



## GUÍA PARA EL CÁLCULO Y USO DE ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO



Embajada Británica  
en México



Elaborada por:  
Jorge Luis Vázquez Aguirre



15 de mayo de 2010.

Desarrollada en el marco del Proyecto:  
FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES EN DETECCIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

Compilador: Jorge Luis Vázquez Aguirre<sup>1</sup>.

Basada en artículos de la literatura científica y en documentos publicados por el Grupo de Expertos en Índices y Detección de Cambio Climático, diversos programas de la Organización Meteorológica Mundial y del Instituto Nacional de Ecología, entre otros.

Los puntos de vista expresados en esta guía son un extracto de la información disponible en las fuentes originales citadas a lo largo del texto. Otra información contenida que no haya sido citada es completa responsabilidad del autor y no constituye en forma alguna un endoso a/de las instituciones u organizaciones que se mencionen.

Los siguientes científicos e instituciones de la ciencia del cambio climático fungieron como instructores en el primer Taller de Detección e Índices de Cambio Climático en México, realizado en la ciudad de Puebla, Pue., en marzo de 2009: Philip Jones, Jorge L. Vázquez (Climatic Research Unit, Universidad de East Anglia); Manola Brunet, Enric Aguilar, Javier Sigró, Oscar Saladié (Centro en Cambio Climático, Universidad Rovira i Virgili); Víctor O. Magaña (Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México); Adalberto Tejeda Martínez (Programa Universitario de Cambio Climático, Universidad Veracruzana).

El autor agradece las contribuciones a este documento realizadas por José Abraham Torres Alavez, Uriel Bando Murrieta, así como los comentarios de Miguel Ángel Altamirano del Carmen y un revisor anónimo. El sistema de acceso y selección a la base de datos climatológica nacional en línea fue desarrollado por Oscar Javier Palacios Ruiz.

Esta guía ha sido posible gracias al financiamiento de la Embajada Británica en México al proyecto del Instituto Nacional de Ecología “Fortalecimiento de Capacidades en Detección de Cambio Climático en México”, facilitado por la Universidad Iberoamericana Puebla.

Primera edición. 2010.

Instituto Nacional de Ecología  
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
Periférico Sur 5000, Col. Insurgentes Cuicuilco  
Delegación Coyoacán, C.P. 04530  
México, D.F.

---

<sup>1</sup> Dirección de correspondencia al autor: Jorge L. Vázquez-Aguirre, Climatic Research Unit. School of Environmental Sciences, University of East Anglia. Norwich, Norfolk, UK. NR4 7TJ. Correo electrónico: j.vazquez-aguirre@uea.ac.uk, j.climsci@gmail.com .

## CONTENIDO

PRÓLOGO .....	5
NOTA PARA EL LECTOR .....	7
INTRODUCCIÓN.....	9
I. CONCEPTOS BÁSICOS.....	11
I.1. El cambio climático.....	13
I.2. Detección y atribución de cambio climático.....	13
I.3. Cambios en los extremos del clima .....	16
I.4. Datos instrumentales del clima.....	18
I.5. Mitigación y adaptación como respuestas al cambio climático .....	22
II. CÁLCULO DE ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO.....	23
II.1. Los índices de cambio climático (del ETCCDI).....	25
II.2. Los talleres de índices del ETCCDI .....	26
II.3. Procedimiento para calcular los índices de cambio climático.....	27
II.4. Selección de datos .....	28
II.5. Análisis y control de calidad.....	31
II.6. Evaluación de homogeneidad y uso de metadatos.....	34
II.7. Cálculo de los índices .....	39
II.8. Integración de series regionales .....	43
II.9. Análisis de tendencias .....	44
III. INFORMACIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO, USOS Y DECISIONES .....	45
III.1. El imperativo de la adaptación al cambio climático.....	47
III.2. Apoyo a decisiones en el contexto del cambio climático.....	47
III.3. Información sobre cambio climático en índices .....	49
III.3. Selección de índices para su uso en sectores específicos.....	51
III.5. Guía para analizar una decisión.....	52
EPILOGO.....	53
APÉNDICE I. DEFINICIONES DE LOS ÍNDICES DEL ETCCDI.....	55
APÉNDICE II. HERRAMIENTA EN LÍNEA PARA SELECCIÓN DE DATOS .....	61
APÉNDICE III. INSTALACIÓN DEL SOFTWARE R, RClindex y RHtest.....	71
APÉNDICE IV. RClindex COMO APOYO EN EL CONTROL DE CALIDAD .....	73
APÉNDICE V. USO DE RHTest EN LA PRUEBA DE HOMOGENEIDAD.....	79
REFERENCIAS .....	83
ABREVIACIONES Y SIGLAS.....	86
LECTURAS RECOMENDADAS .....	87
SITIOS DE INTERNET RELACIONADOS .....	88



## PRÓLOGO

La Coordinación del Programa de Cambio Climático del Instituto Nacional de Ecología (INE), tiene como misión impulsar las investigaciones sobre cambio climático en México, tanto para mitigarlo como para la adaptación al mismo, con el fin de asegurar el cumplimiento de los compromisos establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo, los Programas Sectoriales e Institucionales, la Estrategia Nacional de Cambio Climático, el Programa Especial de Cambio Climático y los adquiridos ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) como parte del No Anexo I de dicha Convención.

Como parte del cumplimiento de su misión, el INE juega un papel indispensable en la realización de los Programas de Acción ante el Cambio Climático en las entidades federativas, los cuales requieren utilizar la información climatológica del país para analizar la variabilidad y el cambio climático observados; por ello, el INE propuso el proyecto “Fortalecimiento de Capacidades en Detección del Cambio Climático en México” al Programa del Fondo Estratégico de la Embajada Británica en México. Siendo la propuesta aprobada en el año 2008, el INE solicitó apoyo de coordinación científica a la Climatic Research Unit de la Universidad de East Anglia en el Reino Unido y apoyo de coordinación logística a la Universidad Iberoamericana en Puebla para la ejecución del proyecto, lo cual permitió contar con la participación de otras instituciones académicas de la comunidad internacional (el Centro en Cambio Climático de la Universidad Rovira y Virgili de España y el Centro Nacional de Datos Climáticos de los Estados Unidos) y del ámbito nacional (el Grupo de Meteorología Tropical del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, el Grupo de Climatología Aplicada de la Universidad Veracruzana y el Servicio Meteorológico Nacional). Ésta guía es parte de los productos del proyecto mencionado, junto con el inicio de un banco nacional de índices de cambios en el clima y bases de datos en línea, la integración de una Red Inter-institucional de Índices y Detección del Cambio Climático y la transferencia de métodos y conocimiento a las entidades federativas. Aún cuando el proyecto ha concluido en el año 2010, las actividades por éste iniciadas requieren continuarse en forma permanente a través del intercambio abierto entre personas e instituciones. Así, se espera que en el futuro cercano la participación de múltiples actores, tanto de la Federación como de las entidades federativas, resulte en respuestas concretas ante el cambio climático en México.



## NOTA PARA EL LECTOR

Este documento tiene como objetivo ofrecer al lector los conceptos básicos en detección e índices de cambio climático y proveer una guía de pasos a seguir para el análisis de la información del clima -en la escala regional- con base en datos de observaciones instrumentales. No se trata de una guía exhaustiva ni específica y se espera que el lector consulte las fuentes originales que han sido referenciadas e interactúen con otros miembros de la Red de Índices y Detección de Cambio Climático.

Esta guía contiene tres secciones principales: i) conceptos básicos, ii) cálculo de índices de cambio climático e iii) información de cambio climático, usos y decisiones.

Con excepción de la Parte II: “Cálculo de Índices de Cambio Climático”, en la que se requiere que los lectores tengan conocimientos básicos en climatología, estadística y computación, el documento se ha escrito para una audiencia generalizada.

La Parte I: “Conceptos Básicos”, describe los conceptos de cambio climático, detección y atribución y plantea la necesidad de estudiar los cambios en los extremos del clima en regiones específicas (e.g. las entidades federativas); hace referencia a los datos climáticos de origen instrumental y pondera el uso de la base de datos climática nacional en el estudio del cambio climático observado, concluyendo con una breve alusión a los conceptos de adaptación, mitigación y su importancia para la sociedad.

La Parte II: “Cálculo de Índices de Cambio Climático” provee el contexto para el diagnóstico de cambios observados en los eventos extremos y describe una metodología de amplia aceptación internacional para, a partir de los datos instrumentales del clima, obtener índices de cambio climático. Esta sección ofrece una secuencia de pasos a seguir y referencia la metodología y herramientas de software útiles en el cálculo de los índices citando varias fuentes de información.

La Parte III: “Información de Cambio Climático, Usos y Decisiones”, documenta la importancia de usar la información de cambio climático como parte de las decisiones necesarias para el diseño de estrategias de adaptación al cambio climático, de mitigación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero y de otras para garantizar seguridad climática y socioeconómica.

