate*, 2397-2407.

KHAIROUTINOV, M. & D. RANDALL, 2007: Evaluation of the simulated interannual and subseasonal variability in an AMIP-style simulation using the CSU Multiscale Modeling Framework. *J. Climate*, presentado.

KHOUIDER, B. & A.J. MAJDA, 2006: Multicloud convective parameterizations with crude vertical resolution. *Theoretical and Computational Fluid Dynamics*. Special issue: Theoretical Developments in Tropical Meteorology, 20, 351-375.

KILADIS, G.N., 1998: Observations of Rossby waves linked to convection over the eastern tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 55, 321-339.

MADDEN, R.A. & P.R. JULIAN, 1972: Description of global-scale circulation cells in the Tropics with a 40-50 day period. *J. Atmos. Sci.*, 29, 1109-1123.

MAJDA, A.J. & R. KLEIN, 2003: Systematic multiscale models for the tropics. *J. Atmos. Sci.*, 60, 393-408.

MONCRIEFF, M.W., 2004: Analytic representation of the large-scale organization of tropical convection. *J. Atmos. Sci.*, 61, 1521-1538.

NEWMAN M., P.D. SARDESHMUKH, C.R. WINKLER & J.S. WHITAKER, 2003: A study of subseasonal predictability. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1715-1732.

SHAPIRO, M.A. & A.J. THORPE, 2004: THORPEX International Science Plan. WMO/TD-No. 1246, WWRP/THORPEX, No. 2, 51 pp.

THORPEX/International Core Steering Committee (ICSC), 2005: THORPEX International Research Implementation Plan, WMO/TD-No. 1258, WWRP/THORPEX, No. 4, 95 pp.

YANO, J.-I., J.C. McWILLIAMS, M.W. MONCRIEFF & K.A. EMANUEL, 1995: Hierarchical tropical cloud systems in an analog shallow-water model. *J. Atmos. Sci.*, 52, 1723-1742.