

Atlas y repositorio de escenarios de cambio climático regionalizados CORDEX, AR6, IPCC para México, Centroamérica, Cuba, Jamaica y sur de Estados Unidos de América

Autores

Agustín Fernández Eguiarte*
Carolina Ivonne Castelán Hernández*
Víctor Omar Minero Cruz**
Luis Gerardo Elizarrarás Ríos**

*Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM

**Dirección General de Repositorios Universitarios, UNAM

El atlas y el repositorio

El propósito del Atlas es poner a disposición de usuarios especializados e interesados en general visualizaciones y bases de datos mensuales interactivas en Internet de escenarios de cambio climático regionalizados sobre temperaturas extremas máxima y mínima para la República Mexicana, así como promedios de temperatura máxima, mínima y precipitación acumulada para México, Centroamérica, Cuba, Jamaica y sur de Estados Unidos de América que sirvan como insumo para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, con base en el Sexto Informe de Evaluación (AR6, por sus siglas en inglés) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas 2022 (IPCC, 2021).

El Atlas también despliega las bases de datos de las climatologías mensuales de referencia generadas para elaborar los escenarios regionalizados, así como las de cambio mensual entre los escenarios y sus propias climatologías de referencia. Todas las bases de datos se encuentran disponibles para su descarga en los metadatos correspondientes, fueron estructuradas en muy alta resolución espacial (30" x 30", aproximadamente 926 m x 926 m) en relación con el período 1981-2010 e incorporan el efecto topográfico (Fernández et al., 2022a). Ver figura 1.

Los mapas y sus bases de datos se desarrollaron a partir de datos del Atlas Interactivo del AR6 (Gutiérrez, J.M., et al. 2021), así como con los datos observados en 4844 estaciones con datos de temperatura máxima y precipitación, y 5466 estaciones con datos de temperatura mínima de la base de climatología diaria del Servicio Meteorológico Nacional de México (SMN, 2020) publicados en abril del 2020, de la que se extrajeron las

estaciones el periodo 1981-2010 y se les aplicó un control de calidad que se detalla en la sección “Metodologías” del presente capítulo. En las áreas adyacentes a México, Centroamérica, Cuba, Jamaica y sur de los Estados Unidos de América se utilizaron datos climáticos de la base WorldClim del período 1970-2000, versión 2.1 (WorldClim, 2022).

