

Capítulo 2

Atlas y Repositorio de escenarios de cambio climático regionalizados para el estado de Veracruz, México

Agustín Fernández Eguiarte⁵

Carolina Ivonne Castelán Hernández⁶

Víctor Omar Minero Cruz⁷

Carlos M. Welsh Rodríguez⁸

INTRODUCCIÓN

Se desarrollaron bases de datos de climatología regional para generar escenarios de cambio climático regionalizados y el cambio producido por el calentamiento global de variables tales como: temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, temperatura máxima extrema y temperatura mínima extrema. Se facilita la visualización interactiva en Internet de su distribución geográfica y su descarga estructurada mediante metadatos incorporados en un repositorio geoespacial (Fernández-Eguiarte et al., 2023a, 2023b) que permiten su acceso libre y gratuito en el marco de los principios internacionales de Datos Abiertos FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable and Reusable*). (GO-FAIR, 2022).

5. Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, agustin@unam.mx
6. Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, ccastelanh@atmosfera.unam.mx
7. Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, vcr.minero@gmail.com
8. Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana cwelsh@uv.mx

Los principales objetivos son servir de base a los sectores académicos en investigaciones sobre estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el estado de Veracruz, brindar datos específicos a los tomadores de decisiones de los sectores público y privado del Estado involucrados en estas temáticas, así como para que la población veracruzana conozca, en forma sencilla y amigable, las proyecciones futuras de la mayor amenaza natural del siglo XXI en la que están inmersos: el cambio climático.

Adicionalmente a los metadatos de las variables mencionadas, también existen metadatos para visualizar y descargar los datos climatológicos de la red de las estaciones meteorológicas regionales que fueron utilizadas para generar las bases de datos climáticas y de cambio climático, los datos que delimitan los humedales potenciales y los de cobertura del suelo de la región, los de las localidades urbanas, amanzanadas y rurales, así como los de los estados y municipios de la región. También se encuentran disponibles para su descarga y visualización las bases de datos de elevaciones continentales y profundidades oceánicas del dominio geográfico de los estudios, con la finalidad de combinarlas todas ellas en forma integral y dinámica.

Con los metadatos de las temáticas mencionadas, se desarrolló el Repositorio de escenarios regionalizados de cambio climático para el estado de Veracruz, México, que puede continuar siendo enriquecido y alimentado con nuevas variables de interés y afines al cambio climático.

Se documentan la procedencia, el análisis y las metodologías empleadas en los procesos de control de calidad que se aplicaron a los datos observados en 1,054 estaciones meteorológicas utilizados en la generación de las bases de datos climatológicas, así como las metodologías desarrolladas en la generación de las variables temáticas, de igual forma se describen las metodologías y tecnologías utilizadas en la visualización de los datos, enfatizando la importancia de las metodologías empleadas su estructuración como Datos Científicos Geoespaciales Abiertos.

DESARROLLO

Sustento teórico

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 resulta fundamental para acelerar el avance en la investigación científica. Los datos juegan un papel central para ayudar a prevenir, pronosticar, estimar, 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.

La enorme brecha entre lo que es posible con la tecnología digital y nuestra infraestructura obsoleta ha llevado al llamado mundial para avanzar en el desarrollo de la Ciencia Abierta de datos e información científica. (SPARC Europe, 2023a).

La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) desarrolló y publicó recientemente el estudio denominado Estado y perspectivas del Cambio Climático en México: un punto de partida, que tiene como objeto contar con un diagnóstico científico de la situación de México que ayude a tener información suficiente y actualizada acerca de este tema, estimular su investigación multidisciplinaria, sensibilizar a la población e incidir en el desarrollo de políticas públicas. (Estrada-Porrúa et al., 2023). Ver figura 1.

La Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIATMOS, 2023) del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático (ICAYCC) de la UNAM colaboró en este reporte con el capítulo: Atlas y Repositorio de escenarios de cambio climático regionalizados CORDEX, AR6, IPCC para México,

Centroamérica, Cuba, Jamaica y sur de Estados Unidos de América (Fernández-Eguiarte et al., 2022) el cual constituye la base y el antecedente más reciente del estudio de escenarios regionalizados de cambio climático para el estado de Veracruz, México.

Figura 1. Portada del Reporte: Estado y perspectivas del Cambio Climático en México: un punto de partida



Fuente: Estrada-Porrúa et al., 2023

Ante las graves amenazas naturales de la humanidad en el presente siglo como el calentamiento global, los desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos, climáticos y de cambio climático y la planificación del territorio, los datos e información científica estructurados como Datos Abiertos FAIR y su divulgación mediante repositorios y sistemas de visualización, facilita abordar dichas amenazas de manera puntual, temporal y espacial; es por ello que poner a disposición de la población, los sectores productivos y el gobierno del estado de Veracruz, un sistema dinámico, abierto, de fácil acceso, con datos confiables y en un entorno amigable es quizás un ejemplo de las aportaciones que desde las universidades se deben ofrecer a la sociedad.

Escenario de cambio climático, período climático de referencia y cambio

Los escenarios climáticos constituyen estimaciones de los posibles rasgos futuros del clima. Para contar con una resolución espacial y temporal adecuada se generan los escenarios regionalizados, los cuales sirven de referencia para elaborar estudios de impacto y vulnerabilidad específicos y valorar las necesidades de adaptación al cambio climático en diversos sectores socioeconómicos y sistemas ecológicos. Generación de escenarios regionalizados de cambio climático en Centroamérica (EUROCLIMA, 2023).

Los Modelos Generales de Circulación (MGC) son proyecciones climáticas que sirven como base para la construcción de escenarios de cambio climático, pero estos requieren información adicional, por ejemplo, sobre el clima observado en un período determinado, así como sobre las condiciones socioeconómicas que producen el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero. El cambio es la diferencia entre el escenario de cambio climático y el período climático de referencia.

Metodologías para las climatologías de referencia

En este estudio se desarrolló un período climático de referencia con datos observados en estaciones climatológicas de la región en el período 1981-2010 para servir de referencia regional de los datos de los MGC que originalmente se generaron para ese mismo período, pero referidos a bases de datos climáticas mundiales.