Para mantener continuidad en el texto, los aspectos técnicos extensos y las secuencias de pasos para el uso de software recomendado se han separado en apéndices.



## INTRODUCCIÓN

Es común que en la sociedad mexicana no se haga una diferencia clara entre los conceptos de “tiempo” y “clima”. ‘Tiempo’ (meteorológico), ‘temperie’ o ‘estado del tiempo’ son los términos usados para referirse al estado instantáneo de la atmósfera, o bien, al estado atmosférico y los procesos relacionados, en un intervalo de tiempo (cronológico) relativamente corto. Los procesos del estado del tiempo pueden ocurrir en plazos que van desde minutos hasta días. El término ‘clima’, en cambio, es usado para hacer referencia a las condiciones observadas en plazos más largos (quincenas, meses, estaciones, años, décadas, etc.); la característica del clima es que éste abarca una escala cronológica suficiente para hablar del comportamiento estadístico del estado del tiempo. Una analogía útil para comprender las diferencias entre tiempo y clima es la de comparar ambos conceptos con el comportamiento humano: el tiempo sería el equivalente del estado de ánimo en un momento en particular, mientras que el clima sería el análogo de la personalidad. Las ciencias atmosféricas estudian el estado del tiempo y del clima mediante la meteorología y la climatología, respectivamente.

Con base en lo anterior, en términos del estado del tiempo, puede uno referirse a un día caluroso o una noche fría; mientras que en términos del clima uno puede hablar de un mes húmedo o seco, de si una estación del año sucedió con temperatura más alta que el promedio histórico, o de cómo ha sido el clima de un cierto periodo con respecto a otro considerado como normal. La Organización Meteorológica Mundial ha recomendado el uso de períodos de 30 años para calcular las estadísticas de referencia del clima llamadas “normales climatológicas”. Específicamente los períodos de 1961 a 1990 y de 1971 a 2000 han sido utilizados en los últimos años como referencia del clima observado en décadas recientes. Resulta claro entonces, el hecho de que la información del clima tiene implícita la información del estado del tiempo. El cambio del clima o cambio climático por lo tanto, implica también cambios en el estado del tiempo.

En términos de pronóstico, la ciencia hasta ahora solamente permite predecir el estado del tiempo con gran detalle y alta confiabilidad en plazos de unos cuantos días. En materia de clima sólo es posible hacer predicciones de las condiciones medias probables de ocurrir en plazos de meses o estaciones con respecto a lo normal. En plazos todavía más largos, como los del cambio climático, no es posible hacer pronósticos, sino solamente escenarios de cómo sería probablemente el clima dadas ciertas condiciones en

el futuro lejano. Las condiciones consideradas en la elaboración de escenarios de cambio climático incluyen proyecciones del estado futuro de los sistemas naturales, sociales y económicos, tales como el cambio de estado de los ecosistemas, los cambios en la concentración de gases de invernadero en la atmósfera y el desarrollo socioeconómico, entre otros factores. Diversos escenarios para el futuro han sido creados en el contexto del cambio climático global.

Una idea clara sobre cómo el cambio climático impactará en la escala de regiones específicas (como por ejemplo en las entidades federativas de México) requiere profundizar el conocimiento del clima en dichas escalas, es decir, se requiere tener identificadas con gran nivel de detalle las variaciones climáticas que ocurren en cada región de interés. Sólo mediante este conocimiento y un constante monitoreo del clima se podrá elucidar la forma en que los impactos del calentamiento global se irán manifestando en la región donde vivimos. El entendimiento del clima pasado y presente es uno de los elementos más importantes que nos permitirán trabajar en el diseño de medidas de adaptación a los cambios en el clima. Una sociedad que ha aprendido a adaptarse a las variaciones del clima del pasado reciente y del presente tiene más posibilidades de adaptarse a los cambios climáticos derivados del calentamiento global.

La temperatura global puede ser representada adecuadamente si se cuenta con un número mínimo suficiente de termómetros en el planeta, geográficamente bien distribuidos. Desde hace más de un siglo, las observaciones hechas con instrumentos de medición de variables atmosféricas (termómetros, pluviómetros, etc.) y sometidas a riguroso procesamiento científico han permitido entender la variabilidad y los cambios en el clima pasado y presente a gran escala. En el caso de regiones de menor escala, por tratarse de análisis con gran nivel de detalle, la descripción adecuada del clima requiere contar con un número relativamente mayor de puntos de observación en el área de interés, de manera que se pueda describir efectivamente el clima regional. Actualmente se tiene evidencia suficiente para afirmar inequívocamente un aumento reciente en la temperatura global. Sin embargo, la forma en que este aumento de temperatura impactará específicamente cada región es todavía incierta. El análisis detallado de los cambios regionales del clima es por tanto necesario para comprender los posibles impactos “locales” del calentamiento global.

## **I. CONCEPTOS BÁSICOS**



## **I.1. El cambio climático**

Dos definiciones del término “cambio climático” son mayormente utilizadas en las comunidades científica y operacional:

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) define el cambio climático como “un cambio en el clima que es atribuible directa o indirectamente a las actividades humanas, que altera la composición de la atmósfera planetaria y que se observa en períodos de tiempo comparables, en forma adicional a la variabilidad climática natural”.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) por otro lado, define el cambio climático como “cualquier cambio en el clima producido durante el transcurso del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o a la actividad humana”.

El calentamiento global observado en décadas recientes es una de las evidencias de un importante cambio climático que está ocurriendo en la actualidad, cuyas causas han sido atribuidas a las actividades humanas, en particular al incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2007). Entender las variaciones locales en el clima y comprender la forma y magnitud de los impactos del calentamiento global, y el cambio climático asociado, son pasos imprescindibles para la seguridad del género humano.

## **I.2. Detección y atribución de cambio climático**

En términos de la investigación sobre detección y atribución del cambio climático la definición utilizada concuerda con la propuesta por la CMNUCC (Zwiers, 2009), pero es importante comprender la diferencia entre los conceptos de detección y atribución.

Los cambios en el sistema climático a través del tiempo pueden deberse ya sea a variaciones en la dinámica interna del sistema, o bien a la presencia de forzamientos externos. La dinámica interna es el resultado de los procesos de interacción entre las diversas componentes del sistema climático (atmósfera, hidrósfera, criósfera, etc.); los

forzamientos externos, por otra parte, pueden ser de origen natural (e.g. variaciones en la actividad solar o en la actividad volcánica) o de origen humano (e.g. aumento de emisiones de gases de efecto invernadero, cambios en el uso del suelo).

Cuando no existen forzamientos externos, los cambios del clima son influenciados solamente por los procesos de la dinámica interna del sistema. De este modo, se tiene conocimiento de cambios del clima asociados a sistemas de interacción océano-atmósfera, como en el caso de la variabilidad climática asociada al fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), o de las variaciones en períodos de décadas tales como las asociadas a la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y a la Oscilación Multi-decadal del Atlántico (AMO). En forma adicional a las variaciones climáticas debidas a la dinámica interna, otros cambios del clima están asociados a forzamientos externos naturales como los observados en períodos largos de intensa actividad volcánica.

Hablar de *detección* del cambio climático implica demostrar, generalmente en términos estadísticos, que el clima ha cambiado con algún nivel de significancia en un intervalo de tiempo determinado (Brunet et al., 2001; IDAG, 2005; IPCC, 2007). A reserva de apegarse a la definición formal del término, puede hablarse de detección de cambios en el clima al identificar en un registro de variables climáticas, obtenido con instrumentos de medición, los cambios que sean estadísticamente diferentes a las características del mismo registro en el pasado inmediato (por ejemplo al identificar una tendencia significativa en los registros de termómetros). En la 'detección' del cambio climático se demuestra que existe evidencia de cambios en el clima a través del tiempo, pero no se da explicación alguna sobre el origen de dichos cambios.

La acción de explicar y demostrar las causas de los cambios en el clima se conoce como *atribución* del cambio climático, y consiste en establecer, con un nivel de confianza dado, el origen más probable de un cambio detectado en el clima. (IDAG, 2005).

El calentamiento global recientemente detectado en la tendencia de incremento de la temperatura media del planeta es uno de los indicadores de un cambio climático en nuestro tiempo. En su más reciente informe de evaluación, el IPCC concluyó que "el calentamiento del sistema climático es inequívoco" (Trenberth et al., 2007). Mas debe tenerse en cuenta que se está hablando de la temperatura media de todo el planeta y que esto implica examinar áreas geográficas muy grandes de manera que el 'ruido' asociado a los detalles de escalas muy pequeñas no impida revelar la señal planetaria de cambio

climático. Peterson et al. 2008, demuestran la evidencia del calentamiento para la masa continental de Norteamérica.