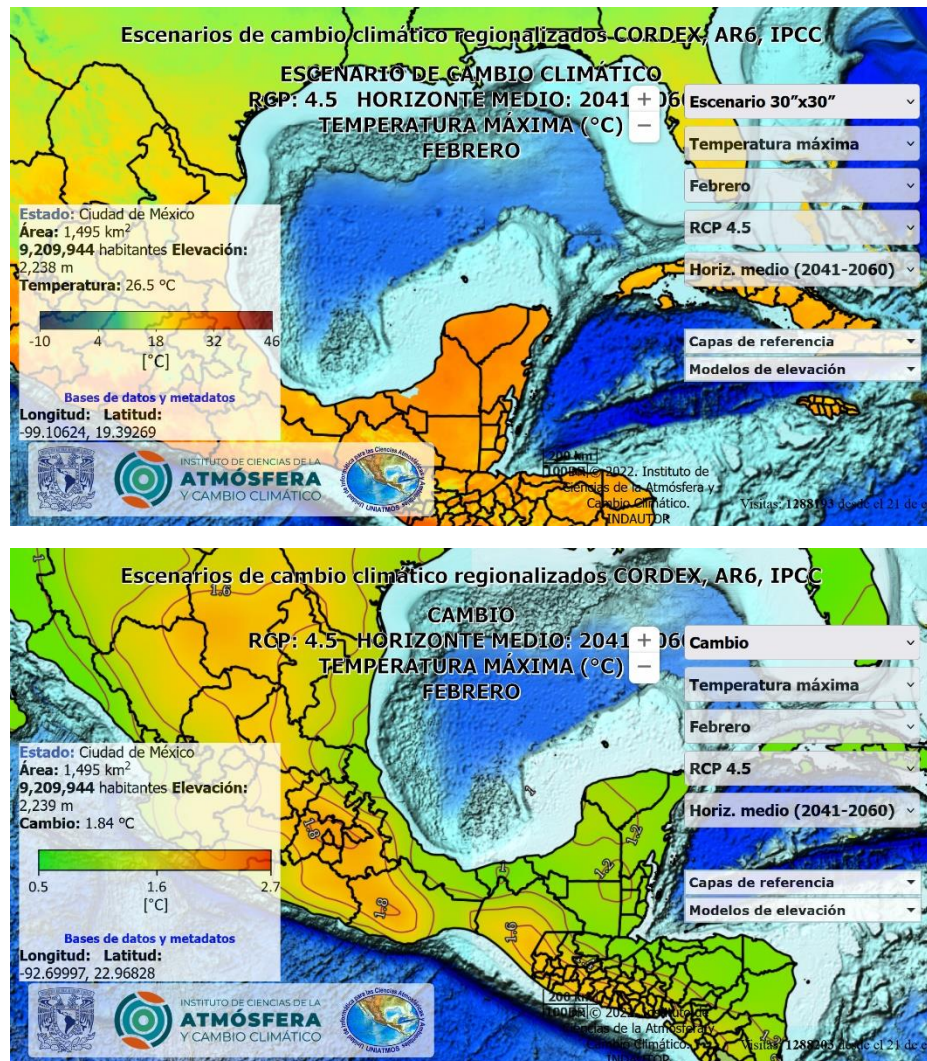


Figura 1. Mapas interactivos de un escenario de cambio climático y su correspondiente cambio de temperatura máxima promedio para febrero, RCP 4.5, horizonte medio 2041-2060 en el Atlas de escenarios de cambio climático regionalizados.

Las bases de datos de los escenarios, de las climatologías de referencia y de cambio, se encuentran depositadas y disponibles para su libre descarga en el Repositorio Institucional de datos científicos geoespaciales del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático (ICAYCC) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM),

en su sección “Datos de escenarios de cambio climático regionalizados CORDEX, AR6, IPCC” (Fernández et al., 2022b) que tiene como principal objetivo la búsqueda, el acceso, la interoperabilidad y reutilización de las bases de datos, es decir, se encuentran enmarcados dentro de los principios FAIR (Wilkinson et al., 2016). Ver figura 2.



Figura 2. Repositorio Institucional de datos científicos geoespaciales del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la UNAM. Datos de escenarios de cambio climático regionalizados CORDEX, AR6, IPCC

Funcionalidades

El Atlas de escenarios de cambio climático regionalizados CORDEX, AR6, IPCC constituye una de las componentes del portal de la Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIATMOS) (Fernández et al., 2022c) del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la UNAM, desde la cual se pueden desplegar todos los mapas interactivos y en cada uno de ellos acceder a su metadato correspondiente en el que se encuentran los vínculos para la descarga de las bases de datos, así como la descripción de las metodologías implementadas para su generación, entre otros elementos. Ver figura 3.

En las visualizaciones de los escenarios y cambios se pueden seleccionar interactivamente la variable y el mes; las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés) 4.5 y 8.5; el horizonte cercano 2021-2040, medio 2041-2060 o lejano 2081-2100 que se desee visualizar o cualquier combinación entre ellos. En las climatologías de referencia, se selecciona la variable y el mes. Para cualquier

combinación es posible hacer consultas puntuales e interactivas de los valores en cualquier celda de la base de datos de las variables desplegadas, así como acceder al metadato particular de cada variable y descargar la base de datos completa de la selección. Las bases de datos georreferenciadas se encuentran disponibles para su descarga en los metadatos del Repositorio en formatos NetCDF, GeoTIFF, TXT; las isolíneas de cambio se encuentran en formato Shapefile.

En el mismo portal de la UNIATMOS, existe un acceso al Repositorio Institucional de datos científicos geoespaciales del ICAYCC, UNAM (Fernández et al., 2022d) en el que se encuentran depositados los metadatos de todos los mapas del Atlas de escenarios de cambio climático regionalizados CORDEX, AR6, IPCC, así como muchas otras componentes del Repositorio. Ver figura 2.

