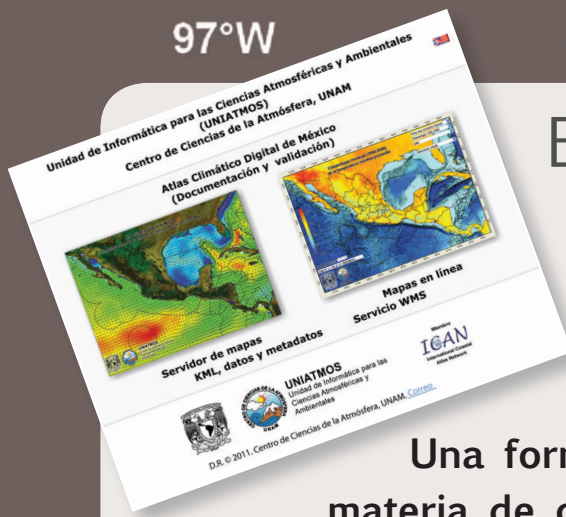


97°W

96°W

95°W

94°W



EL ATLAS CLIMÁTICO DIGITAL DE MÉXICO

Agustín Fernández-Eguiarte, Rosario Romero-Centeno y Jorge Zavala-Hidalgo

Una forma fácil y amable de entender el país en materia de clima, cambio climático y aspectos ambientales.

Entre 1950 y el año 2000 la temperatura promedio del mes de enero en Hermosillo, Sonora, fue de 16°C y en Mérida, Yucatán, de 22°C. En 2030 podría ser de 17°C y 23°C, respectivamente. Estos datos, y los correspondientes a 2050 y 2080 para cualquier lugar de la República Mexicana, se pueden obtener en cuestión de segundos con sólo dar unos clics en la página *web* del Atlas Climático Digital de México (ACDM). También están disponibles los datos acerca de la precipitación y de otros parámetros relacionados con el clima, como el tipo de vegetación.

Además del valor mensual de cualquier variable que uno elija, activando las distintas capas disponibles en el atlas, se puede desplegar información adicional, como las coordenadas geográficas, la elevación sobre el nivel medio del mar y el nombre del estado, municipio y localidad.

Para hacer proyecciones del clima este atlas emplea los modelos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC,

por sus siglas en inglés). Así, uno puede consultar las proyecciones o escenarios para la temperatura y la precipitación en los años 2030, 2050 y 2080, y enterarse de cuánto se estima que cambiarán por efecto del cambio climático. Esta información se consulta en forma interactiva en más de 2600 mapas disponibles actualmente en el ACDM. ¿Quieres probarlo?

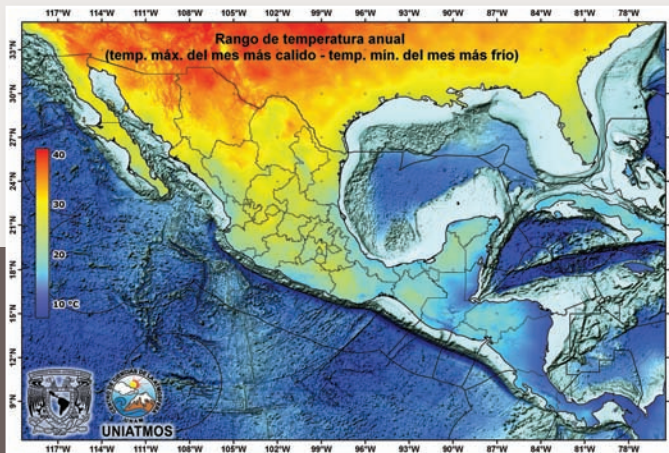
Está aquí: <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx>

Un atlas para todos

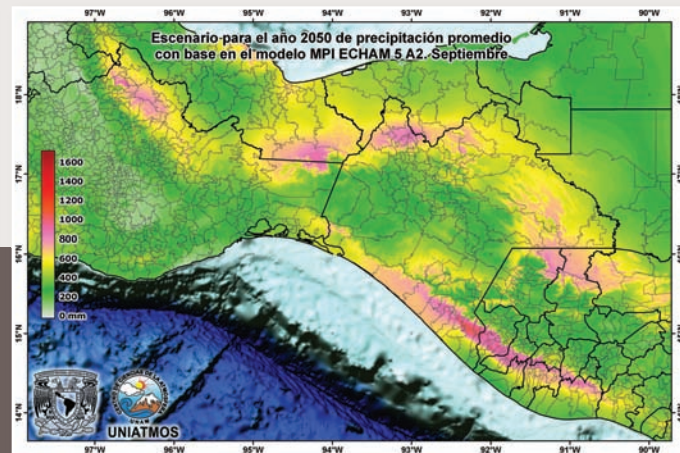
El ACDM ofrece una forma fácil y amable de entender el país en materia de clima, cambio climático y aspectos ambientales, en escalas que van de la municipal a la nacional. Es el resultado de un ambicioso proyecto que ofrece información del clima en la zona continental y oceánica de México, Centroamérica y zonas adyacentes en mapas configurados por el usuario o en mapas previamente configurados. El ACDM está concebido para apoyar lo

mismo a la investigación científica que al sector gubernamental, al sector privado y a los estudiantes de todos los niveles educativos. Su página *web* ya se ha convertido en un sitio de consulta para una gran cantidad de instituciones de educación superior públicas y privadas, así como para organismos gubernamentales y no gubernamentales tanto nacionales como del extranjero