En cuanto a la atribución del cambio climático, las investigaciones han demostrado que el calentamiento global es debido en gran medida al incremento en la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero asociado a las emisiones de origen humano (Hegerl et al., 2007). Esta conclusión de atribución ha sido obtenida por los científicos del mundo mediante el uso de complejos modelos que describen las leyes de la dinámica interna del sistema climático y comparando el clima modelado con el clima observado. El calentamiento observado recientemente únicamente coincide con los resultados de los modelos cuando en éstos se incluyen los forzamientos de origen humano además de los forzamientos naturales (figura 1).

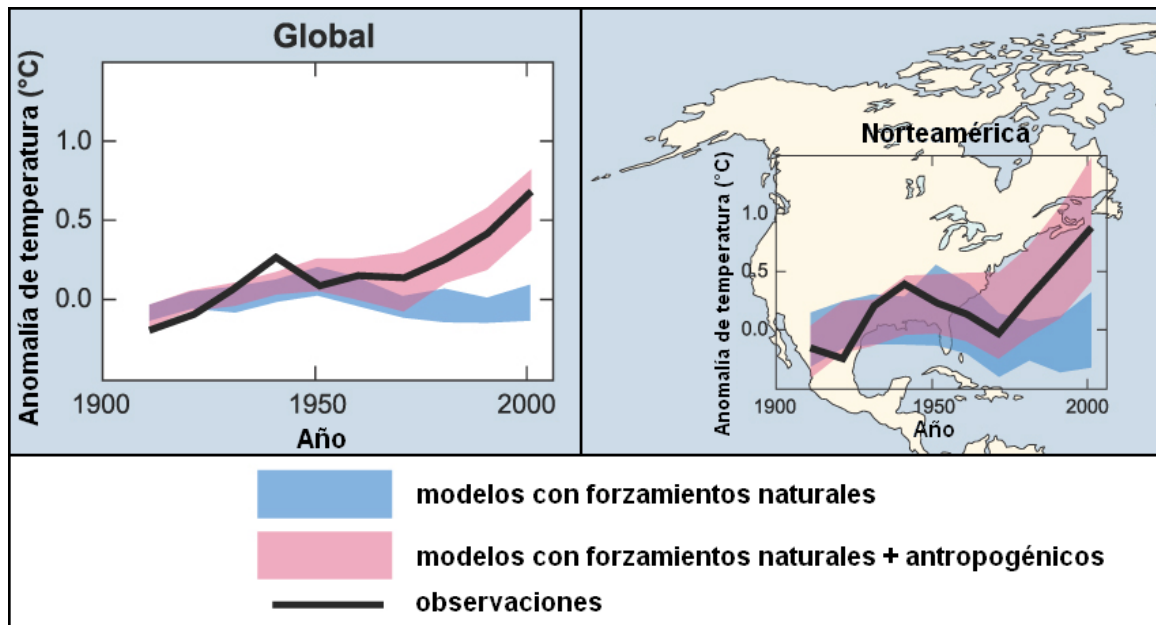


Figura 1. Cambios de temperatura en superficie observados (línea negra) comparados con los obtenidos de modelos climáticos que incluyen forzamientos únicamente naturales (banda azul) o forzamientos naturales y de origen humano (banda rosa) para las escalas global (izquierda) y de Norteamérica (derecha). Tomada de la figura original número 22 en el Resumen Técnico del Cuarto Informe del IPCC, 2007 (descrita en Hegerl et al. 2007).

La atribución del cambio climático es clara para la escala de todo el planeta y para la escala de algunos continentes, tal y como se muestra en la figura 1. Sin embargo, conforme aumenta el nivel de detalle la atribución se vuelve más compleja, de manera que hasta ahora es prácticamente imposible determinar si una tormenta o un fenómeno

específico han ocurrido a causa del cambio climático. La atribución del cambio climático es posible en la escala global pero es tema de frontera en las escalas regional y local.

### **I.3. Cambios en los extremos del clima**

Es importante tener en cuenta que calentamiento global no implica calentamiento constante en absolutamente todos los rincones del planeta, sino más bien, alteraciones en la dinámica del sistema climático, que a su vez provocarán cambios en el ciclo hidrológico y en los procesos que mantienen el balance energético del planeta. Así, cambio climático implica cambios en la circulación general de la atmósfera, y por lo tanto, variaciones en los sistemas meteorológicos y en las formas dinámicas en las que el clima se manifiesta.

Dada la fuerte interdependencia entre el clima y las actividades humanas, cualquier cambio climático tendrá diversas implicaciones para la economía y la sociedad. Una de las mayores consecuencias es quizás, el aumento en la frecuencia de eventos meteorológicos extremos, anunciado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) a principios de esta década. Los cambios en la frecuencia de eventos meteorológicos extremos han empezado a ser demostrados en la literatura científica por algunos investigadores, incluyendo un panorama de éstos para el planeta en su conjunto (Alexander et al., 2006; Trenberth et al., 2007; IPCC, 2007) y para diversas regiones incluyendo Norteamérica (Peterson et al., 2008) y Centroamérica (Aguilar et al. 2005). Para la República Mexicana, algunos estudios han sido realizados como parte de los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (Vázquez et al., 2008) pero se necesita mayor investigación para tener diagnósticos en cada entidad federativa.

Los cambios en los eventos extremos serán algunos de los mayores efectos del cambio climático, aunque su impacto en diversas regiones y localidades del país es aún incierto. Si bien en la actualidad se cuenta con escenarios sobre el probable comportamiento condicional del clima hacia mediados y finales de siglo, los cambios observados en el clima del pasado reciente y del presente, también deben considerarse en las estrategias de adaptación. La figura 2 muestra el panorama de cambios en la frecuencia de noches frías y noches cálidas incluida en el IV Informe del IPCC, 2007. En la figura puede observarse que en las últimas décadas hay un cambio claro en la distribución con disminución de eventos fríos y aumento de eventos cálidos.

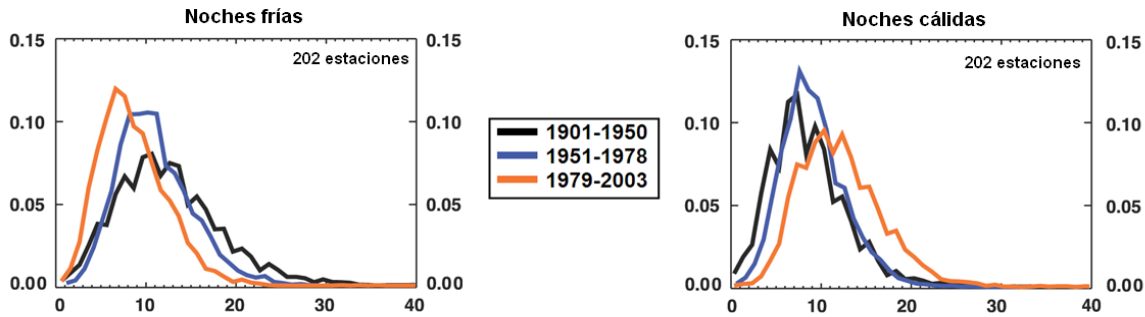


Figura 2. Cambios observados en las funciones de distribución de probabilidad anual de noches frías (izquierda) y noches cálidas (derecha) en 202 estaciones climatológicas del planeta, comparando tres períodos: 1901 a 1950 (línea negra), 1951 a 1978 (línea azul) y 1979 a 2003 (línea naranja). El eje horizontal representa el porcentaje de tiempo durante el año en que los indicadores estuvieron por debajo del percentil 10 (TN10p, izquierda) o por arriba del percentil 90 (TN90p, derecha). Tomada del IPCC AR 4, Fig. 3.38; original en Alexander et al., 2006.

Los eventos extremos son ocasionados por una extensa combinación de factores y también ocurren como parte del clima normal, es decir, incluso en un clima sin cambios en su variabilidad hay un cierto número de eventos extremos. Es por ello que la atribución de un extremo en particular es muy difícil de determinar. La detección de los cambios en los extremos y el monitoreo de éstos es un tema relevante tanto en un clima normal como en condiciones de cambio climático.

A diferencia de los extremos climáticos, que ocurren en períodos de tiempo relativamente largos como en el caso de las sequías, la mayoría de los eventos meteorológicos extremos ocurren en la escala de unos cuantos días y están asociados a sistemas atmosféricos en su mayoría regionales. La detección de cambios en los extremos meteorológicos desde un punto de vista climatológico requiere de observaciones en la escala temporal diaria.

No existe una definición única para los eventos extremos, pero puede decirse que son los eventos registrados en el comportamiento de una variable dada, que tienen baja probabilidad de ocurrencia y cuyo valor observado en dicha variable excede un umbral especificado.

Diversos grupos de investigación han propuesto diversas definiciones para los eventos extremos. Por ejemplo, para la identificación de extremos de precipitación calculados a partir de datos diarios, Nicholls y Murray (1999) sugieren al menos tres índices: a) la frecuencia de días que exceden los percentiles 90, 95 y 99, calculando los percentiles

únicamente con los días con lluvia; b) el 'índice simple de intensidad de lluvia' calculado dividiendo la lluvia total por el número de días con lluvia y c) el porcentaje de la lluvia en un periodo (año, estación, etc.) que ocurre en los días con lluvia por arriba de los percentiles 90, 95 y 99. No obstante que muchas definiciones de evento extremo son posibles, el uso de una base teórica común para definir los eventos extremos permite su estudio sistemático.