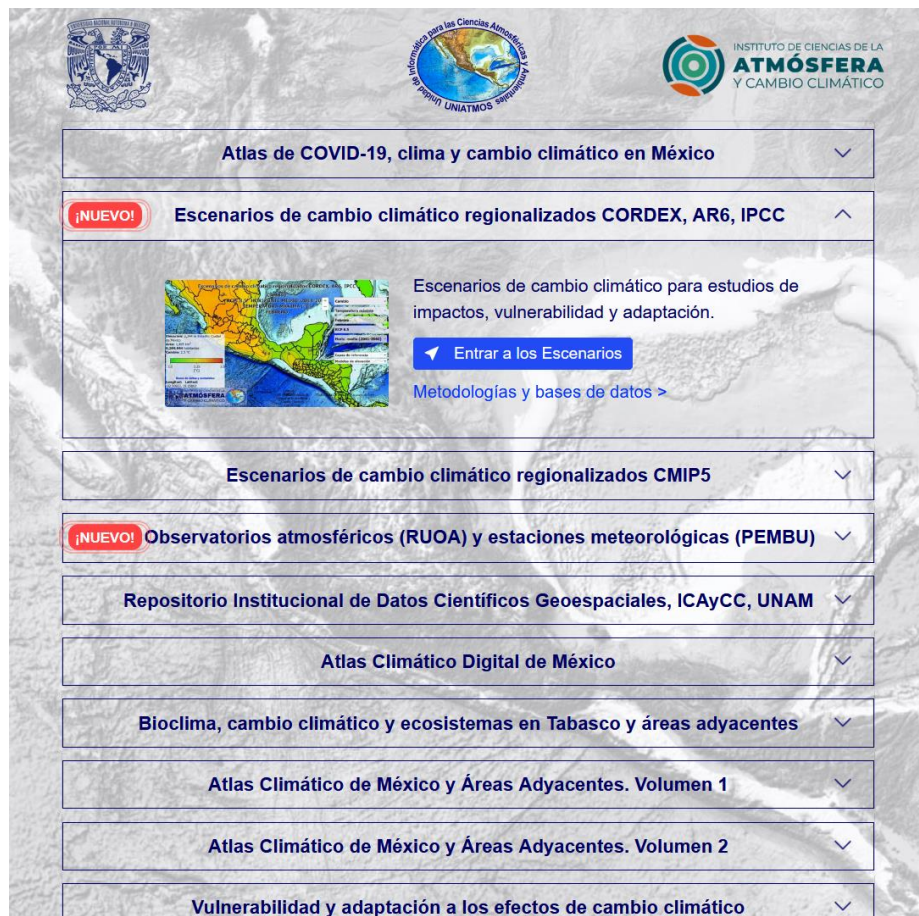


Figura 3. Portal de la Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la UNAM

Metodologías de las climatologías de referencia

Las bases de datos de las climatologías de referencia de temperaturas máxima, mínima y precipitación del período 1981-2010 se generaron mediante el control de calidad, validación y procesamiento de los datos de estaciones de la base de climatología diaria del Servicio Meteorológico Nacional, así como con datos de las bases mensuales de temperatura máxima, mínima y precipitación promedio 1902-2015 del Atlas Climático Digital de México (Fernández et al., 2015) y de datos históricos de la base WorldClim del período 1970-2000, versión 2.1. Ver figura 4.

