



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

Índice

Actividad 1 Recopilación de información y desarrollo del sistema.

1.1 Recopilación de información disponible para caracterizar el clima y su variabilidad en las regiones susceptibles de verse expuestas a eventos de sequía meteorológica. (Entregable)

Objetivo y descripción del trabajo.....	4
1. México y su clima.....	6
2. Sequía.....	8
3. Variabilidad que genera sequías meteorológicas en México.....	10
4. Registro histórico de regiones que se han visto expuestas a sequías meteorológicas en México..	13
5. Regiones con amenaza de verse expuesta a sequía meteorológica en México.....	15
6. Consideraciones finales.....	17

1.2 Elección del dominio computacional, configuración del modelo y elección de métricas para la verificación. (Entregable)

1. Introducción.....	19
2. El sistema de modelación climática.....	21
3. Configuración experimental.....	24
4. Dominios computacionales.....	27



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

5. Métricas para la validación.....	30
6. Análisis para la elección del dominio computacional adecuado.....	34
7. Conclusiones.....	36
1.3 Desarrollo del sistema de pronóstico de la sequía utilizando un modelo climático regional (Entregable)	
1. Introducción.....	37
2. Modelos climáticos globales y regionales.....	40
3. El sistema de modelación climática.....	42
4. Desarrollo del sistema de pronóstico de la sequía.....	44
5. Conclusiones.....	46
Actividad 2 Evaluación y desarrollo de pronósticos.	
2.1 Evaluación del desempeño del pronóstico de la sequía en el periodo histórico. (Entregable)	
1. Introducción.....	48
2. Datos utilizados para la evaluación del desempeño del sistema de predicción en el periodo histórico y metodología.....	49
3. Verificación de resultados en la escala estacional.....	52
4. Análisis de algunos eventos de ENSO.....	53



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

5. Conclusiones.....	55
 2.2 Elaboración de un pronóstico estacional con un horizonte de nueve meses a partir del mes 12 de ejecución del proyecto con una frecuencia trimestral y verificación de éstos al final el proyecto. (Entregable)	
1. Introducción.....	58
2. Datos utilizados para la evaluación del desempeño del sistema de predicción y metodología...	61
3. Análisis de resultados de los pronósticos para el período 2013-2017.....	62
4. Conclusiones.....	63
 2.3 Calibración y validación pronóstico (Entregable)	
1. Pronóstico de las condiciones climatológicas para el año 2018.....	67
2. Verificación del pronóstico para el año 2018 usando la información ya disponible.....	69
3. Conclusiones y recomendaciones.....	71



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

1. Resumen Ejecutivo del Informe Técnico Final (Metas y Actividades programadas, Metas y Actividades alcanzadas, Indicadores de cumplimiento en términos porcentuales, etc.)

Durante el periodo comprendido entre el cuatro de septiembre de 2015 al 31 de enero de 2018, se brindó continuidad a las gestiones correspondientes para la ejecución del Proyecto.

DESCRIPCIÓN DE AVANCE PARA CADA UNO DE LOS RUBROS DEL PROGRAMA DE ACTIVIDADES PLAZOS Y COSTOS (PAPC)			
Nombre de la actividad	Breve descripción de la actividad desarrollada	ENTREGABLE	% AVANCE
1 Recopilación de información y desarrollo del sistema.	Objetivo y descripción del trabajo El objetivo de este trabajo es presentar una recopilación de la información disponible para caracterizar el clima y su variabilidad en las regiones de México susceptibles de verse expuesta a eventos de sequía meteorológica. El trabajo se compone de las siguientes secciones: En la sección 1, México y su clima, se presenta un panorama general de las	1.1 Recopilación de información disponible para caracterizar el clima y su variabilidad en las regiones susceptibles de verse expuestas a eventos de sequía meteorológica.	100%



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	características climáticas del territorio nacional. Además se incluye en sub-apartados los fenómenos que afectan la variabilidad del clima en México. En la sección 2, se define el término de sequía y describe los diferentes tipos de sequía, los índices de cuantificación y el sistema implementado en el país para monitorear la sequía. En la sección 3, se presenta la revisión en la literatura referente a la variabilidad climática que genera una sequía. En la sección 4, se hace una recopilación de información que se encuentra en la literatura acerca de las regiones que se han visto expuestas a sequía meteorológica. En la sección 5, se hace una recopilación de información de los estudios que se han hecho en el país referente a las regiones que se verían expuestas a sequía meteorológica.		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	En la sección 6 se presentan los comentarios finales y las referencias y la lista de acrónimos se da en las secciones 7 y 8, respectivamente. 1. México y su clima La República Mexicana se localiza en el hemisferio norte, entre los 14° y 32° de latitud norte; y entre los 120° y 85° de longitud oeste. Está inmersa en la región de los mares intra-americanos (RMIA), la cual comprende a las masas oceánicas del Golfo de México, del Mar Caribe y del Pacífico Tropical Oriental, así como a las regiones continentales adyacentes. Aproximadamente el 85% del territorio nacional corresponde a una serie de cadenas montañosas, entre las que se encuentran: la Sierra de Baja California, la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre Oriental, el Sistema Volcánico Transversal Mexicano, la Sierra Madre		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	del Sur y la Sierra de Chiapas. La variedad de altitudes hace que exista una amplia gama de climas en el país. Geográficamente, México está dividido en dos zonas (una sur y una norte) por el trópico de Cáncer. A grandes rasgos, el clima para la zona sur sería tropical (húmedo) y para la zona norte sería templado (árido). El hecho de que México está entre los océanos más grandes del planeta y que aproximadamente el 85% de la porción continental de México es relieve hacen que el clima de México sea más diverso. 2. Sequia Dado que gran parte del territorio nacional es semiárido, ligeros cambios en el régimen de lluvias podrían resultar en sequía. Diversas investigaciones han observado que sequías severas y prolongadas cubren áreas más extensas,		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	sobre todo en los trópicos y sub-trópicos (IPCC, 2007). Aunque la precipitación se ha incrementado en varias regiones del mundo, el área con sequía, así como su duración e intensidad también se ha incrementado (Dai et al, 2004). La precipitación es un factor determinante del grado de aridez de una región. Las sequías a nivel local y los periodos húmedos están determinados por los efectos acumulados del desbalance entre la oferta y la demanda. La precipitación representa a la oferta, misma que es controlada por procesos atmosféricos, mientras que la demanda es la evapotranspiración potencial y está determinada por la radiación neta, el viento y la humedad sobre la superficie terrestre (Shuttleworth, 1993). La definiciones conceptuales son las que se encuentran en diccionarios y que se		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	enfocan a definir y describir el fenómeno sin establecer umbrales de referencia ni considerar el área afectada. Como definición conceptual generalmente se puede encontrar que la sequía es la deficiencia de lluvias durante un periodo prolongado. Las definiciones operacionales establecen el momento de inicio, evolución, finalización, duración e intensidad de una sequía; para esto requieren de un análisis detallado de variables climáticas a diferentes escalas espaciales y temporales. Wilhite y Glantz (1985) categorizaron cuatro tipos de sequías de acuerdo a la disciplina científica desde la que se analiza el fenómeno: sequía meteorológica, sequía hidrológica, sequía agrícola y sequía socioeconómica. 3. Variabilidad que genera sequías meteorológicas en México		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	Villanueva-Díaz et al. (2007) mencionan que mediante reconstrucciones de precipitación por anillos de árboles se puede analizar la variabilidad de lluvias de al menos unos 500 años en diversas partes del territorio nacional. La precipitación (invierno-primavera) en el norte de México está fuertemente vinculada con el ENSO. Lo anterior, está claramente registrado en el crecimiento de anillos de árboles en la Sierra Madre Occidental de Durango, Chihuahua y Sonora. El impacto del ENSO en el noreste de México indica una inestabilidad de largo plazo de la teleconexión del Pacífico ecuatorial. Además, los sistemas atmosféricos de circulación procedentes de latitudes altas (frentes fríos o nortes) y los desarrollados en el golfo de México (tormentas tropicales o huracanes) también influyen		
--	---	--	--

Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	en las condiciones climáticas de la región (Villanueva-Díaz et al., 2007). En un estudio realizado por Díaz-Castro et al. (2002), se encontró que el registro de precipitación reconstruido tiene un pico espectral, estadísticamente significativo, de 4 años en la banda de frecuencia de ENSO y está significativamente correlacionado con índices de ENSO ($r = 0.58$, $p = 0.001$). La correlación entre el ENSO y la precipitación reconstruida de Chihuahua varió en intensidad cuando se calculó para sub-períodos de 18 años no superpuestos (que van desde $r = 0,43$ hasta $r = 0,68$), lo que puede reflejar cambios en la teleconexión ENSO con el clima en el norte de México. Cook et al. (2004) mediante la reconstrucción de la precipitación anual en Norteamérica, observan el patrón inverso de incremento de lluvias en el norte del		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	país con un déficit de precipitación en el sur y viceversa. Este patrón se exhibe en la década de 1950s, donde gran parte del norte de México estaba en sequía mientras que el sur de México y Centroamérica registraba anomalías positivas de precipitación (figura 13). Bhattacharya y Chiang (2014), analizando las teleconexiones de ENSO con la precipitación en verano en México, encuentran evidencia de ocurrencia de sequía en el verano del año precedente al máximo de anomalías positivas de la TSM en el Pacífico central oriental, así como en la primavera del año siguiente a estas anomalías. 4. Registro histórico de regiones que se han visto expuestas a sequía meteorológica en México Para analizar los diversos periodos de sequías ocurridos en México desde épocas		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	muy antiguas, en las que no se tenían registros directos de precipitación, se ha recurrido al uso de fuentes alternativas de datos de lluvia, como son los datos proxy (e. g. sedimentos, anillos de los árboles, núcleos de hielo, polen). A partir de reconstrucciones de registros climáticos de sedimentos del Lago Chichancanab (Hodell et al. 2007) se ha encontrado que en el año 800 y 1000 se registró el periodo más seco de la época del Holoceno tardío. En ese tiempo estaba la civilización maya en la región sureste del país por lo que Gill (2008) sugiere que las grandes sequías causaron el despoblamiento del Imperio Maya. Galván (2007) presenta un estudio de los periodos de sequías que se han suscitado en México durante los años 1920 al 2000 (cuadro 8). Este análisis lo llevó a cabo mediante el cálculo del SPI usando los		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	datos de precipitación de 132 estaciones de la base de CLICOM distribuidas en todo el territorio nacional. El Monitor de sequía en México proporciona un gráfico en el que se muestra el porcentaje de área afectada por la sequía del año 2003 a la fecha. De acuerdo con la figura 19, México presentó el mayor porcentaje de área afectada por la sequía en junio de 2011. 5. Regiones con amenaza a verse expuesta a sequía meteorológica en México. El sistema climático comprende la interacción de varias componentes, dos de las cuales, océano y atmósfera, involucran un acoplamiento marcadamente no lineal. Por ello es muy difícil predecir cómo cambiarán la frecuencia y la severidad de sequías e inundaciones en el mediano y largo plazo (Katz et al., 2013).		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	Los regímenes de circulación de gran escala (varios miles de kilómetros) tienen efectos sobre el clima a escala de tiempo estacional e interanual, así como en su variabilidad decadal. A escalas de tiempo más largas, el cambio en el clima inducido por las actividades humanas dominará la evolución del sistema climático. Por ejemplo, a escala global y para periodos más extensos de una década, el cambio climático inducido por nuestras actividades puede dominar sobre la variabilidad generada internamente (Meehl et al., 2013). A escala regional y local en zonas de latitudes medias y altas, sin embargo, se ha mostrado que la variabilidad interna puede ser tan importante como el cambio climático antrópico, incluso para intervalos tan largos como los próximos 50 años (Deser et al., 2012). Por lo tanto, podemos		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	esperar que en las próximas décadas la evolución del clima estará determinada por los efectos combinados del cambio climático antrópico y su variabilidad natural (Deser et al., 2014). Es importante conocer el estado del clima futuro para tener conocimiento de las condiciones extremas (sequías, inundaciones, etc.) que se podrían presentar a largo plazo, las regiones que se verían afectadas y sobre todo tomar medidas de prevención al respecto. 6. Consideraciones finales De la recopilación anterior, se puede inferir que en el territorio nacional no hay región alguna que no se haya visto expuesta a sequía meteorológica, aunque la región del norte del país es más susceptible a presentar eventos de sequía debido a la menor cantidad de		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	precipitación que recibe. No obstante, la región sur del país no queda exenta de tales eventos de sequía. Diversos estudios a escala global y regional concuerdan en que México mostrará una disminución de la cantidad de precipitación (Conde et al., 1994; Christensen et al., 2007; Montero y Pérez, 2008; Seager et al., 2009; Orlowsky y Seneviratne, 2013). Los resultados mostrados por Montero et al. (2010) para los escenarios RCP4.5 y RCP 6.0, sin embargo, son contrarios. Para el periodo de invierno en los tres escenarios (RCP 4.5, RCP 6.0 Y RCP8.5) se exhibe un patrón definido en el área de la disminución de la precipitación, esta área abarca el noreste de México. Para el periodo de verano no hay un patrón definido en el área de la disminución de precipitación.		
--	---	--	--

Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN
INFORME TÉCNICO FINAL

	Lo anterior ilustra la gran incertidumbre que existe en las proyecciones de cambio climático, sobre todo en lo referente a la precipitación.		
	1. Introducción En los modelos climáticos, las leyes físicas que gobiernan el comportamiento de las componentes del sistema climático y sus interacciones son expresadas a través de un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales no lineales (denominadas ecuaciones de movimiento o ecuaciones primitivas), mismas que deben ser resueltas numéricamente. Para ello es necesario discretizar el sistema a describir -la atmósfera, el océano, el suelo, el hielo- en una malla con celdas de unas dimensiones determinadas.	1.2 Elección del dominio computacional, configuración del modelo y elección de métricas para la verificación	100%



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	Las dimensiones de las celdas están limitadas generalmente por la capacidad de cómputo disponible y la utilización de métodos numéricos de resolución de ecuaciones añade, además, problemas de índole matemática, como son la convergencia de las soluciones y su estabilidad. Debido a las limitaciones causadas por la discretización y nuestro conocimiento incompleto de algunos procesos importantes de pequeña escala no resueltos por el tamaño de malla empleada, los modelos utilizan las así llamadas parametrizaciones, mismas que no son otra cosa que algoritmos que describen aproximadamente un proceso determinado, de pequeña escala y no resuelto en la discretización, a partir de		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	variables fundamentales sí resueltas por las mallas utilizadas, siendo la convección el ejemplo típico de un proceso parametrizado. Los modelos de simulación del clima se utilizan cada vez más en la resolución de problemas y en la toma de decisiones de tal manera que la interrogante natural es si el modelo y sus resultados son "correctos". 2. El sistema de modelación climática Antes de desarrollar un sistema de alerta por sequía es necesario primero elegir un modelo climático adecuado para tales propósitos. En esta sección se describe el nuevo y sofisticado sistema de modelación regional acoplada ROM (Sein et al., 2015) el cual será la base para desarrollar el mencionado sistema de alerta por sequía.		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	La componente oceánica de ROM es un modelo oceánico global denominado MPI-OM, el cual fue desarrollado en el Instituto Max Planck de Meteorología y ha sido ampliamente utilizado. MPI-OM es un modelo basado en ecuaciones primitivas, formulado en coordenadas z utilizando una malla tipo Arakawa C, con una superficie libre y usando la aproximaciones hidrostática y de Boussinesq. MPI-OM incorpora un modelo dinámico/termodinámico de hielo marino con una reología de plástico viscoso siguiendo a Hibler (1979) y un esquema de capa límite inferior que permite una mejor simulación del flujo a través de topografía compleja y abrupta. MPI-OM utiliza una malla curvilínea		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	ortogonal bipolar con resolución espacial variable que permite situar los polos de la misma sobre tierra firme, evitando la singularidad numérica asociada a la convergencia de los meridianos en el Polo Norte geográfico. Una ventaja importante de la malla curvilínea es la posibilidad de compatibilizar una resolución espacial alta en la región de interés en el seno de un dominio global, evitando así los problemas ligados a las fronteras abiertas o cerradas de los modelos oceánicos regionales. Una descripción de MPI-OM se puede encontrar en Marsland et al. (2003). 3. Configuración experimental En este trabajo, usaremos MPI-OM con la configuración TR04, que consta de 1040x720 nodos horizontales y tiene uno		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	de los polos situado en el este de Norteamérica y el otro en el Noroeste de África. Alrededor de los polos de la malla se consigue la máxima resolución espacial, concretamente 10 km en la región norte del Golfo de México (Fig. 2, panel izquierdo). Esto permite representar los remolinos característicos de la circulación oceánica en el Golfo de México de manera realista, aunque es insuficiente para reproducir sus características energéticas (note que si se tienen recursos de cómputo suficientes, MPI-OM sí las reproduce satisfactoriamente utilizando la configuración TP6M, en la cual el modelo tiene una resolución espacial de aproximadamente 10 km en la horizontal y en la vertical cuenta con 80 capas, para		
--	--	--	--

Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	un total de aproximadamente 700 millones de puntos localizados en una malla curvilínea tripolar). TR04 consta de 40 niveles z, que permiten una excelente representación de adecuada de la estructura vertical del océano en la región de interés. La situación de los polos de generación de la malla también permite una resolución relativamente alta en la vertiente del Pacífico de México y América Central, en la zona de formación de las tormentas tropicales así como en el resto del Atlántico Norte Subtropical. REMO se configuró utilizando varias mallas de cálculo centradas en México y América Central que incluyen partes del océano Pacífico oriental y del del Atlántico (Fig. 3). Con esta extensión del		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	dominio es posible realizar las simulaciones con una resolución de REMO de hasta 25 km. Todas estas configuraciones de REMO disponen de 31 niveles verticales híbridos. 4. Dominios computacionales Como se muestra en Sein et al. (2014), la inclusión y/o exclusión de diferentes fuentes de variabilidad, así como las diferencias en la situación de la región de interés con respecto a las fronteras, hace que los resultados de las simulaciones dependan, en diferente medida, de las características del propio modelo regional (variabilidad interna) y del modelo o reanálisis con que se fuerza el modelo regional (variabilidad externa). De esta manera, una parte vital para la		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	implementación de un modelo regional que pretenda simular realistamente el clima de una región particular es la elección del dominio computacional adecuado. La ubicación geográfica de México, rodeado por el Mar Caribe, el Golfo de México, el Océano Pacífico Oriental Tropical y el Golfo de California, así como su marcada y pronunciada orografía, lo convierten en una región en las que el uso de un modelo climático representa todo un reto por la gran cantidad de procesos físicos que modulan la variabilidad de la lluvia, la cual es de primordial importancia en este trabajo. El dominio elegido tiene que emerger de un conjunto de dominios que reúnan ciertas características para que sean considerados		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	en el desarrollo de un sistema de predicción. Por ejemplo, las fronteras abiertas tienen que estar ubicadas lo suficientemente lejos de la zona de interés primario o el dominio debe tener una dimensión adecuada para que produzca su propia variabilidad interna y esto reditúe un valor agregado con respecto a los resultados del modelo global usado para forzar al modelo regional. Para generar la información que sustente la elección de un dominio computacional adecuado para desarrollar el sistema de alerta de sequía se realizaron simulaciones numéricas con ROM utilizando cinco mallas de cálculo para REMO (Fig. 3, líneas continuas), las cuales están centradas en México y América Central e		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	incluyen el Mar Caribe, el Atlántico Tropical, partes del Pacífico Oriental Tropical y gran parte del Atlántico Norte. Note que la capacidad de generación de tormentas es una de las ventajas más importantes que proporciona la más alta resolución del modelo regional atmosférico con respecto al modelo global. 5. Métricas para la validación El análisis de los resultados de las diferentes corridas provenientes de los diversos dominios se centró básicamente en la precipitación y en algunas otras variables como la TSM simulada por el modelo acoplado. Las variables simuladas poseen una estructura bidimensional que depende del dominio utilizado y son generalmente diferentes a aquéllas de las		
--	--	--	--

Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	observaciones. Por esta razón, todas las variables, tanto simuladas como observadas, se interpolaron bilinealmente a una malla común (en algunos casos, sin embargo, sí se muestran las variables en su malla original). De esta manera se dispone de toda la información en forma homogénea, lo cual facilita las inspecciones visuales y la construcción de series de tiempo promediadas en determinadas regiones del dominio que fueron analizadas de manera visual y estadísticamente. Las fuentes de datos utilizados para la validación de los resultados presentados en este reporte son: La misión TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) fue lanzada en 1997.		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	Sus objetivos son el monitoreo de la precipitación en los trópico y los subtrópico, así como la estimación del calor latente asociado. TRMM provee el producto 3B43 (Huffman et al., 2007), el cual se encuentra disponible desde el 1. de enero de 1998 hasta la fecha y cubre todo el globo (entre los $\pm 50^\circ$ de latitud) con una resolución temporal mensual y una resolución espacial de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$. Este producto combina las estimaciones generadas por TRMM y otros satélites, con mediciones pluviométricas obtenidas de CAMS (Climate Anomaly Monitoring System) del centro de predicción del clima de NOAA y/o mediciones de GPCC (Global Precipitation Climatology Center). El producto 3B43 fue descargado		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

	de la página oficial de TRMM (http://trmm.gsfc.nasa.gov/) a finales de 2014. 6. Análisis para la elección del dominio computacional adecuado Con los dominios descritos en la sección de dominios computacionales, hemos realizado las simulaciones con una resolución espacial de REMO de 50 y 25 km con la finalidad de estimar las ventajas y desventajas de los dominios considerados y tener una base sólida para elegir el dominio más conveniente para desarrollar el sistema de pronóstico estacional. Como las simulaciones de 25		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	km resultaron muy demandantes desde el punto de vista computacional, se decidió que en este proyecto se trabajará con la resolución de 50 km, aunque en el futuro se podrá volver a los 25 km, ya que las características accidentadas del terreno y la complejidad de la línea costera hace que esta resolución mejore los resultados en ciertas regiones donde estas características son predominantes. Como se mostró en el análisis exploratorio desarrollado dentro del marco de la actividad 1.3 de este proyecto, no existen grandes diferencias entre los resultados de REMO en modo acoplado usando 50 o 25 km de resolución espacial. Para todos los dominios se simuló el periodo 1980-2012 con REMO, tanto en modo acoplado como		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	atmosférico. Las condiciones laterales para REMO y las de superficie fuera del dominio acoplado para MPI-OM se prescribieron usando datos del reanálisis ERA-Interim. También se simuló el periodo 1950-2005 con forzamiento tomado de MPI-ESM 20C. 7. Conclusiones En este reporte se presentan los resultados de un conjunto de simulaciones numéricas que sustentan la elección de un dominio computacional para el desarrollo de un sistema de pronóstico de la sequía utilizando el sistema de modelación climática ROM. El análisis de los resultados de numerosas simulaciones en modo acoplado y en modo atmosférico utilizando las métricas y las		
--	--	--	--

Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN
INFORME TÉCNICO FINAL

	configuraciones descritas indica que ROM implementado y configurado en el dominio MES, en modo acoplado, reproduce de manera satisfactoria los rasgos principales del campo de lluvia en nuestro país y en general muestra un mejor desempeño que los otros dominios evaluados. De esta manera, MES el dominio que será utilizado por ROM para realizar todos los pronósticos de la sequía durante la fase de validación histórica y de producción.		
	1. Introducción Nuestro planeta se está calentando y en este entorno más caliente, que se acentuará aún más en el largo plazo, se presentarán condiciones meteorológicas muy diferentes a las que prevalecen en la	1.3 Desarrollo del sistema de pronóstico de la sequía utilizando un modelo climático regional.	100%