Por lo tanto, el Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI por sus siglas en inglés) coordinado por la Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial (CCI/OMM), el proyecto sobre Predecibilidad y Variabilidad Climática (CLIVAR), y la Comisión Técnica de Oceanografía y Meteorología Marítima (JCOMM), ha formulado 27 índices para detectar las modificaciones en el comportamiento de los extremos del clima. Este conjunto de índices permite que su cálculo sea realizado de la misma manera internacionalmente, a fin de integrar los índices de diferentes regiones (Karl et al, 1999; Peterson 2005).

Es requisito para el cálculo de los índices de cambio climático que las observaciones del clima a partir de las cuales se calculen los índices sean las mejores posibles. Esto implica que los datos diarios hayan sido sujetos a un estricto control de calidad y análisis de homogeneidad (Aguilar et al 2003), aspectos de gran importancia en los datos instrumentales del clima para el estudio del cambio climático

#### **I.4. Datos instrumentales del clima**

La evidencia del cambio climático reciente ha sido documentada en varias componentes del sistema climático, tales como la atmósfera, el océano, los continentes y la cubierta de hielo y nieve (IPCC, 2007). Sin embargo, una de las evidencias más claras ha sido documentada a partir de los datos instrumentales del clima, específicamente de las observaciones de temperatura (Figura 3). La compilación y análisis del registro global de temperatura han requerido de la cuidadosa recolección y procesamiento científico de datos termométricos en puntos de observación representativos de todo el planeta.

La construcción de series climáticas para la escala de un hemisferio o de todo el globo es una tarea científica compleja, ya que implica el manejo adecuado de las incertidumbres

asociadas a las mediciones instrumentales y la correcta agregación de las series de estaciones individuales en la serie del área a representar (Jones y Briffa, 1992; Jones et al., 1997; Jones y Moberg, 2003).

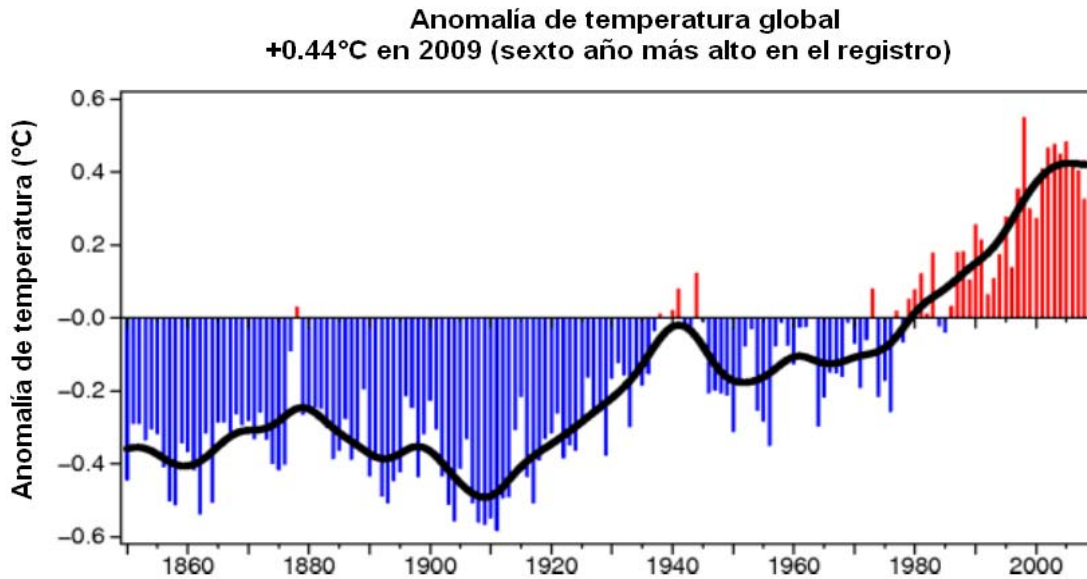


Figura 3. Registro global de temperatura compilado conjuntamente por la Climatic Research Unit de la Universidad de East Anglia y la Met Office del Reino Unido (Brohan et al., 2006). La gráfica muestra la anomalía de temperatura del planeta (1850-2009) con respecto a la media del período de referencia 1961-1990. El año 2009 es el sexto más alto en el registro excedido por 1998, 2005, 2003, 2002 y 2004. Disponible en <http://www.cru.uea.ac.uk>

Ante estas complejidades en el manejo de datos en series de tiempo, en ocasiones se ha optado por el desarrollo de datos en arreglos regulares mediante el uso de interpolaciones, sin embargo, este es un proceso aún más delicado, ya que el uso de dichas estimaciones implica discernir el tipo de análisis y aplicaciones para los que es adecuado usar datos en mallas regulares (New et al., 2000; Haylock et al., 2008).

El clima cambia en muchas escalas diferentes tanto en el espacio como en el tiempo. La detección del calentamiento global sólo es posible de efectuarse en grandes áreas geográficas como la de un hemisferio o un continente, de manera que la señal climática de gran escala no se vea enmascarada por los efectos asociados a la configuración fisiográfica local. El análisis de las variaciones climáticas en escalas espaciales pequeñas (por ejemplo en la escala de una entidad federativa) implica un mayor nivel de detalle en las observaciones, las cuales darán cuenta de procesos locales. Así, la señal de cambio

del clima en una localidad particular puede diferir de la señal planetaria y el comportamiento observado localmente no necesariamente será idéntico al del promedio de toda la Tierra. De allí la importancia de analizar los datos climáticos locales con el fin de comprender el posible impacto del calentamiento planetario en regiones específicas.

En México las observaciones instrumentales del clima se encuentran disponibles en varias bases de datos, aunque en la mayoría de ellas aún se requiere implementar un estricto proceso de control de calidad. El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) tiene la misión de administrar la base de datos nacional oficial del clima en México y es de carácter público. Específicamente, los datos de la red de estaciones climatológicas convencionales administrados en el sistema CLIma COMputarizado (CLICOM) son la fuente de información climática con las dos características requeridas para el estudio del clima en la escala de las entidades federativas: un periodo de registro largo (por lo menos cuatro o cinco décadas continuas) y cobertura geográfica suficientemente densa.

Otras redes de observación con diferente cobertura geográfica, número de estaciones y propósito específico son los observatorios sinópticos, la red de radiosondeo, las estaciones meteorológicas automáticas, y las redes de observación de otras instituciones. Estas observaciones son valiosas para el pronóstico del estado del tiempo o para la toma de decisiones en tiempo real, pero para el propósito de analizar el clima regional pueden tener la desventaja de un periodo de registro relativamente corto, o baja resolución en su cobertura geográfica, con lo que sólo satisfacen parcialmente los requisitos para el estudio del clima con un alto nivel de detalle. La consolidación de las bases de datos climáticas en México aún requiere la aplicación de procedimientos de control de calidad, análisis de homogeneidad por especialistas del clima y la implementación de metadatos.

Los avances tecnológicos en instrumentación meteorológica y medios de comunicación han facilitado en años recientes el uso de estaciones meteorológicas automáticas. Sin embargo, antes de implementar nuevas redes de observación debe tomarse en cuenta que en el estudio del cambio climático, la relevancia de los datos instrumentales se centra en la longitud de la serie de tiempo, el grado de homogeneidad de los registros existentes y el manejo adecuado de la incertidumbre inherente al proceso de medición (Brunet India y López Bonillo, 2001). Por lo tanto, conservar los puntos de medición con registros más antiguos y asegurar su continuidad reviste gran importancia.

Un análisis preliminar de los datos instrumentales de temperatura de la República Mexicana permite documentar un claro aumento de la temperatura promedio del país en los años recientes, el cual es consistente con el calentamiento global (figura 4).

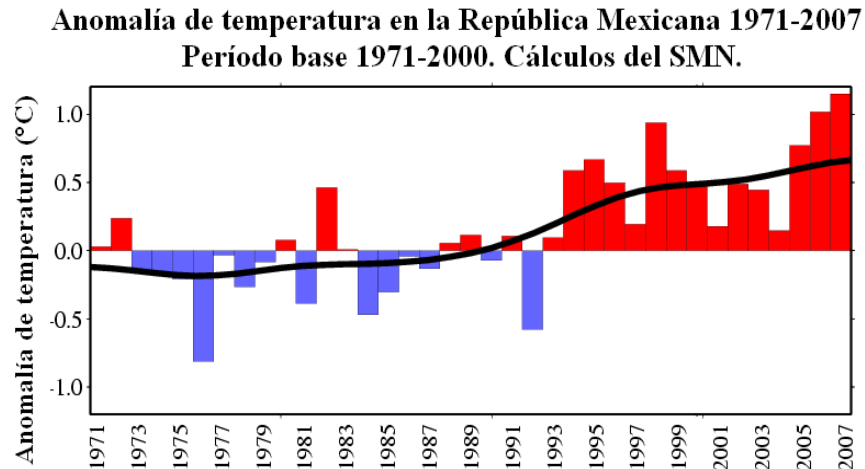


Figura 4. Anomalía de temperatura en la República Mexicana (1971-2002) con respecto a la media del período de referencia 1971-2000, con base en datos estatales del SMN.