Las bases de datos climáticos 1981-2010 se obtuvieron mediante el control de calidad, validación y procesamiento de los datos obtenidos de 845 estaciones de la base de climatología diaria del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2023), de 208 estaciones de la base de datos ESS-ENGER del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2023) y de la estación del Centro de Investigaciones Costeras La Mancha (CICOLMA, 2023) del Instituto de Ecología, A.C. del CONAHCYT. Ver figura 2

Figura 2. Visualización de la Red de Estaciones climáticas de temperatura máxima, mínima, máxima extrema, mínima extrema y precipitación en el estado de Veracruz y áreas contiguas utilizadas en los estudios



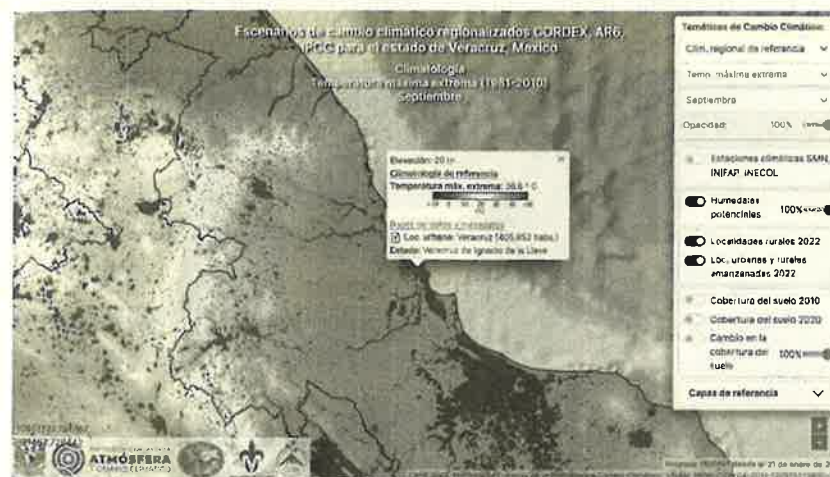
Fuente: Fernández-Eguiarte et al., 2023a

En cada una de las estaciones meteorológicas se extrajeron los datos del periodo 1981-2010, se calcularon promedios mensuales de temperatura máxima y mínima, así como precipitación acumulada mensual para la que se tomaron en cuenta solo las estaciones con más del 90% de datos diarios por mes. Se obtuvieron las diferencias entre los promedios mensuales calculados con el valor en la posición geográfica de la celda correspondiente de la superficie climática mensual 1902-2015 del Atlas Climático Digital de México (Fernández-Eguiarte et al., 2016).

Para generar las bases de datos de temperaturas máxima y mínima extremas mensuales, en cada estación climatológica se obtuvieron los valores extremos mensuales de temperatura máxima y mínima en el periodo 1981-2010 y se calcularon las diferencias entre este valor y el de la celda correspondiente de temperatura máxima y mínima extrema absoluta del periodo 1902-2015 del propio Atlas Climático Digital de México.

Del conjunto de diferencias en cada una de las variables climáticas, se eliminaron las estaciones cuyos valores resultaron por encima o por debajo de la media ± 2 desviaciones estándar en el mes correspondiente. A partir de los datos mensuales filtrados mediante este control de calidad, se realizó una interpolación de los valores de las diferencias obtenidas para cada estación mediante el método IDW^a para generar matrices georreferenciadas con resolución espacial de 30" x 30", aproximadamente 926 m x 926 m. Estas matrices se sumaron a las respectivas superficies mensuales de la base 1902-2015 del Atlas Climático Digital de México, para incorporar el efecto topográfico generando bases de datos climáticas mensuales y sus correspondientes visualizaciones de temperatura máxima, mínima, precipitación, temperatura máxima extrema y temperatura mínima extrema del área de estudio. (Fernández-Eguiarte et al., 2014). Ver figura 3.

Figura 3. Visualización y descarga de bases de datos mensuales de temperatura máxima extrema (1981-2010)



Fuente: Fernández-Eguiarte et al., 2023a

Metodologías para escenarios de cambio climático y cambio

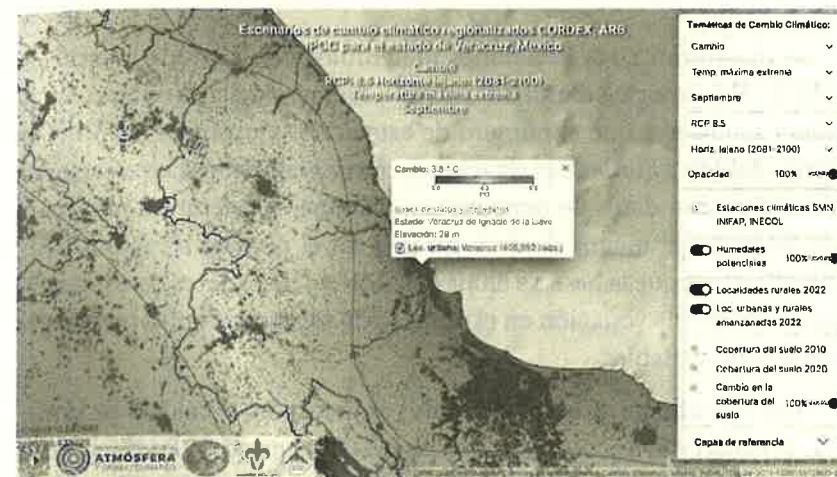
Para la estructuración de los escenarios de cambio climático, se descargaron los datos de la componente *Change* del *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Working Group I (WGI), Coordinated Regional Downscaling Experiment (CORDEX), Sixth Assessment Report (AR6)*, para las variables: temperatura máxima (*Maximum temperature [TX]*), temperatura mínima (*Minimum temperature [TN]*), precipitación (*Total precipitation [PR]*), máxima de la temperatura máxima (*Maximum of maximum temperatures [TXx]*) y mínima de la temperatura mínima (*Minimum of minimum temperatures [TNn]*); horizontes: cercano 2021-2040, medio 2041-2060 y lejano 2081-2100; escenarios o Trayectorias de Concentración Representativas RCP4.5 y RCP8.5. (Jubb et al., 2013); período de referencia 1981-2010 y resolución temporal mensual para el dominio *CORDEX Central America* (Gutiérrez et al., 2021).

Figura 4. Visualización y descarga de bases de datos mensuales de Escenarios de cambio climático de temperatura máxima extrema RCP 4.5 y 8.5, Horizonte lejano 2081-2100, para el estado de Veracruz, México



Fuente: Fernández-Eguiarte et al., 2023a

Figura 5. Visualización y descarga de Cambio de temperatura máxima extrema RCP 4.5 y 8.5, Horizonte lejano 2081-2100, para el estado de Veracruz, México



Fuente: Fernández-Eguiarte et al., 2023a

Se realizó un recorte para el dominio del estado de Veracruz y áreas adyacentes. Las nuevas matrices de datos con resolución espacial original de medio grado por medio grado ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$) se subdividieron, no se interpolaron, con el objeto de conservar sus valores originales en las celdas con una resolución espacial de 30 segundos ($30'' \times 30''$) para posteriormente sumarlas a las correspondientes climatologías de referencia.

Las climatologías de referencia contemplan el efecto de la topografía de la base *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM, 2023)* con 90 metros de resolución espacial. Al sumarlas a sus correspondientes matrices de *Change* se generaron nuevos escenarios regionalizados mensuales de cambio climático para el estado de Veracruz con alta resolución espacial y que incorporan el efecto topográfico (Fernández-Eguiarte et al., 2023c). Ver figura 4.