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	actualidad. Se estima que debido al calentamiento global tendremos precipitaciones más intensas, sequías más severas y prolongadas, mayores elevaciones del mar durante las mareas de tormenta, así como ondas de frío y calor más frecuentes, por mencionar sólo algunos ejemplos. A continuación, se presenta una descripción breve de las principales características de los modelos climáticos, tanto globales como regionales, enfocándonos en sus fortalezas y debilidades, para posteriormente introducir el sistema de modelación climática que es utilizado masivamente en este trabajo. Posteriormente, se presentan algunos análisis de los resultados de las		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN
INFORME TÉCNICO FINAL

	simulaciones realizadas utilizando diferentes dominios computacionales, mismos que son complementarios a la actividad 1.2 y que nos permiten concluir que el sistema de modelación climática ROM, con la configuración y el dominio elegido, es adecuado para realizar el pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México, con lo cual el desarrollo del sistema queda concluido y podemos pasar a la fase de validación del pronóstico de la sequía en el periodo histórico. 2. Modelos climáticos globales y regionales La habilidad de los MCGAOA para simular la evolución del clima está inexorablemente condicionada por las		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	formulaciones y los métodos empleados en la resolución de las ecuaciones diferenciales parciales que describen la dinámica atmosférica y oceánica. Lo anterior incluye las resoluciones espaciales y temporales utilizadas en la discretización de las ecuaciones, los esquemas numéricos empleados, las parametrizaciones de los procesos físicos involucrados, así como la interacción de subsistemas como el tipo de suelo y la vegetación, por mencionar sólo algunos. Los MCGAOA utilizados para simular el sistema climático aún tienen una resolución espacial burda. A finales del siglo XX se utilizó ampliamente una malla denominada T42, en la cual se usan celdas con dimensiones típicas de		
--	---	--	--

Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	aproximadamente 200 x 300 km para representar la atmósfera en latitudes medias. En la actualidad, un modelo típico del clima usa una malla T85, la cual cuenta con celdas de aproximadamente 100 x 160 km (Fig. 1, panel intermedio superior y panel derecho superior). Esta resolución espacial, claramente, es insuficiente para modelar el clima regional o para generar los insumos requeridos para estudios regionales de evaluación de los impactos del calentamiento planetario, los cuales son necesarios para apoyar la toma de decisiones (Benestad et al., 2008). 3. El sistema de modelación climática El desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía se realizará usando el nuevo y sofisticado sistema de modelación		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	regional acoplada ROM (Sein et al., 2015). La componente oceánica de ROM es un modelo oceánico global denominado MPI-OM, el cual fue desarrollado en el Instituto Max Planck de Meteorología y ha sido ampliamente utilizado. MPI-OM es un modelo basado en ecuaciones primitivas, formulado en coordenadas z utilizando una malla tipo Arakawa C, con una superficie libre y usando las aproximaciones hidrostáticas y de Boussinesq. MPI-OM incorpora un modelo dinámico/termodinámico de hielo marino con una reología de plástico viscoso siguiendo a Hibler (1979) y un esquema de capa límite inferior que permite una mejor simulación del flujo a través de topografía compleja y abrupta.		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	MPI-OM utiliza una malla curvilínea ortogonal bipolar con resolución espacial variable que permite situar los polos de la misma sobre tierra firme, evitando la singularidad numérica asociada a la convergencia de los meridianos en el Polo Norte geográfico. Una ventaja importante de la malla curvilínea es la posibilidad de compatibilizar una resolución espacial alta en la región de interés en el seno de un dominio global, evitando así los problemas ligados a las fronteras abiertas o cerradas de los modelos oceánicos regionales. Una descripción de MPI-OM se puede encontrar en Marsland et al. (2003). 4. Desarrollo del sistema de pronóstico de la sequía		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	Antes de analizar los dominios referidos en la sección de Configuración experimental, se realizó un análisis exploratorio exhaustivo simulando el periodo 1951-2005 con REMO, tanto en modo acoplado (C) como atmosférico (A). Las condiciones laterales para REMO y las de superficie fuera del dominio acoplado para MPI-OM se prescribieron usando datos del reanálisis ERA-40. La finalidad de estas simulaciones fue responder a la pregunta de cuán sensible es la solución del modelo, en un mismo dominio, al incremento de la resolución espacial, tanto en el modo atmosférico como en el acoplado. En estas simulaciones se utilizó el mismo dominio (NAT), pero con tres diferentes		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	resoluciones espaciales: 100 km, 50 km y 25 km. Estas son las únicas simulaciones reportadas en este trabajo en las que se utilizó la resolución de 100 km. En total se realizaron 8 experimentos en esta fase exploratoria del proyecto. 5. Conclusiones En este reporte se presentan los resultados de un conjunto de simulaciones numéricas que sustentan la elección de un sistema de modelación climática, el modo de simulación adecuado y soportan adicionalmente la elección de un dominio computacional para finalizar el desarrollo del sistema de pronóstico de la sequía utilizando el sistema de modelación climática ROM. El análisis de los resultados de numerosas simulaciones en		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	modo acoplado y en modo atmosférico indica que las simulaciones en modo atmosférico sobreestiman marcadamente la precipitación en el Pacífico Oriental Tropical. Debido a la importancia de esta región en el clima de nuestro país, nuestro análisis indica que es necesario utilizar un modelo acoplado océano-atmósfera para simular correctamente la evolución del clima en nuestro territorio con la finalidad de emitir un pronóstico de la evolución de las condiciones meteorológicas mensuales medias con un horizonte de hasta nueve meses. Esto se realizará con el sistema ROM, el cual ya se encuentra configurado en el dominio elegido MES y se están realizando todas las corridas necesarias		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	para evaluar su desempeño durante las últimas décadas del siglo pasado.		
	1. Introducción La estimación robusta de las condiciones futuras del sistema climático y de su variabilidad es fundamental para que la toma de decisiones y los esfuerzos de política pública y planeación sean productivos y eficientes. Una buena estimación de las condiciones climáticas futuras tiene importantes beneficios económicos potenciales en todos aquellos campos que, en alguna medida, dependan del clima, siendo de especial interés dentro del contexto de adaptación al cambio climático. Esto es cierto tanto para la planificación de las políticas de prevención y adaptación a largo plazo como para	2.1 Evaluación del desempeño del pronóstico de la sequía en el periodo histórico.	