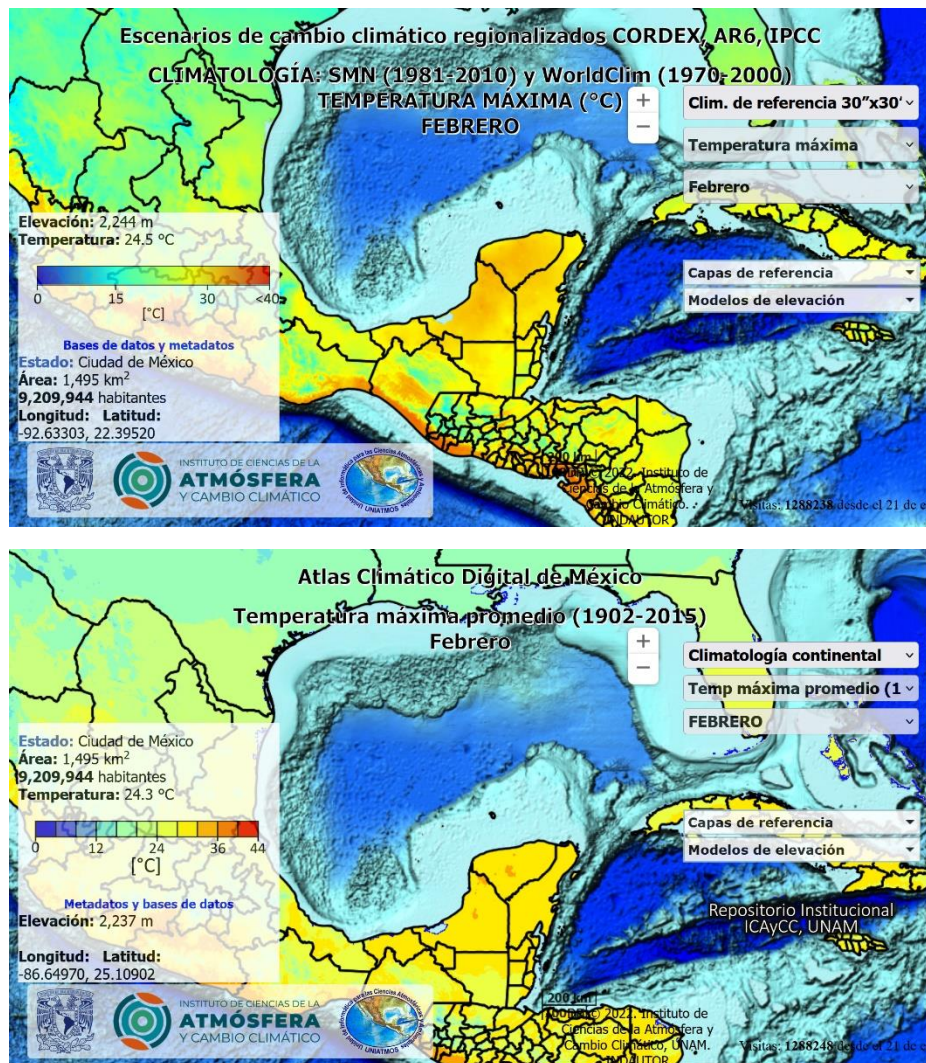


Figura 4. Mapas de temperatura máxima de referencia en el Atlas de escenarios de cambio climático regionalizados y temperatura máxima promedio del Atlas Climático Digital de México.

Para generar las bases de datos mensuales de temperaturas extremas máxima y mínima se utilizaron los valores respectivos de cada estación de la propia base de climatología diaria del Servicio Meteorológico Nacional del período 1981-2010, a las que de igual forma se les aplicó un control de calidad. También se utilizaron datos de las bases mensuales de temperaturas máximas y mínimas extremas absolutas 1902-2015 del Atlas Climático Digital de México. (Fernández et al., 2015).

Se descargaron y procesaron los datos de la base climatológica diaria del SMN, y para cada una de las estaciones climatológicas se generaron promedios mensuales de temperatura máxima, mínima y precipitación, considerando en la precipitación solo las estaciones que tuvieron más del 90% de datos diarios por mes. Para el caso de las temperaturas máxima y mínima extremas se extrajeron los valores mensuales respectivos de cada estación.

Se obtuvieron las diferencias entre los promedios mensuales de temperatura máxima, mínima y precipitación y el valor correspondiente en la superficie climática mensual al período 1902-2015 del Atlas Climático Digital de México, así como las diferencias entre los valores de temperatura máxima y mínima extrema mensual de cada estación y valor correspondiente en las superficies climáticas mensuales de temperatura máxima y mínima extrema absoluta 1902-2015. Del conjunto de diferencias se eliminaron las estaciones cuyos valores resultaron por encima o por debajo de la media ± 2 desviaciones estándar para cada mes y variable. A partir de los datos mensuales por estación depurados mediante este control de calidad, se realizó una interpolación con el método IDW¹ de las diferencias con resolución espacial de 30" x 30", aproximadamente 926 m x 926 m. Ver metodología y análisis en Fernández et al., 2012.