El proyecto de construcción del Atlas Climático Digital de México se inició hace dos años y medio, en la Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIATMOS) del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la UNAM. Forma parte del megaproyecto *Sistema de Informática para la Biodiversidad y el Ambiente* de esta casa de estudios. El ACDM está dirigido por un grupo de académicos del CCA y en él participan más de 20 investigadores de diversas dependencias de la UNAM, estudiantes de posgrado, licenciatura y becarios. El reto



En este mapa se observa que en el norte del país la temperatura a lo largo del año tiene un rango de variación de entre 30°C y 40°C, mientras que en el sur-sureste su variación está entre 10°C y 20°C. En la parte oceánica del mapa se despliega la topografía del fondo marino



Estimación de la precipitación promedio para septiembre 2050, conforme a uno de los modelos y escenarios del IPCC. Los escenarios son panoramas de cómo el sistema climático de la Tierra puede modificarse como consecuencia de distintos esquemas de emisiones de gases de efecto invernadero.

más importante para ponerlo en marcha y mantenerlo, además de la búsqueda de recursos financieros, ha sido conjuntar los desarrollos de las nuevas tecnologías geomáticas (*geo*, tierra, y *mática*, informática) con el conocimiento de los investigadores en las áreas temáticas que se abordan.

Mapas al instante

Los mapas del ACDM se elaboraron buscando una presentación vistosa, combinando técnicas computacionales para realzar los rasgos fisiográficos. La información se presenta mediante dos opciones: un servidor de mapas y mapas en línea. Estas interfaces con el usuario son muy amigables y rápidas, considerando los grandes volúmenes de información que manejan.

El servidor de mapas es mucho más rápido que la mayoría de los servidores similares en la red mundial debido a que fue programado para procesar en paralelo cada solicitud. El mapa solicitado se elabora utilizando varios procesadores a la vez y generando el código de configuración de la imagen en forma dinámica. Así el usuario puede crear interactivamente su mapa con muchas más posibilidades. En pocos segundos se pueden configurar mapas con diferentes acercamientos, combinando imágenes con información climática y capas con información como división política, municipios y ríos.

La opción de mapas en línea contiene la misma información que el servidor de mapas, pero requiere menos ancho de

LAS BASES DE DATOS DEL ACDM

Algunas de las bases de datos más importantes que incluye el Atlas Climático Digital de México:

- Los límites municipales, estatales, de islas, litorales y fronteras, así como sus respectivos nombres son datos que provienen del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). La información de límites de otros países, así como los datos de cuencas, ríos y lagunas provienen del Sistema de Información Mesoamericana (SIAM).
- La cartografía climática continental se elaboró a partir de los datos de la red de estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua.
- La información sobre indicadores y escenarios socioeconómicos se procesó a partir de la base de datos del *Greenhouse Gas Initiative (GGI) Program of the International Institute for Applied Systems Analysis*, mientras que la capa de uso del suelo se tomó del *North American Land Change Monitoring System*.

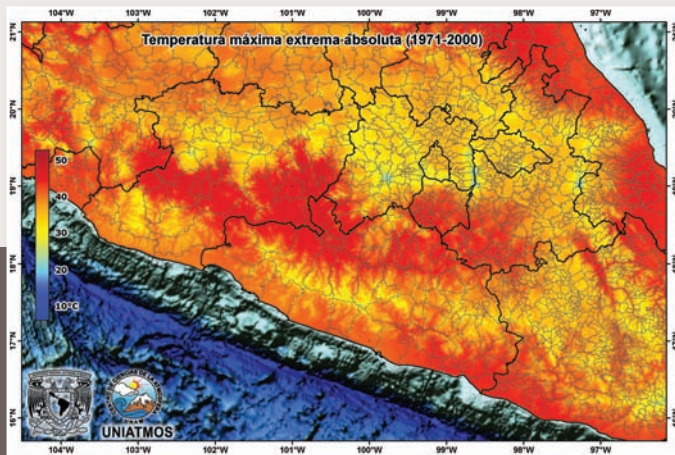
- La climatología oceánica y costera se desarrolló a partir de datos obtenidos por diversos sensores satelitales, entre ellos *Aqua MODIS* (temperatura superficial del mar y concentración de clorofila-a), *QuikSCAT* (magnitud y dirección del viento sobre la superficie del océano), *Ocean Topography Experiment* y el *European Remote Sensing Satellite* (topografía dinámica absoluta y anomalía del nivel del mar).
- Los modelos digitales de elevación se desarrollaron a partir de los datos del *General Bathymetric Chart of the Ocean* y del *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* y del *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)*.