Asimismo, se generaron bases de datos y sus correspondientes visualizaciones de Cambio como la diferencia entre cada escenario de

cambio climático y su climatología de referencia (Fernández-Eguiarte et al., 2023d). Ver figura 5.

Metodologías para el control de calidad de las estaciones meteorológicas

Se integraron 1,054 estaciones meteorológicas, 845 provinieron de la base climatológica diaria del Servicio Meteorológico Nacional. En la tabla 1 se observa que el número de estaciones mensuales del SMN es menor debido a que las 845 estaciones comprenden todas las estaciones que registraron datos de temperatura máxima, temperatura mínima o precipitación al menos durante un mes en el período de 1981 a 2010. Cabe destacar que la base de datos del SMN no tiene datos continuos, lo que provoca una variación en el número de estaciones tanto mensuales como entre variables.

Adicionalmente en la propia tabla 1 se incorporó el cálculo de la media (MEDIA) y la desviación estándar (STD) mensual de las diferencias de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación antes y después del control de calidad con la finalidad de visualizar y cuantificar la mejoría de la calidad de los datos mediante el proceso de control de calidad, en la figura 6 se puede observar que la media varía muy poco, sin embargo, en la desviación estándar se observa una considerable mejoría en las tres variables. En la tabla 1 también se indica el número de estaciones del SMN y del INIFAP que fueron eliminadas mediante el proceso de control de calidad y sus correspondientes porcentajes que oscilan entre 5.6 y 6.5 por ciento para las estaciones del SMN y entre 1 y 1.5 por ciento para las estaciones del INIFAP.

Tabla 1. Control de calidad de los datos de las estaciones meteorológicas regionales de temperatura máxima, mínima y precipitación para el estado de Veracruz, México y áreas contiguas

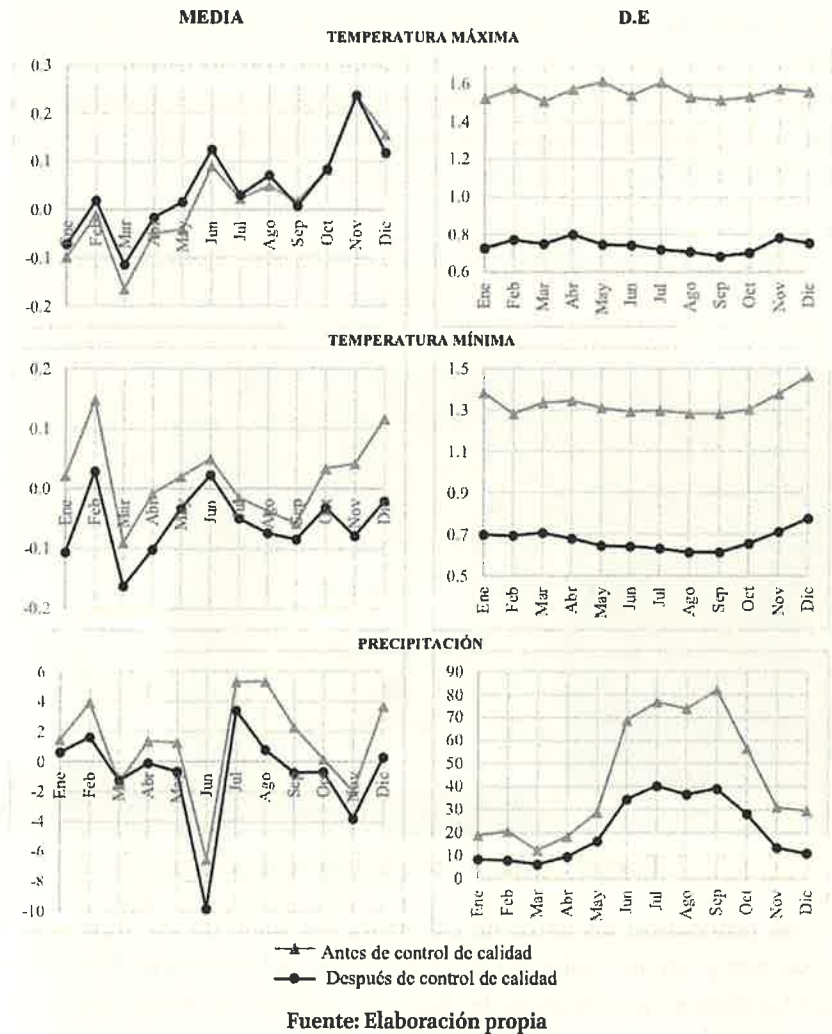
MES	TEMPERATURA MÁXIMA										TEMPERATURA MÍNIMA									
	ANTES DEL CONTROL DE CALIDAD					DESPUÉS DEL CONTROL DE CALIDAD					ANTES DEL CONTROL DE CALIDAD					DESPUÉS DEL CONTROL DE CALIDAD				
	INECOL	INIFAP	SMN	TOTAL	DE	INECOL	INIFAP	SMN	TOTAL	MEDIA	DE	INECOL	INIFAP	SMN	TOTAL	MEDIA	DE	SMN	ELIM	% INIFAP ELIM
Ene	1	208	805	1014	-0.098	1.523	1	207	753	961	-0.071	0.727	52	6.5	1	0.5				
Feb	1	208	803	1012	-0.010	1.578	1	207	760	968	0.018	0.770	53	6.5	1	0.5				
Mar	1	208	806	1015	-0.165	1.508	1	207	751	959	-0.114	0.749	55	6.8	1	0.5				
Abr	1	208	806	1015	-0.049	1.574	1	207	749	957	-0.016	0.801	57	7.1	1	0.5				
May	1	208	806	1015	-0.041	1.614	1	207	752	960	0.016	0.746	54	6.7	1	0.5				
Jun	1	208	804	1013	0.091	1.539	1	207	759	967	0.125	0.742	45	5.6	1	0.5				
Jul	1	208	806	1015	0.024	1.610	1	207	757	965	0.030	0.719	49	6.1	1	0.5				
Ago	1	208	805	1014	0.049	1.528	1	207	758	966	0.072	0.707	47	5.8	1	0.5				
Sep	1	208	803	1012	0.018	1.514	1	207	749	957	0.008	0.682	54	6.7	1	0.5				
Oct	1	208	802	1011	0.083	1.533	1	207	747	955	0.084	0.702	55	6.9	1	0.5				
Nov	1	208	806	1015	0.238	1.573	1	207	751	959	0.238	0.781	55	6.8	1	0.5				
Dic	1	208	802	1011	0.156	1.559	1	207	746	954	0.118	0.755	56	7.0	1	0.5				