Esta evidencia basada en los promedios de temperatura calculados por el Servicio Meteorológico Nacional a partir de observaciones instrumentales nos muestra que el clima mexicano se encuentra inmerso de manera consistente en los procesos de cambio climático identificados por la comunidad científica mundial y al mismo tiempo nos plantea el reto de incrementar nuestro entendimiento detallado sobre los cambios del clima en escalas más pequeñas (regiones, entidades federativas, localidades), ya que en éstas tienen lugar la mayor parte de las decisiones que impactan directamente la dinámica socioeconómica del país. Al respecto, la Guía para la elaboración de Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) coordinada por el INE, la Universidad Veracruzana (UV) y el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la UNAM, menciona con referencia a los estudios de cambio climático para las entidades federativas que: “...un estado, por su tamaño y su ubicación intermedia en los niveles de gobierno, hace más factible implementar medidas para mitigar la emisión de gases de efecto invernadero así como políticas exitosas para adaptarse al cambio climático” (INE, 2009).

## I.5. Mitigación y adaptación como respuestas al cambio climático

Es de interés común evitar llegar a niveles muy altos de riesgo ante el cambio climático y contar con capacidad de adaptación a los cambios del clima que ya están en curso. En palabras de Lenton et al. (2008), entender mejor las implicaciones del cambio climático es una herramienta necesaria para “evitar lo inmanejable y manejar lo inevitable”.

Las variaciones normales del clima impactan positiva o negativamente en la naturaleza y los sectores socioeconómicos. En un clima cambiante, el grado de exposición de los sistemas a las variaciones modificadas del clima puede incrementar significativamente la vulnerabilidad y los niveles de riesgo del presente. La gestión de riesgos relacionados con el clima requiere de enfoques transversales entre ciencias naturales y sociales, y es interdisciplinaria (Mileti, 1999). Al implementarla, tanto científicos como diseñadores de políticas enfrentan retos complejos para incluir las aportaciones provenientes de diversas disciplinas, sectores y capacidades en un proceso de aprendizaje que no es inmediato. Un caso relacionado de particular interés en México ha sido el desarrollo de Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (INE, 2009).

El hecho de que la mayor parte del calentamiento observado en la última mitad de siglo sea atribuible al aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, ha dado lugar al surgimiento de la Convención Marco de las Naciones Unidas ante el Cambio Climático (CMNUCC), la adopción (1997) y entrada en vigor (2005) del Protocolo de Kioto y las reuniones anuales de los miembros de la CMNUCC denominadas ‘Conferencias de las Partes’ (e.g. COP15, Copenhague 2009; COP16, Cancún 2010). Todo esto con el objetivo de establecer compromisos internacionales de cooperación en mitigación de las emisiones de origen humano de los gases de efecto invernadero y de implementar estrategias de adaptación a los impactos del cambio climático, ya que mientras la mitigación es imprescindible para evitar llegar a niveles catastróficos de riesgo relacionados con el cambio climático (Schellnuber et al., 2006), la adaptación a los cambios del clima que son ya inevitables es necesaria de instrumentar en el corto plazo (Adger et al., 2009). La implementación exitosa de estrategias de adaptación depende fuertemente del entendimiento del cambio climático y de sus implicaciones en las diversas regiones donde habitamos. Un elemento clave para la detección precisa y oportuna de los cambios en el clima regional es el estudio minucioso del clima observado.

## **II. CÁLCULO DE ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO**



## II.1. Los índices de cambio climático (del ETCCDI)

El Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI) formado conjuntamente por la OMM, el proyecto de variabilidad climática (CLIVAR) y la Comisión Conjunta de Oceanografía y Meteorología Marítima (JCOMM), ha propuesto un conjunto de índices de cambio climático útiles en la detección y el monitoreo de cambios en los extremos del clima (Karl et al. 1999; Peterson, 2005). Los índices son calculados a partir de las series de datos observados de temperatura y precipitación. Los índices de puntos de observación individuales pueden ser posteriormente agregados en series regionales representativas del área geográfica analizada. Los índices del ETCCDI proveen una base teórica común de modo que pueden ser calculados consistentemente en diferentes regiones del planeta para luego comparar o integrar los resultados de diversas regiones. La Tabla I muestra en orden alfabético un resumen de los índices del ETCCDI y su descripción.

Tabla I. Resumen de los 27 índices básicos de cambio climático del ETCCDI

Índice	Descripción del índice	Índice	Descripción del índice
CDD	Días secos consecutivos	RX5day	Precipitación máxima en 5 días
CSDI	Duración de los períodos fríos	SDII	Índice simple de intensidad diaria
CWD	Días húmedos consecutivos	SU	Días de verano
DTR	Rango diario de temperatura	TN10p	Noches frías
FD	Días con helada	TN90p	Noches cálidas
GSL	Estación de crecimiento	TNn	Temperatura mínima extrema
ID	Días con hielo	TNx	Temperatura mínima más alta
PRCPTOT	Precipitación total anual	TR	Noches tropicales
R10mm	Días con lluvia mayor a 10 mm	TX10p	Días frescos
R20mm	Días con lluvia mayor a 20 mm	TX90p	Días calurosos
R95p	Días muy húmedos	TXn	Temperatura máxima más baja
R99p	Días extremadamente húmedos	TXx	Temperatura máxima extrema
Rnnmm	Días con lluvia mayor a nn	WSDI	Duración de los períodos cálidos
RX1day	Precipitación máxima en 1 día		

La definición formal, el significado de los acrónimos utilizados y las unidades en las que se expresan los 27 índices se encuentran en el Apéndice I de esta guía con base en lo documentado por Zhang y Yang (2003). La Universidad de Victoria (Canadá) mantiene un

sitio electrónico bajo auspicios del ETCCDI, a cargo de la División de Investigación del Clima de Environment Canada, con información actualizada sobre los índices en <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/> . Por otro lado, los términos de referencia, las actividades recientes y novedades sobre el ETCCDI pueden consultarse en la dirección de Internet siguiente: <http://www.clivar.org/organization/etccdi/etccdi.php> .

## II.2. Los talleres de índices del ETCCDI

El Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI) ha venido impulsando a escala global el cálculo de índices de cambio climático a partir de datos diarios. El uso sistemático de dichos índices ha permitido mejorar el diagnóstico global de los cambios en extremos de temperatura y precipitación (Alexander et al., 2006) contribuyendo al reporte de evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Trenberth et al., 2007). El ETCCDI ha desarrollado y puesto a disponibilidad de la comunidad internacional herramientas de software (e.g. RCLimindex, RHtests, FCLimindex, etc.) y documentación con el fin de facilitar el cálculo de los índices de cambio climático (disponibles en el sitio electrónico del ETCCDI).

Como parte de su misión para fomentar en la comunidad internacional el entendimiento de la variabilidad climática y la detección de cambios en el clima, este grupo ha diseñado un modelo para llevar a cabo talleres de detección e índices de cambio climático (Peterson y Manton, 2008). Este modelo sirvió de base para el diseño y ejecución del Primer Taller de Detección e Índices de Cambio Climático en la República Mexicana efectuado en la ciudad de Puebla, Pue., en marzo de 2009<sup>2</sup>. Este taller fue parte de las actividades recientes en las que el Instituto Nacional de Ecología, con el apoyo logístico de la Universidad Iberoamericana Puebla y con financiamiento de la Embajada Británica en México, incursionó para fortalecer las capacidades en detección e índices de cambio climático en el país. Miembros del ETCCDI participaron en el taller, en el que personal técnico adscrito a instituciones académicas y gubernamentales trabajó directamente con

---

<sup>2</sup> Alguna información sobre el Primer Taller de Detección e Índices de Cambio Climático en la República Mexicana ha sido reportada en el sitio del ETCCDI: <http://www.clivar.org/organization/etccdi/workshops.php> y el INE mantiene el sitio del taller en <http://zimbra.ine.gob.mx/tallerIndices>, accesible también desde <http://cambioclimatico.iberopuebla.edu.mx> .

datos climáticos diarios proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional y accedió a materiales sobre el clima global y nacional, los métodos y software del ETCCDI.

Lo anterior sin embargo, sólo ha marcado el inicio de una estrategia de generación y aprovechamiento de los índices de cambio climático que requiere continuarse en la escala regional, utilizando las mejores series de tiempo de temperatura y precipitación diaria que se encuentren disponibles y actualizadas.

### II.3. Procedimiento para calcular los índices de cambio climático

El cálculo de los índices de cambio climático consta de varios pasos dependientes entre sí, como se ilustra en la figura 5.