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	períodos más cortos, en los que se predicen las anomalías climáticas con algunos meses de antelación (predicción estacional). 2. Datos utilizados para la evaluación del desempeño del sistema de predicción en el periodo histórico y metodología La misión TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) fue lanzada en 1997. Sus objetivos son el monitoreo de la precipitación en los trópicos y los subtrópicos, así como la estimación del calor latente asociado. TRMM provee el producto 3B43 (Huffman et al., 2007), el cual se encuentra disponible desde el 1 de enero de 1998 hasta la fecha y cubre todo el globo (entre los $\pm 50^\circ$ de latitud) con una resolución temporal mensual y una		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	resolución espacial de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$. Este producto combina las estimaciones generadas por TRMM y otros satélites, con mediciones pluviométricas obtenidas de CAMS (Climate Anomaly Monitoring System) del centro de predicción del clima de NOAA y/o mediciones de GPCC (Global Precipitation Climatology Center). El producto 3B43 fue descargado de la página oficial de TRMM (http://trmm.gsfc.nasa.gov/) a finales de 2016 y actualizado a finales de 2017. El conjunto de datos de observación histórica en una malla regular de Livneh et al. (2015) se utilizó para caracterizar la meteorología mensual observada de precipitación. Estos datos abarcan el período 1950 - 2013. La malla original		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	tiene una resolución espacial de $1/16^\circ$ (~ 6 km). Para propósitos de intercomparación con los resultados de las simulaciones y con otras bases disponibles, los datos observados de Livneh se agregaron a una resolución espacial de 0.25° (~ 25 km). 3. Verificación de resultados en la escala estacional En primer lugar se analizó el desempeño del modelo en la escala estacional. Para ello, se utilizaron los campos de SST y precipitación predichos durante el primer año de los experimentos de hindcast simulados con el modelo para todo el periodo y se obtuvo su anomalía de		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	correlación contrastándolos con las bases observacionales de temperatura y precipitación (HadISST y CMAP, respectivamente). Los resultados obtenidos muestran que nuestro sistema de predicción tiene potencial de predicción significativa (> 0.6) para la SST durante el primer trimestre y potencialmente buena en el segundo trimestre. 4. Análisis de algunos eventos de ENSO En esta sección se analiza el desempeño de ROM en la simulación de algunos eventos ENSO que se presentaron a partir de 1980. Los eventos analizados son las fases cálidas de los ENSO de 1983/1983, 1997/1998 y 2014/2015. La figura 16 muestra el ACC calculado para el periodo		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	en el que se presentó uno de los eventos ENSO más fuertes del siglo pasado. Durante la fase de calentamiento que se observó durante la primavera de 1982 el modelo tiende hacia los valores observados del ACC y muestra un buen desempeño en junio - agosto para después divergir. Los máximos valores de SST asociados a la fase cálida de este evento ENSO, cuyo valor máximo se registró de noviembre de 1982 a enero de 1983, estuvieron regularmente representados en el estado inicial del océano (valores de finales de diciembre de 1982), pero no se forzó al modelo oceánico hacia las observaciones. Esto puede mejorarse en una etapa operacional incluyendo un esquema de asimilación de datos o se pueden utilizar		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	campos iniciales disponibles del ECMWF. Para investigación son libres de costo y son liberados con cierta demora, pero para cuestiones operacionales conllevan un costo que es sufragado generalmente por los servicios meteorológicos nacionales que firman convenios vía la Organización Meteorológica Mundial. 5. Conclusiones En este reporte se verifican los resultados de un conjunto de simulaciones numéricas que sustentan la elección del sistema de modelación climática ROM para el desarrollo de un sistema de pronóstico de la sequía. El análisis de los resultados indica que ROM, en modo de pronóstico, reprodujo de manera satisfactoria las		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	principales características del campo de precipitación en México. El fenómeno ENSO juega un papel importante en la variabilidad estacional del clima en nuestro país y en el mundo y es necesario contar con un buen campo inicial para que el pronóstico sea certero. ROMS, a pesar de que no incluye por sí mismo un mecanismo de asimilación de datos tuvo un desempeño satisfactorio para simular los periodos de sequía que se presentaron durante los dos eventos ENSO analizados. Resultados reportados en el siguiente reporte indican que también se simuló satisfactoriamente la fase cálida de ENSO que se presentó en 2014/2015.		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

	En general, los análisis indican que la mayor parte de la vertiente del Pacífico tiene un potencial adecuado para realizar simulaciones en una escala temporal de hasta 6 meses, observándose incluso buenos resultados en escalas de 9 meses en algunas regiones del sureste de nuestro país. En la zona del Monzón de Norteamérica, en el noroeste de México, el modelo tiene un muy buen desempeño durante los meses de julio y agosto en prácticamente todo el periodo analizado. La zona del noreste de México y la Península de Yucatán mostraron el menor desempeño. Esto necesita ser analizado para mejorar las parametrizaciones del modelo, sobre todo lo referente a la		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

	manera en la que se trata a la lluvia de gran escala y a la asociada al paso de los frentes fríos.		
	1. Introducción La estimación robusta de las condiciones futuras del sistema climático y de su variabilidad es una clase de información muy importante que debería de tener un lugar primordial en la toma de decisiones en nuestro país. Si bien es cierto que una buena estimación de las condiciones climáticas futuras tiene importantes beneficios económicos potenciales en aquellos campos que en mayor o menor medida dependen del clima, también lo es que muy poco esfuerzo se ha canalizado a impulsar esta área del conocimiento en México. Las razones de lo anterior son	2.2 Elaboración de un pronóstico estacional con un horizonte de nueve meses a partir del mes 12 de ejecución del proyecto con una frecuencia trimestral y verificación de éstos al final el proyecto.	100%