El ACDM da acceso a las bases de datos históricos de nivel del mar de la zona costera de México, al pronóstico de marea y a las observaciones en tiempo real que proporciona el Servicio Mareográfico Nacional del Instituto de Geofísica de la UNAM.

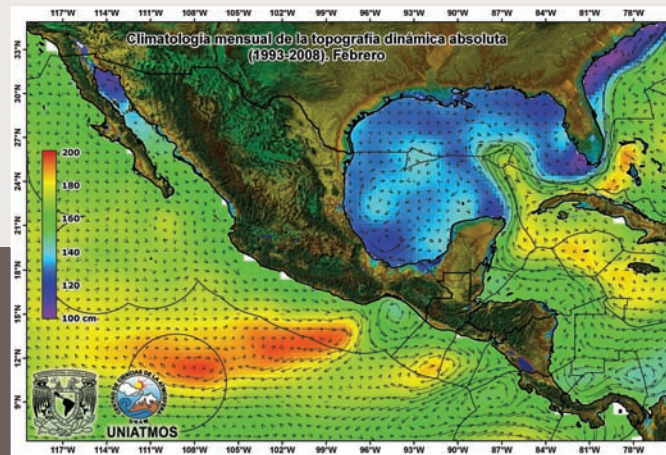
banda de la red y menos capacidad de cómputo, ya que trabaja con información predeterminada. Esto da como resultado un acceso más rápido a los mapas.

El ACDM está estructurado a partir de dos componentes principales: “variables terrestres” y “variables marinas”. La primera incluye, además de los ejemplos de modelos y escenarios de cambio climático, mapas climatológicos de temperatura media, máxima y mínima, y precipitación media. A partir de ellos, y mediante fórmulas aritméticas sencillas, se integraron

19 combinaciones denominadas “parámetros bioclimáticos” con la finalidad de relacionar el clima con los seres vivos. Esta componente también incluye mapas de temperaturas máximas y mínimas extremas, útiles en estudios de eventos climáticos e hidrometeorológicos extremos y para establecer estrategias de prevención, mitigación y atención de los desastres asociados a fenómenos naturales. Además incorpora mapas de indicadores socioeconómicos como población total, densidad de población y producto interno bruto para



Temperatura máxima extrema absoluta en el periodo 1971-2000. Este mapa se generó a partir de los datos de la temperatura máxima diaria registrada en 3 548 estaciones del Servicio Meteorológico Nacional y se pueden observar regiones con temperaturas extremas de hasta 50 °C.



Topografía dinámica absoluta para febrero considerando el periodo 1993-2008. Se muestran las corrientes y remolinos oceánicos superficiales así como los límites de la Zona Económica Exclusiva de los países incluidos en el Atlas Climático Digital de México.

los años de referencia de 1990 y 2000, así como pronósticos para dichos indicadores cada 10 años a partir del año 2010 y hasta el 2100. Por último, esta componente incluye un mapa de cobertura del suelo que indica si una región determinada está cubierta por bosque, si es zona de cultivo, desierto o zona urbana.

La componente “variables marinas” contiene mapas de temperatura superficial del mar y de concentración de clorofila-a, así como de sus respectivas anomalías (desviaciones con respecto al promedio climatológico). La clorofila-a es producida por algas microscópicas (fitoplancton) y es un indicador de la actividad biológica en el mar. En esta componente del ACDM también hay mapas de los vientos sobre la superficie oceánica, así como de otras variables relacionadas con el estudio de las corrientes marinas.

Como marco de referencia para la composición de los mapas temáticos, el ACDM incorpora tres modelos digitales de elevación que sirven para modelar la topografía continental y la del fondo del océano con diferentes resoluciones espaciales, las cuales indican el grado de detalle que es posible observar en cada uno de ellos.

El atlas despliega también, como información base o de referencia, las localidades urbanas y rurales, los límites municipales, estatales, de islas, litorales,

fronteras de México y su Zona Económica Exclusiva, todo con sus respectivos nombres y características. Para los países de Centroamérica el atlas incorpora todo lo indicado para México, excepto las localidades urbanas y rurales.

En el ACDM se han integrado numerosas bases de datos nacionales e internacionales, a las cuales hemos dado una representación cartográfica (ver recuadro).