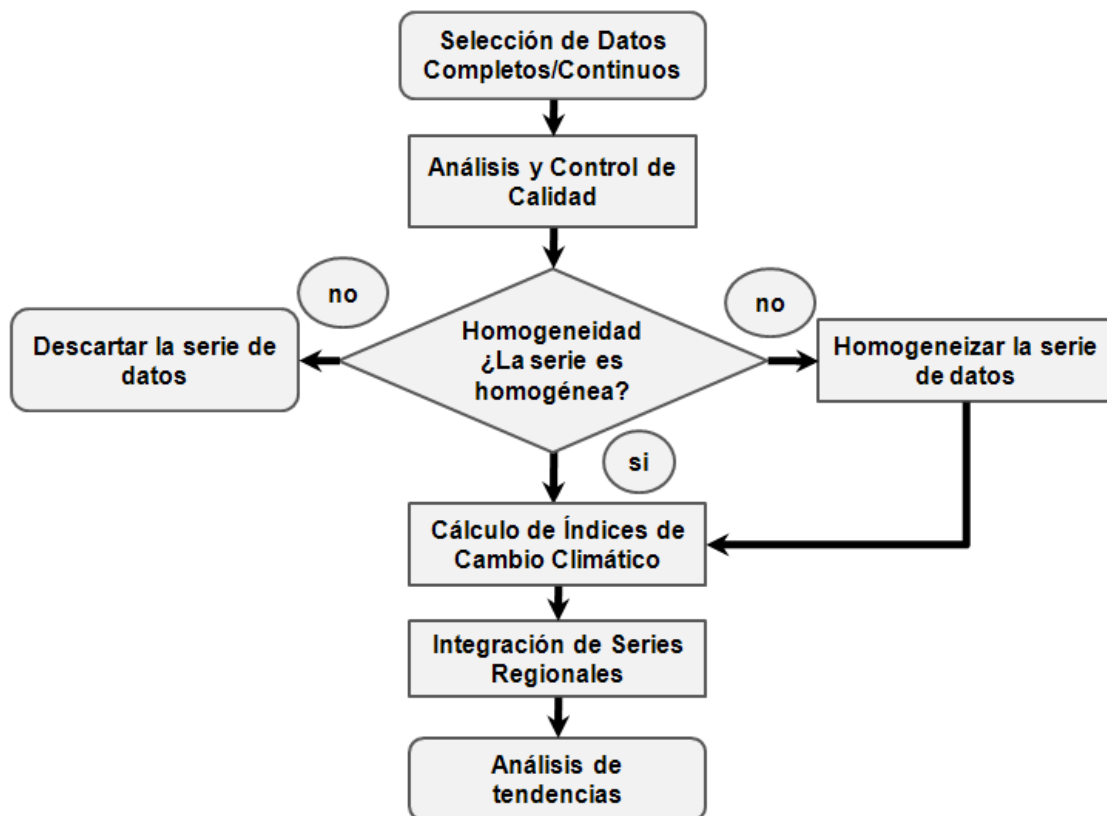


Figura 5. Pasos para el cálculo y análisis de los índices de cambio climático

El procedimiento tiene las siguientes componentes: primeramente se requiere seleccionar los datos diarios (de lluvia, temperatura máxima y temperatura mínima) a partir de los cuales serán calculados los índices, de manera que sólo las series de observaciones más completas, continuas y libres de errores sean analizadas; una vez que se ha seleccionado un conjunto de datos adecuado para el análisis, se requiere que éste sea sometido a un minucioso procedimiento de control de calidad, sometiendo valores poco comunes a procedimientos estadísticos de verificación y de escrutinio experto con base en conocimientos de la climatología física de cada región; una vez que los datos han pasado el proceso de control de calidad, éstos deben ser sujetos a una prueba y análisis de homogeneidad, dejando para el análisis sólo las series de datos razonablemente homogéneas (es decir, que contienen información únicamente debida a las variaciones del clima y están libres de alteraciones en las mediciones a causa de cambios en la ubicación de la estación, cambios de instrumentos o cambios en el entorno); las series homogéneas son entonces utilizadas para calcular los índices de cambio climático de cada estación individual; para posteriormente integrar la serie regional de la zona de estudio y analizar las tendencias. A continuación se discute cada una de estas etapas.

#### **II.4. Selección de datos**

Los análisis de cambios en extremos y el cálculo exitoso de los índices de cambio climático dependen de la disponibilidad y calidad de los datos climáticos en la región de interés. Los datos climáticos son los registros de las condiciones climáticas observadas, medidas en localidades y momentos específicos con algún instrumento (e.g. termómetros, pluviómetros, barómetros), bajo un conjunto de procedimientos estándares. Una base de datos climática debe contener información sobre las variables del clima en los sitios de observación y también información sobre otros factores (ambiente de la estación de observación, características de los instrumentos, procedimientos de registro y cualquier cambio relacionado).

La selección de datos climáticos es necesaria como requisito previo al cálculo de los índices debido que las series de tiempo de los datos instrumentales del clima no son perfectas y pueden contener registros en los que las mediciones no se reportaron, comúnmente denominados “datos faltantes”. Al respecto, cabe mencionar que varias técnicas de análisis requieren que las series de datos estén completas, por lo que en

algunos casos, los usuarios de los datos intentan ‘rellenar’ los faltantes. Contrariamente a resultar favorable, el relleno de los datos aumenta la incertidumbre de los análisis, pues al rellenar los valores puntuales en las series se crea artificialmente un comportamiento del clima que en realidad nunca sucedió. En el caso de los índices de cambio climático será requisito seleccionar las series más completas y continuas; permitiéndose que las series seleccionadas tengan un número muy pequeño de datos faltantes. Evidentemente, no todas las observaciones disponibles serán aptas para usarse en el cálculo de los índices de cambio climático, generalmente, el número de datos adecuados se reduce a un pequeño subconjunto del total disponible.

En años recientes, la infraestructura de observación y monitoreo del sistema climático en el mundo se ha visto beneficiada por el progreso en telecomunicaciones, automatización y modernización de los instrumentos de medición. Tales desarrollos tecnológicos han resultado en propuestas para implementar nuevas redes de observación por parte de los sectores con interés en el clima, sin embargo, para la detección del cambio climático, los aspectos más relevantes de los datos instrumentales son la longitud y continuidad de los registros, la homogeneidad de los datos a través del tiempo y el manejo adecuado de la incertidumbre inherente a los procesos de medición (Brunet y López, 2001).

En lo concerniente a la cobertura geográfica de las mediciones, uno de los requisitos más importantes para la selección de estaciones es que la distribución espacial de los puntos de observación sea uniforme y suficientemente densa, de modo que el clima de la región de interés se “capture” con la mayor precisión posible (Daly, 2006). En consecuencia, para fines de monitoreo del cambio climático, conservar los puntos de medición con registros más antiguos y asegurar su continuidad reviste gran importancia. El rescate de datos instrumentales y el mantenimiento de las redes de medición son tareas que deben ser permanentes y consideradas prioritarias para el entendimiento del clima regional.

El Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua tiene la misión de resguardar y mantener las observaciones del estado del tiempo y del clima en México. Las estaciones de observación atmosférica con registros de mayor longitud son probablemente los observatorios meteorológicos sinópticos, aunque su cobertura espacial es relativamente baja en densidad. Otra importante red de observación en el país es la red de estaciones convencionales de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la que

con densidad geográfica mayor que la red de observatorios, es probablemente, la más adecuada para estudiar los cambios del clima en la escala de las entidades federativas; esta red cuenta con información en la mayor parte de sus estaciones durante al menos las últimas cinco décadas.

Aunque en la red de estaciones climatológicas convencionales se ha observado una fuerte reducción en el número de estaciones en operación en los años recientes, se considera factible utilizar estos datos instrumentales para realizar estudios de detección de los cambios en el clima regional, salvo en los casos en que localidades específicas no cuenten con suficientes observaciones disponibles. Esto no omite que la necesidad de mejorar los sistemas de monitoreo y observación del clima a través de mayores apoyos en todos los niveles de gobierno y en los sectores beneficiados siga vigente.

Con el fin de facilitar y optimizar el cálculo de los índices de cambio climático, es recomendable que las estaciones seleccionadas para ser analizadas cumplan los siguientes requisitos:

- Las estaciones seleccionadas deben cubrir la mayor parte de la región de interés.
- La distribución geográfica de las estaciones debe estar espacialmente equilibrada (evitar tener muchas estaciones en una parte de la región y muy pocas en otra).
- Las estaciones seleccionadas deben tener el mayor número posible de años con datos completos (observados únicamente, sin estimaciones ni interpolaciones).
- Las estaciones deben seleccionarse para un periodo de tiempo común en el que el porcentaje de datos existentes sea lo más grande posible.

Estas características deben verificarse en cada una de las variables necesarias para calcular los índices: precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, ya que el número de datos disponibles puede cambiar de una variable a otra.