MES	TEMPERATURA MÍNIMA										TEMPERATURA MÁXIMA									
	ANTES DEL CONTROL DE CALIDAD					DESPUÉS DEL CONTROL DE CALIDAD					ANTES DEL CONTROL DE CALIDAD					DESPUÉS DEL CONTROL DE CALIDAD				
	INECOL	INIFAP	SMN	TOTAL	DE	INECOL	INIFAP	SMN	TOTAL	MEDIA	DE	INECOL	INIFAP	SMN	TOTAL	MEDIA	DE	SMN	ELIM	% INIFAP ELIM
Ene	1	208	803	1012	0.028	1.3832	1	207	756	964	-0.106	0.697	47	5.9	1	0.5				
Feb	1	208	803	1012	0.1479	1.2817	1	206	761	968	0.029	0.692	52	6.4	2	1.0				
Mar	1	208	806	1015	-0.0894	1.3347	1	206	760	967	-0.162	0.706	46	5.7	2	1.0				

MES	ANTES DEL CONTROL DE CALIDAD										DESPUÉS DEL CONTROL DE CALIDAD										PRECIPITACIÓN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	INECOL					INIEAP					SMN					TOTAL					D.E		MEDIA		SMN		EAP		% INIEAP		% SMN		% EAP																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	1	208	806	1015	-0.0091	1.3458	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806	1015	1	208	806

Fuente: Elaboración propia

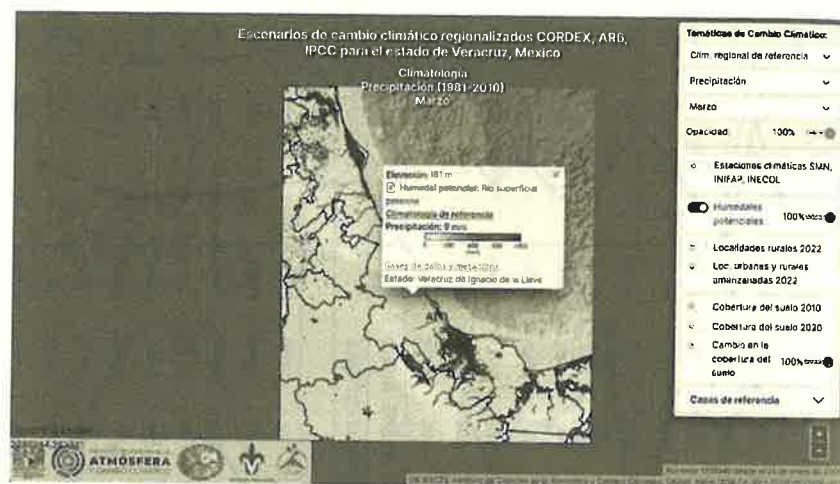
Figura 6. Media (MEDIA) y desviación estándar (D.E.) de las diferencias mensuales de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación antes y después del control de calidad.



Humedales y cobertura del suelo

Como aspectos complementarios a las temáticas de cambio climático, se procesaron y de igual forma se encuentran disponibles para su descarga los datos sobre humedales potenciales obtenidos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, s.f.) que constituyen una referencia cartográfica para que conjuntamente con los estudios de Moreno-Casasola et al. (2020) coadyuven a comprender la importancia de los humedales, las ciénegas y los manglares en el estado de Veracruz en el contexto de cambio climático. Ver figura 7.

Figura 7. Humedales potenciales en el estado de Veracruz y áreas adyacentes



Fuente: Fernández-Eguiarte et al., 2023a

Se procesaron los datos de cobertura del suelo de los años 2010 y 2020 con 30 m de resolución espacial, ambas del Sistema de Monitoreo del Cambio en la Cobertura del Suelo de América del Norte (NALCMS, por sus siglas en inglés) de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA, 2023) y se cuantificó la distribución geográfica de áreas en la co-

bertura del suelo entre los años 2010 y 2020 con un resultado de 37 % con cambios y 63 % sin cambios para el dominio presentado en la figura 8.

Figura 8. Distribución geográfica de áreas con cambio de cobertura de suelo entre 2010 y 2020 para el estado de Veracruz y áreas adyacentes



Fuente: Fernández-Eguiarte et al., 2023a

Localidades, estados, municipios, elevaciones, batimetría y OpenStreetMap

En los metadatos y visualizaciones interactivas del presente estudio se pueden desplegar, consultar y descargar las localidades urbanas y amanzanadas de la región con su correspondiente número de habitantes con base al censo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía del año 2022, así como todas las localidades rurales. (Fernández-Eguiarte et al., 2023e). Los límites estatales y municipales se definen conforme al Marco Geoestadístico del INEGI actualizado en 2022 (INEGI, s.f.). Los datos del modelo digital de elevación utilizados en la parte continental provienen de la base SRTM con resolución espacial de 30 m, mientras que los da-

tos batimétricos provienen del *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO, 2023) con resolución espacial de 15 segundos de arco (aproximadamente 463 m). La subdivisión regional del estado de Veracruz está basada en el Plan veracruzano de desarrollo período 2005-2010 (Gobierno del Estado de Veracruz, 2023) y, por último, se despliega y conjuga con todo lo anterior la información de *OpenStreetMap* (Müller et al., 2012).

Tecnologías

El sistema de visualización interactivo de los escenarios de cambio climático regionalizados para el estado de Veracruz, México, se desarrolló con tecnologías: *OpenLayers*, versión 6.15 (OpenLayers, 2023) y *GeoServer*, con la versión 2.22 (GeoServer, 2023). El software se encuentra instalado en los servidores de almacenamiento y proceso de datos de UNIATMOS que operan con sistema operativo Ubuntu 20.04 y Apache 2.4 para servir las aplicaciones en línea.

Figura 9. Metadato y opciones de descarga de bases de datos mensuales de temperatura máxima (1981-2010)



Fuente: Fernández-Eguiarte et al., 2023b

Los metadatos se estructuraron en la plataforma *GeoNetwork OpenSource* 3.0.5 (GeoNetwork, 2023) herramienta de código abierto diseñada para gestionar, catalogar y compartir datos geospaciales y metadatos geográficos, útil para organizaciones que necesitan administrar grandes cantidades de información y asegurarse de que esté debidamente documentada y accesible. Desde los metadatos de las diversas temáticas se descargan las bases de datos del proyecto en formatos GeoTIFF, NetCDF y TXT. Ver figura 9.

El Repositorio escenarios de cambio climático regionalizados para el estado de Veracruz, México se incorporó al Repositorio de datos científicos geoespaciales del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la UNAM (Fernández-Eguiarte et al., 2023b) que de igual forma utiliza el sistema operativo Ubuntu 20.04 y el servidor de aplicaciones web *Apache Tomcat* 9.0 para servir el sistema *GeoNetwork OpenSource*. Ver figura 10.