Libre y gratuito

El portal del ACDM da acceso a la información a través de cinco opciones: 1) Documentación y validación, 2) Servidor de mapas, 3) Mapas en línea, 4) KML, datos y metadatos, y 5) Servicio WMS. Hasta el momento, el atlas contiene 2625 mapas en línea elaborados a partir de 454 capas o bases de datos temáticas para México, Centroamérica y el sur de Estados Unidos, de las cuales 48 corresponden a aspectos climáticos continentales, 216 a escenarios de cambio climático, 19 son de parámetros bioclimáticos, 48 de indicadores y escenarios socioeconómicos, 122 de clima oceánico y una de cobertura del suelo. Los datos de los mapas temáticos del ACDM se pueden descargar, de manera libre y gratuita, en formatos *Geotiff* y *txt*, con la finalidad de que los usuarios puedan crear nuevos mapas con otras variables.

Todos los mapas del atlas se encuentran disponibles en formato *kml*. Este formato sirve para incorporar los mapas al sistema *Google Earth* y así combinar todas las componentes y facilidades de dicho sistema con los del atlas.

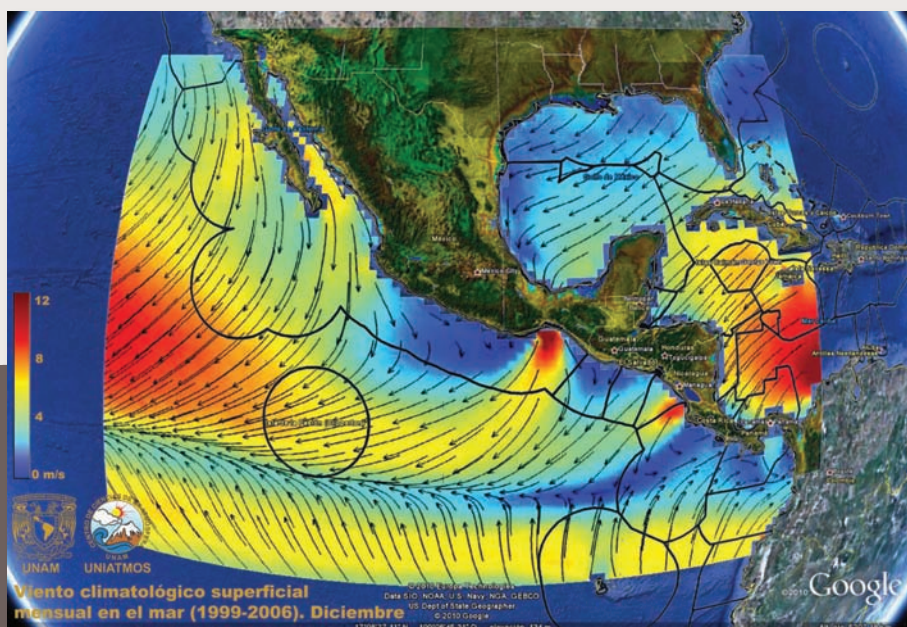
Los mapas y bases de datos contienen metadatos, una especie de encabezado de los datos que sirve para describirlos y que contiene información como el nombre de los mapas y datos, el nombre del responsable de su origen y publicación, su calidad, su referencia geoespacial, sus características y atributos, por ejemplo. Los metadatos sirven para organizar y mantener el acervo de una organización o dependencia y para interpretar y procesar datos transferidos por otra institución.

Las capas de los mapas del ACDM pueden solicitarse a través del servicio de mapas en la red denominado Web Map Service (WMS), que funciona mediante sistemas de información geográfica y permite obtener y usar mapas elaborados en instituciones de todo el mundo.

En el corto plazo, uno o dos años, en el atlas se incorporará más información climática, por ejemplo mapas climatológicos mensuales de tormentas tropicales y huracanes en los mares y costas de México, capas de viento y mapas y datos de descargas eléctricas en el país. Después se podrán dar con mucho más detalle las principales variables climáticas por región y localidad en periodos determinados. En el largo plazo se podría incluir un reanálisis climático mediante mapas que representen la evolución del clima en México en distintas escalas de tiempo (años, meses, semanas), así como nuevas técnicas computacionales para obtener y visualizar información cruzada.

Para nuestros suscriptores

La presente edición va acompañada por una guía didáctica, en forma de separata, para abordar en el salón de clases el tema de este artículo.



Viento promedio sobre la superficie del mar para el mes de diciembre, considerando el periodo 1999-2006, visualizado en el sistema *Google Earth*.

Agustín Fernández Eguiarte es ingeniero experto en geomatica y coordinador de la Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.

Rosario Romero Centeno es doctora en ciencias (física de la atmósfera) e investigadora asociada en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.

Jorge Zavala Hidalgo es doctor en ciencias (oceanografía física), investigador titular en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM y jefe del Servicio Mareográfico de la UNAM.