Los avances en informática y telecomunicaciones han posibilitado que el intercambio de información sea eficiente y seguro en medios electrónicos, incluso a bajo costo, mediante el uso de software libre. Algunos centros internacionales dedicados al estudio del clima mantienen en Internet repositorios de datos climáticos, como es el caso del Instituto Internacional para el Clima y la Sociedad (IRI) (<http://iri.columbia.edu>) o el Centro Nacional de Datos Climáticos de los Estados Unidos (<http://www.ncdc.noaa.gov>). En

México, el INE, con el propósito de acelerar las mejoras en el monitoreo del clima en la escala nacional, solicitó al SMN autorización para utilizar la base de datos climatológica nacional del Sistema CLICOM, en los estudios de Detección e Índices de Cambio Climático y desarrolló un sistema de acceso en línea a los datos de temperatura y precipitación del país, el cual facilita la selección de éstos para el cálculo de índices de cambio climático. Esta herramienta se ha hecho disponible en el servidor de Internet del INE con fines de investigación y ha sido la fuente de información climatológica para los participantes del “Taller de Detección e Índices de Cambio Climático en la República Mexicana”. El uso de esta herramienta es gratuito, pero se ofrece tal cual, sin ninguna garantía<sup>3</sup>. La selección de datos para su uso en el cálculo de índices de cambio climático basada en la herramienta de software mencionada se describe en el Apéndice II de esta guía.

En caso de requerir datos climáticos oficiales con fines legales, éstos deben ser solicitados por escrito al Servicio Meteorológico Nacional, institución que dará respuesta en los términos pertinentes.

## II.5. Análisis y control de calidad

Un segundo problema adicional al de los datos faltantes, consiste en que en los datos observados aparezcan valores extraños que excedan o disminuyan exageradamente el rango de variación habitual de la variable que se quiere analizar (figura 6). Estos valores poco comunes, etiquetados como sujetos de verificación, pueden ser errores en la serie de datos (de origen humano, errores realizados durante la digitación de los datos, como cuando se ha digitado 350 en vez de 35.0; errores sistemáticos por mala calibración o reemplazo de los instrumentos de medición; o debidos a algún cambio de ubicación de la estación de observación; cambio del personal que realiza las observaciones, etc.) aunque en algunos casos pueden ser registros reales de situaciones poco probables, es decir, de eventos extremos. Los casos más frecuentes de valores extraordinarios en las variables

---

<sup>3</sup> El hecho de ofrecer la herramienta en línea "tal cual" implica que el INE la ha desarrollado como una herramienta pública con el fin de contribuir a la investigación en cambio climático, pero que no puede aceptar responsabilidades por su uso final, ni tampoco puede garantizar soporte técnico, mantenimiento o responder por potenciales inconvenientes de carácter técnico.

climáticas que corresponden a reportes de eventos extremos que realmente sucedieron, son casi siempre -aunque son los únicos-, casos de fuertes descensos de temperatura relacionados con el paso de frentes fríos o a valores altísimos de precipitación relacionados con la incidencia de ciclones tropicales. Sólo un análisis minucioso de cada situación puede determinar si se trata de un evento extremo o de un error en los datos.

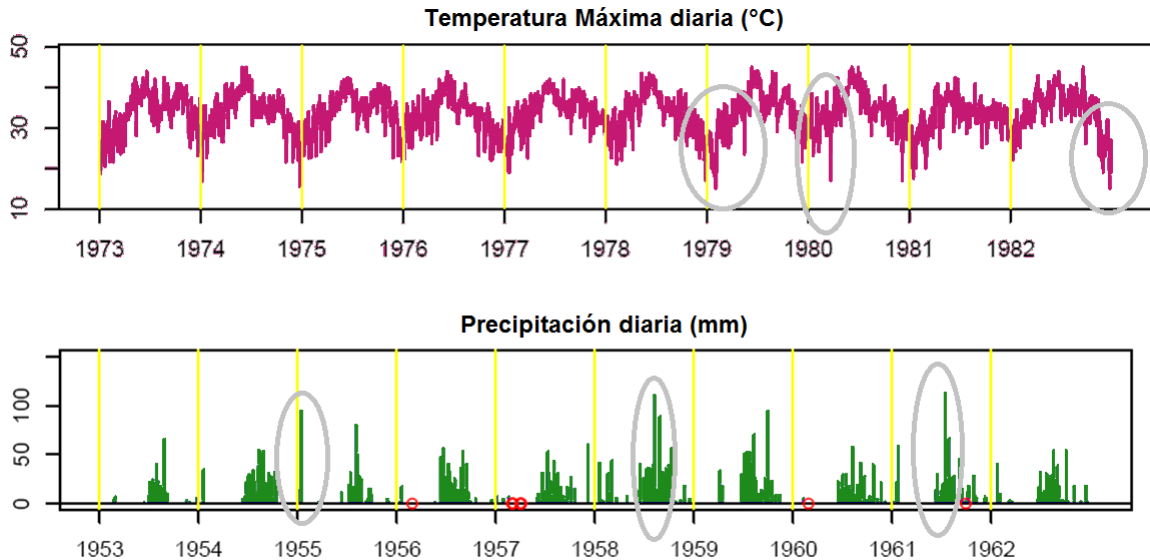


Figura 6. Ejemplo de datos diarios de temperatura máxima y precipitación. En círculos se indican algunos valores en la serie que requieren verificación.

La experiencia en el análisis de extremos en México ha mostrado que para la aceptación o rechazo de valores como parte del proceso de control de calidad, algunos criterios de validación simples como las comparaciones con la media de largo plazo no son suficientes, sino que se requiere de criterios estadísticos más robustos, análisis en el contexto del entorno físico y de la situación sinóptica, e incluso del conocimiento de expertos locales.

En la literatura puede encontrarse evidencia de métodos complejos de control de calidad de datos meteorológicos (e.g. Gandin, 1988), desde los que se basan en el uso de percentiles y análisis de funciones de densidad de probabilidad hasta los que incorporan técnicas multivariadas y multidimensionales, o incluso los que incorporan mediciones de radar y satélite meteorológicos para validar la ocurrencia de eventos extremos.

Sin embargo, un control de calidad tan especializado no se abordará en este documento, en su lugar, enseguida se describe un método de identificación de valores poco comunes relativamente simple basado en estadísticas descriptivas y en razonamiento físico. Este enfoque ha sido propuesto en varios de los talleres del ETCCDI para identificar los valores a verificar, y consiste en utilizar umbrales estadísticos (típicamente  $\pm 4$  desviaciones estándar para la temperatura), realizar una inspección visual de las gráficas de temperatura y precipitación y recurrir a expertos locales para, mediante análisis de tipo lógico, histórico, meteorológico y climatológico, determinar si el valor sospechoso es un dato aberrante o un extremo factible de haber ocurrido.

El proceso de control de calidad lleva a las siguientes preguntas: ¿los datos poco comunes son registros de eventos que realmente sucedieron –como en el caso de descensos de temperatura muy fuertes o de valores altísimos de precipitación-? ¿los datos en verificación pueden ser eliminados, reemplazados, o deben dejarse tal y como están? ¿qué impacto tiene en los análisis utilizar la base de datos tal cual sin realizar el proceso de control de calidad? ¿es la precisión requerida en el control de calidad dependiente del uso que se vaya a dar a los datos? Todas estas consideraciones se vuelven especialmente delicadas cuando las investigaciones en las que se utilizarán los datos tienen como objetivo detectar tendencias o cambio climático.

Algunas recomendaciones para el control de calidad son:

- Verificar los errores lógicos (que la temperatura máxima no sea menor que la mínima, que no existan valores de lluvia menores que cero).
- Verificar la base de datos vs. los registros originales en papel o en el registro del instrumento.
- Marcar como datos por verificar los valores que exceden un límite predeterminado y verificarlos (es común la práctica de utilizar el límite de  $\pm 4$  desviaciones estándar para el caso de la temperatura).
- Realizar una cuidadosa inspección visual de las gráficas de la serie de tiempo.
- En el caso de valores extremos, recurrir a fuentes de información alternas para ver si existe evidencia física que justifique los datos (paso de frentes, impacto de ciclones tropicales o situaciones meteorológicas sinópticas específicas).

- Analizar los datos poco comunes de una fecha en particular en el contexto de las observaciones en fechas adyacentes.
- Comparar las observaciones de la estación con valores en verificación con las observaciones de otras estaciones cercanas en las mismas fechas.
- Consultar información contextual sobre aspectos conocidos de la variabilidad climática regional, tales como las normales climatológicas, anomalías históricas, impactos documentados de El Niño o de otros fenómenos, etc.

El software RClimdex del ETCCDI ofrece algunas ventajas como auxiliar en el proceso de control de calidad de las series de datos climáticos, ya que permite identificar los valores de temperatura que exceden un umbral de  $\pm x$  desviaciones estándar y genera automáticamente gráficas de las series de temperatura y precipitación de manera que los datos puedan inspeccionarse mediante análisis visual. La instalación del lenguaje R y del programa RClimdex se describe en el Apéndice III de esta guía y una visión general y referencias sobre el uso de RClimdex como auxiliar en el control de calidad se provee en el Apéndice IV.