Figura 10. Repositorio de escenarios de cambio climático regionalizados para el estado de Veracruz, México



Fuente: Fernández-Eguiarte et al., 2023b

Los metadatos se estructuraron en los estándares geoespaciales internacionales ISO 19115 e ISO 19119 del International Organization for Standardi-

zation (ISO, 2014, 2016), recomendado por el *Digital Curation Center* (DCC, 2023a) que facilita la integración con otros sistemas y aplicaciones geoespaciales conforme a los principios FAIR (European Commission, 2018).

Resultados

El proyecto constituye una contribución en materia de datos científicos geoespaciales de escenarios regionalizados de cambio climático para el estado de Veracruz y áreas adyacentes dentro de los principios de Datos Abiertos FAIR.

Las climatologías de referencia obtenidas constituyen bases de datos climáticas sumamente robustas. Esto se debe que, por primera vez, se integraron y procesaron de manera conjunta los datos climatológicos provenientes de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, así como del Instituto Nacional de Ecología, A.C. del CONAHCYT.

Es crucial destacar que, al realizar y obtener los resultados de una consulta puntual sobre cualquier capa temática, se brinda la posibilidad de seleccionar otras capas en el menú correspondiente. De manera automática, los resultados de la consulta se actualizan en el mismo punto geográfico. Esta funcionalidad se traduce en una notable ventaja para los usuarios de cualquier localidad, ya que les permite obtener con gran facilidad los valores de diversas variables de interés en cualquier punto geográfico.

En los metadatos se descargan las bases de datos de todo el dominio geográfico del proyecto, se describen las fuentes consultadas y las metodologías en su desarrollo, así como los datos de contacto de los autores y colaboradores.

Discusión

La temática del presente estudio no se centra en Ciencia Abierta y Datos Abiertos FAIR que implicaría una discusión y análisis más amplio,

sin embargo constituye una contribución innovadora de datos científicos geoespaciales estructurados como Datos Abiertos FAIR que sirven como punto de partida para la generación de nuevo conocimiento científico en las disciplinas vinculadas con estudios sobre el cambio climático y representa claramente un avance positivo hacia los Datos Abiertos que son la base para el desarrollo de la Ciencia Abierta, por lo que es crucial ampliar la perspectiva desde la cual se enmarcan.

Los Datos Abiertos son parte de los denominados Datos en Acceso Abierto, sin embargo, los Datos Abiertos deben estar estructurados en formatos no propietarios, con un identificador único, estático y conforme a los principios FAIR.

Esto es fundamental para asegurar su calidad y su verdadera contribución al avance de la investigación sobre el cambio climático dentro de un marco amplio de Ciencia Abierta.

La Ciencia Abierta y los Datos Abiertos FAIR no son suficientes por sí solos, es necesario promover una cultura científica que valore la transparencia, la colaboración y el intercambio de datos como norma. Si bien el desarrollo de la Ciencia y los Datos Abiertos son importantes, también es crucial abordar otros desafíos, como los incentivos académicos, la ética de la investigación y la participación ciudadana, para lograr una transformación completa hacia un sistema científico más abierto y colaborativo.

Las bases de datos del presente proyecto se encuentran estructurados como Datos Abiertos FAIR, los cuales son de utilidad en los niveles educativos medio y superior, 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, la descripción de los procesos y las metodologías aplicadas en su desarrollo.

De igual forma las visualizaciones amigables e interactivas de las bases de datos facilitan avanzar en la apropiación social del conocimiento

en materia de cambio climático en el estado de Veracruz, es decir, coadyuvan en la comunicación entre los científicos y la sociedad en su conjunto para de esta forma contribuir en la gestación de políticas públicas conjuntas entre la sociedad civil y los gobiernos 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.

Los desarrollos tecnológicos del proyecto también permiten continuar integrando datos e información para la prevención de desastres hidrometeorológicos y climáticos.

Los contenidos del Repositorio son directamente interoperables 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, 2023); *Infrastructure for Spatial Information in Europe* (INSPIRE, 2023) y el *World Meteorological Organization Information System* (WIS, 2023).

Recíprocamente el Repositorio facilita la cosecha de metadatos de dichos organismos, así como de cualquier otro repositorio mediante protocolos de transferencia de metadatos estandarizados y la integración y actualización eficiente de los datos y la información en un sistema centralizado.

Propuestas

Se presentan algunas propuestas de corto, mediano y largo plazo que se pueden generar y construir con base en los desarrollos descritos sobre los escenarios de cambio climático regionalizados para el estado de Veracruz, México.

Las propuestas están enfocadas en la adaptación y comunicación del cambio climático en el estado de Veracruz y su objetivo es avanzar hacia la construcción de una sociedad más sustentable tanto en las diversas actividades productivas que los veracruzanos realizan en las diferentes

regiones del Estado, así como en las localidades urbanas, rurales y semi-rurales de Veracruz.

La posibilidad de continuar enriqueciendo temáticamente el Repositorio con nuevas bases de datos interactivas abre la puerta para la colaboración transdisciplinaria, de manera que se puedan conjuntar el conocimiento científico con las experiencias, los intereses y valores de los diversos actores involucrados como la sociedad civil, para mediante la ciencia ciudadana producir nuevo conocimiento científico en materia de adaptación al cambio climático a través de proyectos estructurados de investigación colectiva, participativa y abierta.

Las bases de datos y su visualización amigable constituyen mecanismos integradores del conocimiento social y científico al alcance de los tomadores de decisiones de los sectores público y privado del Estado, para junto con la academia y la sociedad civil, facilitar la definición de nuevas estrategias y propuestas específicas orientadas a lograr una transformación socioambiental.

Las actividades de investigación y los desarrollos tecnológicos del presente proyecto constituyen componentes de divulgación del conocimiento científico, ya que pueden también ser la base para crear y fortalecer capacidades, entendiendo que la información no sólo crea conciencia, sino que puede transformar a la sociedad a través de una participación activa. En definitiva, una mayor conciencia ambiental brinda las herramientas necesarias para tomar decisiones informadas y medidas más responsables.

En este sentido, se propone seguir avanzando en el desarrollo y actualización de las tecnologías de las plataformas interactivas de visualización y en el desarrollo de nuevas bases de datos para continuar incorporando temáticas sobre fenómenos hidrometeorológicos, climáticos y de cambio climático y sus impactos en la agricultura, la biodiversidad, los recursos hídricos, la salud humana y la economía y de esta manera conformar una plataforma de visualización integral del conocimiento y de comunicación de datos e información de Datos científicos geoespaciales Abiertos FAIR,

para que la sociedad del estado de Veracruz y sus entornos regionales avancen en la apropiación del conocimiento científico.

Consideramos que estas propuestas pueden ser de gran utilidad para alentar la participación de la sociedad en general e informar y repensar conjuntamente las distintas aristas de dichos problemas socioambientales.