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	variadas, pero los gobiernos han llegado y se han ido y la única constante en este tiempo ha sido el continuo deterioro de la infraestructura que alguna vez se logró para tener un registro confiable de las principales variables meteorológicas a lo largo y ancho de nuestro extenso territorio. Los problemas asociados a esta falta de información, que se incrementa día con día, emergen con toda claridad cuando se solicita a las universidades información confiable sobre la evolución de las condiciones meteorológicas con algunos días de anticipación. La situación es mucho más compleja cuando se pretende inferir algo, con meses de antelación y con cierta confiabilidad, sobre el estado futuro		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	de las condiciones climatológicas. Existe, sin embargo, y esto es muy importante, en todo nuestro territorio una gran necesidad de información sobre las condiciones meteorológicas que pudieran prevalecer durante los meses siguientes. No obstante esa gran necesidad e información, hasta la fecha, tanto nuestros gobernantes como los investigadores, hemos fallado en desarrollar la capacidad para proveer a nuestra sociedad con tales insumos, mismos que se han desarrollado con gran celeridad en los países industrializados. 2. Datos utilizados para la evaluación del desempeño del sistema de predicción y metodología El conjunto de datos de observación histórica en una malla regular de Livneh		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	et al. (2015) se utilizó para caracterizar la meteorología mensual observada de precipitación. Estos datos abarcan el período 1950 - 2013. La malla original tiene una resolución espacial de $1/16^\circ$ (~ 6 km). Para propósitos de intercomparación con los resultados de las simulaciones y con otras bases disponibles, los datos observados de Livneh se agregaron a una resolución espacial de 0.25° (~ 25 km). Debido a limitaciones computacionales y al carácter exploratorio de este proyecto, para la realización de nuestras predicciones estacionales utilizamos conjuntos de tres simulaciones para cada uno de los períodos que van de 1980 a 2014, resultando en un número total de años simulados de 225. Para elegir 3		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	corridas entre las 10 simulaciones con MPI-ESM disponibles en cada una de las décadas. 3. Análisis de resultados de los pronósticos para el período 2013-2017 En esta sección se analiza el desempeño de ROM en la predicción del evento ENSO que se presentó en 2015/2016. Además, se presenta un análisis detallado del período 2013-2017, contrastándolo con las bases de precipitación disponibles. 4. Conclusiones En este reporte se verifican los resultados de un conjunto de pronósticos climáticos utilizando el sistema de pronóstico de sequía basado en ROM. El análisis de los resultados se centró en el período 2013-		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	2017 y se analizó el efecto de incluir información generada con 3, 6 y 12 meses de antelación. De esta manera, se analizaron los resultados de un total de nueve pronósticos diferentes, inicializando con una frecuencia trimestral, semestral y anual cubriendo el período mencionado. En particular, las simulaciones en las zonas de nuestro país sensibles a ENSO indican que ROM, en modo de pronóstico, reproduce de manera satisfactoria las principales características del campo de precipitación en México. Este resultado es importante debido a que ENSO juega un papel importante en la variabilidad estacional del clima en nuestro país y en el mundo y, como ya ha sido discutido en el reporte anterior, es		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	necesario contar con un buen campo inicial para que el pronóstico sea certero. ROM, a pesar de que no incluye por sí mismo un mecanismo de asimilación de datos tuvo un desempeño satisfactorio para simular los períodos de sequía que se presentaron durante los dos eventos ENSO analizados en el reporte anterior y el reportado aquí, correspondiente a la fase cálida de ENSO registrada en 2015/2016. El reportado aquí es diferente a los otros dos por la sencilla razón que en estos pronósticos el modelo no se inicializó cada año, sino que las simulaciones empezaron el 1 de enero de 2013, con algunas otras incluyendo inicializaciones con el estado observado en los 3, 6 y 12 meses anteriores a esa fecha. En general, los resultados		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	indican que el sistema de predicción de la sequía tiene un buen desempeño para pronosticar la evolución del campo de lluvia en una gran parte de nuestro país, particularmente en las zonas de la vertiente del Pacífico, la zona del Monzón de Norteamérica y las regiones costeras del Golfo de México. El sistema tiene un menor potencial predictivo en el resto del país, particularmente en el extremo noroeste, sin embargo el desempeño es en general aceptable y, sobre todo, mejorable. Sobre esto último es pertinente recordar que la resolución espacial utilizada en este proyecto no fue la óptima por cuestiones presupuestarias y de tiempo de cómputo. La finalidad del proyecto, sin embargo, se cumplió, pues nuestros resultados		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	muestran claramente que el sistema de predicción de sequía produce información que puede usarse para emitir un boletín con una frecuencia que dependerá del gasto que se quiera hacer para conseguir la información para la inicialización del sistema y de las condiciones de frontera, así como de la adquisición de la infraestructura de cómputo necesaria para realizar todas las simulaciones necesarias. Este es un buen momento para comentar que es necesario contar con un número mayor de miembros del ensamble, lo cual consume una gran cantidad de recursos de cómputo pero claramente mejora la estimación de las condiciones de sequía.		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN
INFORME TÉCNICO FINAL

	1. Pronóstico de las condiciones climatológicas para el año 2018. En esta sección se incluye el pronóstico elaborado para el año 2018 utilizando el sistema de modelado para la sequía basado en ROM. Las anomalías reportadas se refieren a desviaciones de una climatología calculada para el periodo 1998-2013. Se hizo entrega al CENAPRED de los valores mensuales de las variables de precipitación y temperatura mínima pronosticadas para el año 2018, así como de sus climatologías correspondientes calculadas en dos periodos: 1981-2010 y 1998-2013. La inclusión del periodo 1998-2013 se debe a que en dicho periodo se verificaron algunos pronósticos	2.3 Calibración y validación pronóstico	100%
--	--	---	------