Las superficies o bases de datos en malla de las diferencias interpoladas se sumaron a las respectivas superficies climáticas mensuales del Atlas Climático Digital de México que contemplan el efecto de la topografía de la base Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) con 90 m de resolución espacial, para de esta forma obtener las climatologías de referencia que incorporan el efecto topográfico considerado en dichas bases de datos y que fueron utilizadas en la generación de los nuevos escenarios regionalizados georreferenciados de cambio climático. En las regiones de Centroamérica, Cuba,

Jamaica y el sur de Estados Unidos de América, como se ha mencionado, se utilizaron las climatologías correspondientes de la base *WorldClim* del período 1970-2000, versión 2.1, que también consideran el efecto topográfico.

Metodologías de cambio y escenarios de cambio climático

Del Atlas Interactivo del AR6 (Gutiérrez, J.M., et al. 2021) se descargaron los datos mensuales de la componente “Cambio” para las variables: Temperatura máxima, mínima y precipitación, así como de temperatura máxima y mínima extrema; horizontes: cercano 2021-2040, medio 2041-2060 y lejano 2081-2100; escenarios RCP4.5 y RCP8.5 correspondientes a la línea base 1981-2010 para los dominios CORDEX correspondientes a Centroamérica y Norteamérica.

Se realizó un corte de la base de datos de la componente “Cambio” CORDEX Centroamérica para el dominio comprendido entre los 5° y 35° de latitud norte y los 119° y 74.13° de longitud oeste. Los datos de la base CORDEX Norteamérica solo se utilizaron para complementar la zona noroeste de dicho dominio.

Los cortes de las nuevas matrices de datos con resolución espacial original de 0.5° x 0.5° se subdividieron, no interpolaron, en celdas con una resolución espacial de 30” x 30” aproximadamente 926 m x 926 m, con la finalidad de no alterar sus valores originales y para sumarlas a las correspondientes climatologías de referencia.

Las climatologías de referencia generadas contemplan el efecto de la topografía, al sumarlas a sus correspondientes matrices de “Cambio” se generaron los escenarios mensuales de cambio climático regionalizados para México y áreas adyacentes a muy alta resolución espacial y que consideran el efecto de la topografía. Ver figura 5.

Las metodologías, procesos y control de calidad de los datos para generar las bases de datos de las variables mencionadas, así como de todas las temáticas contenidas en el Repositorio se describen en los metadatos correspondientes. Todos los procesos se realizaron en la Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la UNAM, en estrecha colaboración con grupos de investigación especializados en cada una de las temáticas incorporadas hasta el momento.

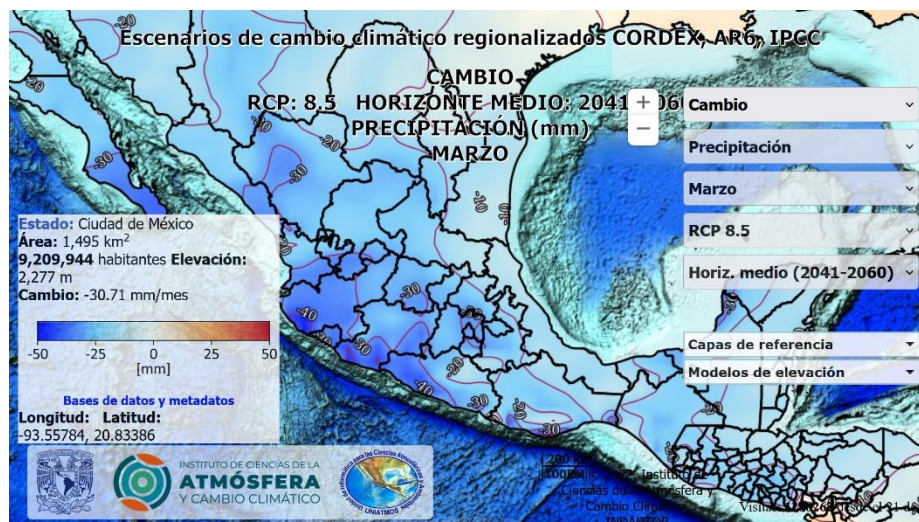


Figura 5. Mapa de cambio de precipitación, RCP 8.5, marzo, horizonte medio 2041-2060 en el Atlas de escenarios de cambio climático regionalizados CORDEX, AR6, IPCC.