Cabe señalar que el desarrollo de repositorios de datos científicos geoespaciales de Datos Abiertos FAIR interoperables es aún incipiente en nuestro país, así como en prácticamente toda Latinoamérica, a diferencia de los repositorios de Ciencia Abierta de publicaciones, libros y literatura científica establecidos principalmente en bibliotecas de diversas instituciones académicas. Esta situación se debe principalmente a la dificultad de generar bases de datos de calidad y confiables, con filtros claros de su control de calidad, que sirvan de base para una investigación de calidad y confiable, *Digital Curation Center* (DCC, 2023b).

Conforme a lo anterior, la realización adecuada de las propuestas mencionadas deberá desarrollarse considerando los principios FAIR y con datos e información científica de calidad, para con base en ello, poder generar Ciencia Abierta también de calidad. Las bases de datos de escenarios de cambio climático regionalizados para el estado de Veracruz constituyen un antecedente para avanzar en esa dirección considerando que una plataforma o sistema de información nacional de este tipo deberá integrar repositorios temáticos de datos científicos transdisciplinarios, pero dentro de temáticas o ejes específicos, como por ejemplo el cambio climático.

La experiencia obtenida en el desarrollo del Repositorio de escenarios de cambio climático regionalizados para el estado de Veracruz puede ser adaptable y replicable a la gran cantidad de datos geoespaciales que se generan en diversas instituciones académicas y gubernamentales de México y de otros países, que en el mejor de los casos se encuentran disponibles en Acceso Abierto en una amplia diversidad de formatos, pero sin metadatos geográficos FAIR, ni incorporados a repositorios temáticos.

Como se ha mencionado, el Repositorio se estructuró mediante metadatos en la plataforma *GeoNetwork OpenSource* 3.0.5 utilizando el estándar geoespacial internacional ISO 19115/19119 (ISO, 2014, 2016), recomendado por el *Digital Curation Center* para describir datos e información geográfica (DCC, 2023a).

En nuestro país, el Instituto Nacional de Geografía y Estadística adoptó de igual forma, para la estructuración de sus datos e información geoespacial el estándar ISO 19115 como núcleo central de la Norma Técnica para la elaboración de Metadatos Geográficos, publicada en el Diario Oficial de la Federación (INEGI, 2010).

Cabe señalar que existen otras iniciativas, principalmente comerciales y no dedicadas específicamente a datos geográficos, que hacen un híbrido entre publicaciones de literatura científica y los datos geográficos que utilizan demeritando la comprensión de las características de los datos geográficos.

Los conjuntos de datos climáticos aumentan rápidamente en volumen y complejidad y la creación de productos climáticos requiere un gran ancho de banda, almacenamiento masivo y grandes recursos informáticos. Para algunas regiones, el bajo ancho de banda constituye un obstáculo real para el desarrollo de servicios climáticos. El volumen de datos también dificulta la reproducibilidad porque muy pocas instituciones tienen los medios para archivar conjuntos de datos originales a largo plazo. Además, los productos climáticos típicos a menudo agregan múltiples fuentes de información, aunque apenas están surgiendo mecanismos para rastrear y documentar sistemáticamente la procedencia de todos estos datos. Sin embargo, existe un consenso general de que la información climática debe seguir los principios FAIR (Mons et al., 2017, Wilkinson et al., 2016) que igualmente pueden ayudar a establecer sistemas eficientes de información sobre servicios climáticos y demostrar que no solo se aplican a los datos, sino también a los procesos analíticos. (FAIR Climate Services, 2022).

CONCLUSIONES

Los datos son la materia prima sobre la que se desarrolla la investigación científica; por ello su control de calidad, estructuración, visualización, documentación y acceso sin restricciones resulta crucial.

Es importante dimensionar que los datos utilizados y generados por las publicaciones científicas constituyen solo una mínima parte de los datos científicos que se producen en instituciones de investigación. Las tecnologías disponibles para el manejo híbrido de publicaciones y datos difieren de aquellas para el manejo de bases de datos científicos que sirven de base para múltiples investigaciones.

Internet fue concebida para compartir datos, pero su intercambio no es todavía una práctica común en el medio académico.

Las bases de datos de cambio climático incorporadas en el Repositorio constituyen desarrollos tecnológicos innovadores porque son interactivos, escalables y actualizables como Datos Abiertos, interoperables con otros repositorios geográficos de cualquier organismo internacional porque sus metadatos y bases de datos se consideran FAIR ya que se encuentran estructuradas en estándares internacionales del Open Geospatial Consortium (OGC, 2023).

Los Datos Abiertos FAIR tienen el potencial de acelerar el proceso de investigación y al mismo tiempo mejorar nuestra confianza en esos resultados. El acceso, el uso y el control de la calidad de este enorme y creciente conjunto de datos son fundamentales para la investigación. (SPARC Europe, 2023b).

Las bases de datos generadas y su visualización interactiva, pretenden proporcionar a la sociedad y a los tomadores de decisiones tanto públicos como privados, datos e información para una mejor gestión de los grandes problemas nacionales vinculados con los fenómenos hidrometeorológicos, climáticos y de cambio climático que afectan al país.

Se trata de una nueva alternativa de desarrollo tecnológico que sirve como punto de partida para la generación de nuevo conocimiento científico y que es de utilidad en todos los niveles educativos porque mediante sus

metadatos describe y visualiza en forma sencilla y amigable los datos y la información que contiene, lo que permite avanzar en la apropiación social del conocimiento, es decir, en la comunicación entre los científicos y la sociedad en su conjunto para contribuir en la generación de políticas públicas conjuntas que incidan, entre otros beneficios, en una mejor gestión integral del riesgo y en la cultura de la prevención ante los impactos de desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos, climáticos y de cambio climático.

Así mismo son innovadores porque además de describir, visualizar y poner a disposición de los usuarios datos científicos mediante metadatos geoespaciales, permite continuar integrando datos e información de las diversas temáticas de las ciencias atmosféricas y ambientales. Debido a que sus desarrollos se fundamentaron en sistemas de código abierto, pueden ser replicados en otras instituciones que generan grandes volúmenes de datos e información geográfica y que requieren integrarla mediante estándares internacionales de metadatos geográficos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores hacen patente su agradecimiento a la Dirección General de Repositorios Universitarios de la Secretaría de Desarrollo Institucional de la Universidad Nacional Autónoma de México, por el apoyo brindado para la realización del Repositorio de Datos científicos geoespaciales: Escenarios de cambio climático regionalizados para el estado de Veracruz, México, así como para la elaboración del presente capítulo.

De igual forma los autores agradecen al Centro de Ciencias de la Tierra, a la Coordinación de la Maestría en Ciencias de la Tierra, a la Dirección General de Investigaciones y a la Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera de la Facultad de Electrónica e Instrumentación de la Universidad Veracruzana, el interés y las facilidades brindadas para el desarrollo del proyecto.

También se agradece al Dr. Alejandro León Maldonado del Centro de Investigaciones Biomédicas de la Universidad Veracruzana y promotor de la práctica de la Ciencia Abierta en la comunidad científica por sus aportaciones al manuscrito.