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

	reportados en el quinto reporte, el cual se entrega conjuntamente con el presente. 2. Verificación del pronóstico para el año 2018 usando la información ya disponible En esta sección se compara el pronóstico estacional extendido, basado en ROM, con las anomalías climáticas estacionales del sistema de pronóstico acoplado NCEP versión 2 (CFSv2). Producto disponible en la página http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CFSv2/CFSv2seasonal.shtml. Además, se compara el pronóstico basado en ROM con el pronóstico realizado por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y con datos de precipitación		
--	--	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	disponibles hasta la primera quincena del mes de enero del presente año. Los resultados de nuestro sistema son consistentes con CFSv2, pero que nuestros valores predichos de precipitación en el noroeste de México son más acordes a los observados. Claramente, al menos en el noroeste de México, el desempeño del pronóstico emitido por el SMN es deficiente. Una probable explicación para la falla del pronóstico del SMN es que se hayan basado en información de CPC generada antes del 31 de diciembre de 2017, puesto que todas esas simulaciones predijeron condiciones secas en el noroeste de México 3. Conclusiones y recomendaciones		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

	En los muchos meses que duró este proyecto, siempre existió la posibilidad de obtener resultados que indicaran que no es viable utilizar modelos climáticos regionales para pronosticar condiciones de precipitaciones por arriba o por debajo de lo normal con meses de antelación en nuestro país. Lo anterior, sobre todo debido a lo complejo de nuestro territorio. Nuestros resultados, sin embargo, muestran claramente que esta clase de herramientas, tan sofisticadas, se pueden usar para generar información que sirva para la planeación de las actividades tendientes a mitigar las condiciones de sequía que se pudieran presentar en nuestro país.		
--	---	--	--



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

	Es importante enfatizar que en este año se han liberado nuevas predicciones decenales utilizando versiones mejoradas de los modelos globales de circulación general desarrollados por el MPI, mismas que mejorarán el desempeño de los pronósticos realizados hasta ahora con nuestro sistema de predicción basado en ROM.		
Describir cada uno de los resultados alcanzados, indicando de manera cuantitativa en qué medida cubre lo comprometido en la Ficha Técnica.			
Se cumple al 100% de la Actividad 1 Recopilación de información y desarrollo del sistema. Se cumple al 100% con los entregables 1.1, 1.2 y 1.3: 1.1 Recopilación de información disponible para caracterizar el clima y su variabilidad en las regiones susceptibles de verse expuestas a eventos de sequía meteorológica.			



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

1.2 Elección del dominio computacional, configuración del modelo y elección de métricas para la verificación. 1.3 Desarrollo del sistema de pronóstico de la sequía utilizando un modelo climático regional Se cumple al 100% de la Actividad 2 Evaluación y desarrollo de pronósticos. Se cumple al 100% con los entregables 2.1, 2.2 y 2.3: 2.1 Evaluación del desempeño del pronóstico de la sequía en el periodo histórico. 2.2 Elaboración de un pronóstico estacional con un horizonte de nueve meses a partir del mes 12 de ejecución del proyecto con una frecuencia trimestral y verificación de éstos al final el proyecto. 2.3 Calibración y validación pronóstico
Los resultados, ¿de qué forma abonan a la parte preventiva del proyecto?
Se elaboró el pronóstico para el 2018, utilizando el sistema de modelado para la sequía basado en ROM, a través de mapas de anomalías de precipitación mensual respecto a la normal del periodo 1981-2010 (mm/día) y su correspondiente incremento en porcentaje. Con ellos se podrá anticipar periodos de déficit de lluvia mensual en la República Mexicana.
Señalar el proceso o la metodología empleada para la obtención de los productos reportados
Se realizó un conjunto de simulaciones numéricas que sustentan la elección de un sistema de modelación climática, el modo de simulación adecuado y soportan adicionalmente la elección de un

Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN

INFORME TÉCNICO FINAL

dominio computacional, para finalizar el desarrollo del sistema de pronóstico de la sequía utilizando el sistema de modelación climática ROM.

2. Descripción detallada, en su caso, de las características de los bienes adquiridos de acuerdo al PAPC y lo comprometido dentro de la Ficha Técnica. Si se trata de equipo, incluir especificaciones técnicas y los mapas que se entreguen deberán tener formato shape.

No.	Concepto	Descripción
1	Calibración y validación pronóstico.	Se elaboró el pronóstico para el 2018 utilizando el sistema de modelado para la sequía basado en ROM y se comparó el pronóstico estacional extendido con las anomalías climáticas estacionales del sistema de pronóstico acoplado NCEP versión 2 (CFSv2).

3. Productos que se tienen al momento del reporte.

No.	Producto utilizable	Mecanismo de integración con la CNPC o el CENAPRED
1	Evaluación del desempeño del pronóstico de la sequía en el periodo histórico, según se reporta en el informe de la actividad 2.1. Se analizaron los resultados en el período	Los mapas de anomalías de precipitación mensual simulada para 2018 con respecto a la normal del periodo 1981-2010 (mm/día) y su correspondiente



Nombre del proyecto	Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Dr. Carlos Miguel Valdés González Director General del CENAPRED
Informe técnico final	

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

2013-2017 y el efecto de incluir información generada con 3, 6 y 12 meses de antelación, según se reporta en el informe de la actividad 2.2. Se elaboró el pronóstico para 2018 utilizando el sistema de modelado para la sequía basado en ROM, según se reporta en el informe de la actividad 2.3.	incremento en porcentaje pueden integrarse al Atlas Nacional de Riesgos para su consulta.
---	---

4. Comentarios

El Comité Interno de la Subcuenta de Investigación para la Prevención, aprobó el informe técnico final de este proyecto, mediante acuerdo RO/26/01/2018, con fundamento en el artículo 30 de los Lineamientos para la operación del Comité Interno de la Subcuenta de Investigación, en el marco del Acuerdo por el que se establecen las Reglas de Operación del Fondo para la Prevención de Desastres Naturales.

Los productos finales del proyecto pueden ser visualizados en la siguiente liga:

URL: <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/app/fenomenos/>

Menú: Capas/Hidrometeorológicos/Climatología (CCA, 2018)