Datos Abiertos FAIR

“En la era digital, los datos son la materia prima sobre la que se construyen los descubrimientos; por ello el acceso sin restricciones a los datos científicos resultan cruciales para acelerar el avance en la investigación científica. Los datos juegan un papel central para ayudar a predecir, contrarrestar o resolver diversos riesgos, para este caso, asociados con fenómenos climáticos y de cambio climático.

La cantidad de datos científicos y académicos crece exponencialmente cada año y a pesar de su tremenda importancia, hoy en día, los datos de investigación permanecen en gran parte fragmentados, aislados en millones de computadoras individuales, bloqueados por diferentes restricciones técnicas, legales y financieras” (SPARC Europe, 2022).

Resulta importante dimensionar que los datos utilizados y generados por las investigaciones constituyen solo una mínima parte de los datos científicos que se producen en instituciones de investigación. Internet fue concebida para compartir datos, pero su intercambio no es todavía una práctica común en el medio académico. Los datos de investigación también deben ser localizables, accesibles, interoperables y reutilizables (Wilkinson et al., 2016).

El Atlas y el Repositorio Institucional representan una contribución en materia de datos científicos geoespaciales de escenarios de cambio climático regionalizados dentro de los principios de Datos Abiertos FAIR (FAIR Principles, 2022).

Repositorio Institucional

El Repositorio Institucional y el Atlas de escenarios regionalizados de cambio climático pretenden contribuir de forma innovadora a la Ciencia Abierta a fin de que los datos científicos geoespaciales sirvan como punto de partida para la generación de nuevo conocimiento científico en las disciplinas vinculadas con estudios sobre el cambio climático y sean de utilidad también en los niveles educativos medios y superiores, así como para los responsables públicos y privados de la toma de decisiones debido a que las visualizaciones interactivas facilitan el entendimiento de la distribución geográfica de las variables de cambio climático y en sus metadatos se encuentran disponibles las bases de datos y la descripción de los procesos y metodologías implementados en su desarrollo.

El Atlas y el Repositorio facilitan avanzar en la apropiación social del conocimiento en materia de cambio climático en México, es decir, coadyuvan en la comunicación entre los científicos y la sociedad en su conjunto y contribuyen en la generación de políticas públicas conjuntas que, entre otros beneficios, incidan en una mejor gestión integral del riesgo y en la cultura de la vulnerabilidad y adaptación ante los impactos de desastres asociados al cambio climático.

El Repositorio es un desarrollo tecnológico que permite continuar integrando datos e información de las diversas temáticas y estudios sobre cambio climático y climatología, por lo que se hace necesario continuar avanzando en la conformación de un Repositorio Nacional de Datos Científicos Georreferenciados de Cambio Climático.

Los contenidos del Repositorio son interoperables directamente con varias iniciativas de infraestructura de datos científicos geoespaciales alrededor del mundo ya que su desarrollo se fundamentó en las mismas tecnologías geoespaciales que utilizan dichas iniciativas, entre ellas: European Environment Agency (EEA, 2022); Infrastructure for Spatial Information in Europe (INSPIRE, 2022); World Meteorological Organization Catalogue for Climate Data (WMO, 2022); Data Observation Network for Earth (DataONE, 2022); Open Data Portal (NASA, 2022); Copernicus (Copernicus, 2022) y Climate Data Online (NOAA, 2022).

Recíprocamente el Repositorio posibilita cosechar en minutos las bases de datos de dichos organismos siendo de igual forma interoperable con cualquier otro repositorio mediante protocolos de transferencia de metadatos.