Referencias

- Centro de Investigaciones Costeras La Mancha. (2023). Instituto de Ecología, A.C. Recuperado el 30 de junio de 2023 de <http://estaciones.inecol.mx/cicolma/#>
- Digital Curation Centre. (2023a). *Metada Standards*. Recuperado el 25 de junio de 2023 de <https://www.dcc.ac.uk/resources/subject-areas/earth-science>
- Digital Curation Centre. (2023b). *Because good research needs good data*. Recuperado el 25 de junio de 2023 de <https://www.dcc.ac.uk/about>
- European Environment Agency. (2023). *EEA Geospatial Data Catalogue*. Recuperado el 5 de septiembre de 2023 de <https://sdi.eea.europa.eu/catalogue/srv/eng/catalog.search#/home>
- Estrada Porrúa, F., Zavala Hidalgo, J., Martínez Arroyo, A., Raga, G. y Gay García, C. (2023). *Estado y perspectivas del cambio climático en México: un punto de partida*. Programa de Investigación en Cambio Climático. México. ISBN: 978-607-30-8172-6 <https://cambioclimatico.unam.mx/estado-y-perspectivas-del-cambio-climatico-en-mexico/>
- EUROCLIMA. (2023). *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático en Centroamérica*. Unión Europea. Recuperado el 8 de noviembre de 2023 de <https://www.euroclima.org/3/generacion-de-escenarios-regionalizados-de-cambio-climatico-en-centroamerica>
- European Commission. (2018). *Turning FAIR into reality: final report and action plan from the European Commission expert group on FAIR data*, Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/1524>
- FAIR Climate Services. (2022). *Climate Resilience Information Systems*. Open Geospatial Consortium. Recuperado el 5 de diciembre de 2023 de https://climateintelligence.github.io/smarduck-docs/sections/guide_fairclimateservices.html
- Fernández Eguiarte, A., Castelán Hernández, C.I., Minero Cruz, V.O. y Elizarrarás Ríos, L.G. (2016) *Atlas Climático Digital de México*. Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales. Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático. UNAM. Recuperado el 5 de agosto de 2023 de <https://atlasclimatico.unam.mx/acdm/visualizador>
- Fernández Eguiarte, A., Castelán Hernández, C.I., Minero Cruz, V.O. y Elizarrarás Ríos, L.G. (2022). *Atlas y repositorio de escenarios de cambio climático regionalizados CORDEX, AR6, IPCC para México, Centroamérica, Cuba, Jamaica y sur de Estados Unidos de América*. Unidad de Informática para las

Ciencias Atmosféricas y Ambientales. Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático. UNAM. Recuperado el 5 de agosto de 2023 de <https://atlasclimatico.unam.mx/ar6/visualizador>

- Fernández Eguiarte, A., Castelán Hernández, C.I., Minero Cruz, V.O., Welsh Rodríguez, C. M., Zavala Hidalgo, J., Romero Centeno, R., Moreno Casasola Barceló, P., Monroy Ibarra, R., Morales Martínez, M.A. y Ochoa Martínez, C.A. (2023a). *Atlas de Escenarios de cambio climático regionalizados para el estado de Veracruz, México*. Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM. Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana. Recuperado el 15 de diciembre de 2023 de <https://atlasclimatico.unam.mx/veracruz/>
- Fernández Eguiarte, A., Castelán Hernández, C.I., Minero Cruz, V.O., Welsh Rodríguez, C. M., Zavala Hidalgo, J., Romero Centeno, R., Moreno Casasola Barceló, P., Monroy Ibarra, R., Morales Martínez, M.A. y Ochoa Martínez, C.A. (2023b). *Repositorio de Escenarios de cambio climático regionalizados para el estado de Veracruz, México*. Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM. Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana. Recuperado el 15 de diciembre de 2023 de <https://ri.atmosfera.unam.mx/veracruz/>
- Fernández Eguiarte, A., Castelán Hernández, C.I., Minero Cruz, V.O., Welsh Rodríguez, C. M., Zavala Hidalgo, J., Romero Centeno, R., Moreno Casasola Barceló, P., Monroy Ibarra, R., Morales Martínez, M.A. y Ochoa Martínez, C.A. (2023c). *Escenarios de cambio climático de precipitación RCP 4.5 y 8.5, Horizonte lejano 2081-2100, para el estado de Veracruz, México*. Repositorio Institucional Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM. Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana. Recuperado el 10 de septiembre de 2023 de <https://ri.atmosfera.unam.mx/veracruz/srv/spa/catalog.search#/metadata/e9969a8a-dfff-4e4f-934a-876cc00bc626>
- Fernández Eguiarte, A., Castelán Hernández, C.I., Minero Cruz, V.O., Welsh Rodríguez, C. M., Zavala Hidalgo, J., Romero Centeno, R., Moreno-Casasola Barceló, P., Monroy Ibarra, R., Morales Martínez, M.A. y Ochoa Martínez, C.A. (2023d). *Cambio de temperatura máxima extrema RCP 4.5 y 8.5, Horizonte lejano 2081-2100, para el estado de Veracruz, México*. Repositorio Institucional Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM. Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana. Recuperado el 10 de septiembre de 2023 de <https://ri.atmosfera.unam.mx/veracruz/srv/spa/catalog.search#/metadata/3264adb9-199b-4857-be98-9bfc86b8a1c3>

- Fernández Eguiarte, A., Castelán Hernández, C.I., Minero Cruz, V.O. (2023e). *Localidades urbanas, rurales y amanzanadas en el estado de Veracruz y áreas adyacentes. Escenarios de cambio climático regionalizados para el estado de Veracruz, México*. Repositorio Institucional de datos Científicos Geospaciales del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM. Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana. Recuperado el 5 de octubre de 2023 de <https://ri.atmosfera.unam.mx/veracruz/srv/spa/catalog/search#/metadata/cb40d681-1f15-42ae-bd1a-5d64436a750a>
- Fernández Eguiarte, A., Romero Centeno, R. y Zavala Hidalgo, J. (2014). Metodologías empleadas en el atlas climático digital de México para la generación de mapas de alta resolución. Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. GEOACTA 39(1): 165-173. ISSN 1852-7744. Recuperado el 12 de septiembre de 2023 de https://uniatmos.atmosfera.unam.mx/geoacta/XII_Eguiarte_et_al_SI_GES.pdf
- General Bathymetric Chart of the Oceans. (2023). *Gridded Bathymetry Data*. Recuperado el 20 de mayo de 2023 de https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/
- GeoNetwork. (2023). *A catalog application to manage spatially referenced resources*. Recuperado el 17 de abril de 2023 de <https://geonetwork-opensource.org/>
- GeoServer. (2023). *Open source server for sharing geospatial data*. Recuperado el 8 de abril de 2023 de <https://geoserver.org/>
- Gobierno del Estado de Veracruz. (2023). Plan veracruzano de desarrollo. Recuperado el 5 de abril de 2023 de <https://www.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/2/2012/01/tfo7-er-07-est-reg-planeacion.pdf>
- GO-FAIR. (2022). *FAIR Principles*. Recuperado el 8 de junio de 2023 de <https://www.go-fair.org/fair-principles/>
- Gutiérrez, J.M., Jones, R.G., Narisma, G.T., Alves, L.M., Amjad, M., Gorodetskaya, I.V., Grose, M., Klutse, N.A.B., Krakovska, S., Li, J., Martínez Castro, D., Mearns, L.O., Memild, S.H., Ngo-Duc, T., van den Hurk, B. y Yoon, J.H. (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*. Recuperado el 10 de julio de 2023 de <http://interactive-atlas.ipcc.ch/>
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística. (2010). *Norma Técnica para la elaboración de Metadatos Geográficos* [Archivo PDF]. Recuperado el 15 de noviembre de 2023 de https://www.inegi.org.mx/contenidos/infraestructura/datos/doc/Norma_Tecnica_para_la_elaboracion_de_Metadatos_Geograficos.pdf

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). *Marco Geoestadístico, diciembre 2022*. Recuperado el 3 de abril de 2023 de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463770541>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). *Humedales potenciales*. Recuperado el 3 de abril de 2023 de <https://www.inegi.org.mx/temas/humedales/>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (2023). *DBMS ESSENGER*. Laboratorio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos. Recuperado el 15 de junio de 2023 de <https://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/DatosIndirectos/NEssenger>
- Infrastructure for Spatial Information in Europe. (2023). *INSPIRE Knowledge base—Metadata*. 2023. Recuperado el 4 de junio de 2023 de <https://inspire.ec.europa.eu/document-tags/metadata>
- International Organization for Standardization. (2014). *ISO19115-1:2014 Geographic Information—Metadata—Part 1: Fundamentals*. Recuperado el 8 de abril de 2023 de <https://www.iso.org/standard/53798.html>
- International Organization for Standardization. (2016). *ISO19119:2016 Geographic Information—Services*. Recuperado el 8 de abril de 2023 de <https://www.iso.org/standard/59221.html>
- Jubb, I., Canadell, P., y Dix, M. (2013). *Representative concentration pathways (RCPs)*. Australian Government, Department of the Environment. Recuperado el 20 de julio de 2013 de https://www.cawcr.gov.au/projects/Climate-change/wp-content/uploads/2016/11/ACCSP_RCP.pdf
- Mons, B., Neylon, C., Velterop, J., Dumontier, M., Silva, S., Luiz O. B. and Wilkinson, M. D. (2017). *Cloudy, Increasingly FAIR; Revisiting the FAIR Data Guiding Principles for the European Open Science Cloud*. Information Services & Use, vol. 37, no. 1, pp. 49-56. Recuperado el 20 de diciembre de 2013 de <https://content.iospress.com/articles/information-services-and-use/isu824>
- Moreno Casasola, P. (2020). *Los humedales costeros, beneficios y servicios ecosistémicos*. Recuperado el 25 de agosto de 2023 de https://10d6f-d7e-4c55-4af9-8415-d1056a074127.filesusr.com/ugd/11f715_3aea79c-171854fd5ab4b6f464ad4c4be.pdf
- Müller, M., Wiemann, S., & Grafe, B. (2012). *A framework for building multi-representation layers from OpenStreetMap data*. In *Proceedings of 15th ICA Workshop on Generalization and Multiple Representation*.

Recuperado de https://kartographie.geo.tu-dresden.de/downloads/ica-gen/submissions2012/genemr2012_session2_sub1.pdf

Comisión para la Cooperación Ambiental. (2023). *Sistema de Monitoreo del Cambio en la Cobertura del Suelo de América del Norte*. Recuperado el 13 de agosto de 2023 de <http://www.cec.org/es/sistema-de-monitoreo-del-cambio-en-la-cobertura-del-suelo-de-america-del-norte/>

Open Geospatial Consortium. (2023). *Standards*. Recuperado el 25 de agosto de 2023 de <https://www.ogc.org/standards/>

OpenLayers. (2023). *A high-performance, feature-packed library for all your mapping needs*. Recuperado el 28 de agosto de 2023 de <https://openlayers.org/>

Servicio Meteorológico Nacional. (2023). *Información Estadística Climatológica*. Recuperado el 25 de mayo de 2023 de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

SPARC Europe. (2023a). *Open / FAIR Data*. Recuperado el 8 de septiembre de 2023 de <https://sparceurope.org/what-we-do/open-data/>

SPARC Europe. (2023b). *Open Data and FAIR data benefits*. Recuperado el 11 de septiembre de 2023 de <https://sparceurope.org/what-we-do/open-data/open-data-benefits/>

National Aeronautics and Space Administration. (2023). *Shuttle Radar Topography Mission*. Jet Propulsion Laboratory. Recuperado el 13 de mayo de 2023 de <https://www.jpl.nasa.gov/missions/shuttle-radar-topography-mission-srtm/>

Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales. (2023). *UNIATMOS*. Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM. Recuperado el 25 de mayo de 2023 de <https://uniatmos.atmosfera.unam.mx/>

Wilkinson, M., Dumontier, M., Aalbersberg, I. et al. (2016). *The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship*. *Sci Data* 3, 160018 (2016). Recuperado el 4 de diciembre de 2023 de <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>

World Meteorological Organization Information System. (2023). *Use of international metadata standards to be interoperable*. Recuperado el 4 de junio de 2023 de <https://www.eumetsat.int/wmo-information-system>

Capítulo 3

Comportamiento pluviométrico y su potencial asociación con las inundaciones en la ciudad de Xalapa

Carolina A. Ochoa Martínez⁹

Nadia I. Castillo Pérez¹⁰

Introducción

Una de las conclusiones más importantes del último reporte de evaluación del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) consiste en la afirmación de que los impactos de este ya están ocurriendo ahora y que se han intensificado los posibles impactos futuros (IPCC, 2021). De acuerdo con Zapata (2011), durante las últimas décadas se han observado importantes cambios en la precipitación y aumentos en la temperatura en América Latina y el Caribe, por lo que no es de sorprenderse que actualmente más del 75% del número total de los desastres que afecta a los seres humanos están relacionados con el agua y el clima, principalmente tormentas severas, inundaciones o sequías. Mientras que el 78% de las personas damnificadas corresponden a eventos hidrometeorológicos extremos (Martínez et al., 2020).

México no está exento de tales acontecimientos y en los últimos años diversos estados del país han sufrido severos daños. Uno de ellos

9. Carolina A. Ochoa Martínez
Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, caochoa@uv.mx
10. Nadia I. Castillo Pérez, Estudiante Maestría en Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana zs23000744@estudiantes.uv.mx