Referencias

Copernicus. 2022. Plataformas convencionales de acceso a los datos. <https://www.copernicus.eu/es/acceso-los-datos/plataformas-convencionales-de-acceso-los-datos>. Consultado 3 octubre de 2022

DataONE. 2022. Data Observation Network for Earth. <https://www.dataone.org>. Consultado 3 octubre de 2022

EEA. 2022. geospatial data catalogue. <https://sdi.eea.europa.eu/catalogue/srv/eng/catalog.search#/home>. Consultado 3 octubre de 2022

FAIR Principles. 2022. GO FAIR. <https://www.go-fair.org/fair-principles/>. Consultado 30 septiembre de 2022.

Fernández A, Romero R, Zavala J. 2012. Atlas Climático de México y Áreas Adyacentes. Volumen 1. Control de calidad de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación mensual por estación. <http://atlasclimatico.unam.mx/ACM/#24>. Consultado 13 septiembre de 2022

Fernández A, Castelán CI, Elizarrarás LG, Minero VO, Bautista A. 2015. Atlas Climático Digital de México. Climatología continental. Temperatura máxima y mínima promedio mensual, y precipitación acumulada mensual (1902-2015). Temperatura máxima y mínima extrema absoluta (1902-2015). <https://atlasclimatico.unam.mx/acdm/>. Consultado 25 septiembre de 2022

Fernández A, Castelán CI, Minero VO, Elizarrarás LG. 2022a. Escenarios de cambio climático regionalizados CORDEX, AR6, IPCC. <https://atlasclimatico.unam.mx/ar6/>. Consultado 12 mayo de 2022

Fernández A, Castelán CI, Elizarrarás LG, Minero VO, Bautista A. 2022b. Repositorio Institucional Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM. Datos de escenarios de cambio climático regionalizados CORDEX, AR6, IPCC. <https://ri.atmosfera.unam.mx/AR6/>. Consultado 20 agosto de 2022

Fernández A, Castelán CI, Minero VO, Elizarrarás LG. 2022c. Portal de la Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales. Institucional Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM.

<https://uniatmos.atmosfera.unam.mx/>. Consultado 4 septiembre de 2022

Fernández A, Castelán CI, Elizarrarás LG, Minero VO, Bautista A. 2022d. Repositorio Institucional Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM. <https://ri.atmosfera.unam.mx/acdm/>. Consultado 25 septiembre de 2022

Gutiérrez, J.M., R.G. Jones, G.T. Narisma, L.M. Alves, M. Amjad, I.V. Gorodetskaya, M. Grose, N.A.B. Klutse, S. Krakovska, J. Li, D. Martínez-Castro, L.O. Mearns, S.H. Mernild, T. Ngo-Duc, B. van den Hurk, and J.-H. Yoon, 2021: Atlas. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Available from <https://interactive-atlas.ipcc.ch>. Consultado 12 abril de 2022

INSPIRE. 2022. INSPIRE Knowledge base - Metadata. <https://inspire.ec.europa.eu/document-tags/metadata>. Consultado 3 octubre de 2022

IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:[10.1017/9781009157896](https://doi.org/10.1017/9781009157896).

NASA. 2015. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). <https://www.earthdata.nasa.gov/sensors/srtm>. Consultado 24 junio de 2022

NASA. 2022. NASA Open Data Portal. Available at <https://data.nasa.gov>. Consultado 3 octubre de 2022

NOAA. 2022. Climate Data Online. <https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/>. Consultado 3 octubre de 2022

SMN. 2020. Servicio Meteorológico Nacional. Información Estadística Climatológica. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>. Consultado 4 mayo de 2022

Sparc Europe. 2022. Open / FAIR Data. <https://sparceurope.org/what-we-do/open-data/>. Consultado 3 octubre de 2022

UNIATMOS. 2022. Portal. Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales, Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM. Fernández A, Minero VO, Elizarrarás LG. Castelán CI.

<https://uniatmos.atmosfera.unam.mx>. Consultado 3 octubre de 2022

Wilkinson et al., 2016. Wilkinson, M., Dumontier, M., Aalbersberg, I. et al. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. Sci Data 3, 160018 (2016). <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>. Consultado 28 septiembre de 2022

WMO. 2022. WMO Catalogue for Climate Data.

<https://climatedata-catalogue.wmo.int>. Consultado 3 octubre de 2022

WorldClim. 2022. Historical climate data.

<https://worldclim.org/data/worldclim21.html>. Consultado 19 abril de 2022