## II.6. Evaluación de homogeneidad y uso de metadatos

Una vez que se ha realizado análisis y control de calidad minuciosos en la serie de datos climáticos y que los valores poco comunes han sido verificados o descartados, puede procederse a probar la homogeneidad de la serie de tiempo. La homogeneidad de los datos climáticos a través del tiempo incide directamente en la posibilidad o no de calcular y analizar tendencias (Peterson et al., 1998; Groisman et al., 2005). Este aspecto es de especial relevancia al realizar estudios de cambio climático. Varias pruebas de homogeneidad han sido desarrolladas y están disponibles en la literatura científica (e.g. Alexandersson y Moberg, 1997; Vincent, 2002; Wang, 2003) y la Organización Meteorológica Mundial ha publicado guías para realizar estudios de homogeneidad de los datos climáticos (Aguilar et al., 2003; Brunet et al., 2008). Hasta ahora, la mayoría de los análisis de homogeneidad se realizan en la escala mensual (Peterson et al., 1998) y sólo algunos estudios han sido desarrollados en la escala diaria (Vincent et al., 2002). Mientras que la red de cooperación científica y tecnológica sobre métodos de homogeneización

(HOME, <http://www.homogenisation.org/> ) mantiene un registro actualizado de los avances en el tema de la homogeneización de datos climáticos, el software del ETCCDI RHtest (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/software.shtml>) permite realizar un diagnóstico de homogeneidad de manera accesible con base en pruebas estadísticas específicas (Wang et al. 2007; Wang, 2008a; Wang, 2008b). Una breve descripción del uso de RHtest para evaluar la homogeneidad de las series se encuentra en el Apéndice V.

Las pruebas para demostrar que una serie de tiempo de una variable climática es razonablemente homogénea tienen por objeto el garantizar que las variaciones contenidas en las observaciones correspondan únicamente a los procesos climáticos (Peterson et al., 1998) y no a otros factores “artificiales”. Para ilustrar lo anterior, a continuación se incluyen algunos ejemplos documentados en el sitio electrónico del ETCCDI: Como primer ejemplo, considérese una estación de observación que se mueve desde su ubicación en lo alto de una colina hasta un valle 300 metros más bajo en altitud: el análisis de sus datos de temperatura probablemente mostrará un calentamiento abrupto en sus registros posteriores a la reubicación de la estación; este cambio en el rango de valores de temperatura sería por lo tanto artificial y no sería representativo de un cambio real de temperatura en la región. Otro ejemplo se tiene al considerar una estación que se encuentra localizada en el jardín de un observador concienzudo y competente durante 50 años: supóngase que un árbol fue plantado al oeste de dicho jardín al momento en que la estación fue instalada. Los instrumentos se mantienen en buenas condiciones y el observador registra con precisión la temperatura medida en la estación. El árbol crece lentamente y da sombra al sitio de observación al final del mediodía, cuando se observa la temperatura máxima diaria. Como resultado, con el paso de los años y el crecimiento del árbol, la temperatura máxima diaria registrada en la estación será gradualmente menor que la temperatura real en los alrededores no sombreados por el árbol; de este modo la estación irá siendo paulatinamente menos representativa de la región circundante. En tales casos es fundamental desechar de los datos los factores no climáticos antes de analizarlos, es decir es necesario homogeneizar la información.

La homogeneización de los datos climáticos es una tarea altamente especializada y es recomendable que sean los expertos en homogeneidad quienes la realicen, en todo caso, asistidos por expertos climatólogos de la región a analizar.

Si no se tiene contemplado realizar una homogeneización completa de las series de datos climáticos debido a la complejidad de dicha tarea, entonces en los cálculos de índices de

cambio climático deben utilizarse únicamente aquellas estaciones cuya evaluación de homogeneidad indique que no tienen periodos no homogéneos importantes durante su periodo de registro, es decir, que no se observen saltos abruptos o puntos de cambio significativos en la variabilidad de la serie de tiempo (e.g. Figura 7).

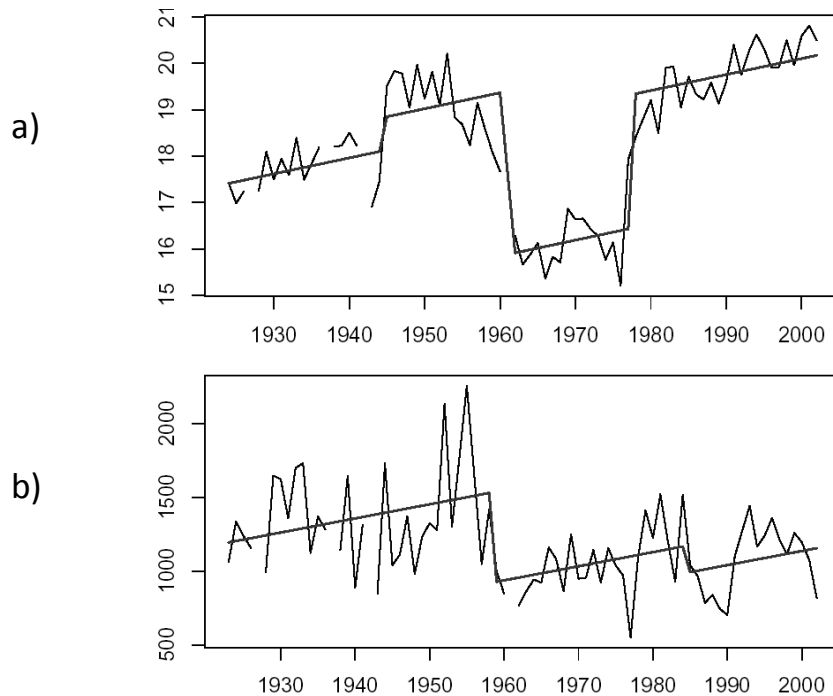


Figura 7. Serie de tiempo de a) temperatura máxima y b) precipitación en las que se aprecia la ocurrencia de saltos o cambios abruptos en la variabilidad alrededor de 1960. La significancia de los puntos de cambio puede indicar que la serie es no homogénea.

En el análisis de homogeneidad, resulta útil contar con metadatos sobre la estación de observación. Los metadatos proveen "información sobre la información" o "datos sobre los datos". En ellos se describen entre otros, el tipo de instrumentos, las condiciones de medición y cualquier cambio que ocurra en el entorno, la ubicación u otros aspectos relacionados con el proceso de observación (Aguilar et al, 2003). Los metadatos son muy importantes al evaluar si una serie de datos es adecuada (Peterson y Owen, 2005).

Los metadatos son importantes en el proceso de control de calidad de las series climáticas y también en la evaluación de la homogeneidad de las series de tiempo. Si se cuenta con suficientes metadatos es más fácil determinar si una discontinuidad puede

deberse a cambios en la ubicación de la estación donde se realizan las mediciones, cambios en los instrumentos, etc. El mantenimiento de los metadatos garantiza en buena medida mayor confiabilidad de los datos. Aparentemente, en la República Mexicana no se cuenta con un agregado nacional de metadatos que documente los diversos cambios relacionados con ubicación de las estaciones, reemplazo o actualización de instrumentos, cambios de observador o cambios del entorno. La base de datos climatológica nacional contiene la ubicación geográfica de la estación (latitud, longitud y altitud) y las fechas inicial y final del período de medición, pero es posible que existan otros metadatos.

Por lo tanto, no se debe descartar la posibilidad de rescatar metadatos para las estaciones de observación que se desee analizar, ya que éstos puedan encontrarse a nivel estatal, regional o de estación. Es decir, es probable que las personas o las dependencias locales a cargo de las estaciones climatológicas, cuenten con registros sobre fechas en las que hubiera habido cambios de instrumentos, mantenimiento de la estación en general, cambios de ubicación, cambios del personal a cargo de las observaciones, etc. Por lo tanto, un paso importante en el proceso de evaluar la homogeneidad de las series climáticas de una región en particular, es acudir con las instituciones correspondientes y documentar tantos metadatos como sea posible.

Los metadatos pueden incluir documentación fotográfica periódica de las condiciones de los instrumentos de medición (figura 8) y el mantenimiento de bitácoras sobre los cambios en los instrumentos, el uso del suelo, la ubicación, entorno, etc.



Figura 8. Estaciones climatológica convencional 30158 en el estado de Veracruz. Foto cortesía de Agroasemex, S.A.

En ocasiones, el rescate de metadatos conlleva investigación documental. Por ejemplo, Torres (2008, comunicación personal,) encuentra que al leer la historia del origen y

evolución del Centro de Previsión del Golfo de México<sup>4</sup>, se pueden obtener algunos metadatos. La historia de este sitio de observación narra lo siguiente:

“...Hablar entonces de la historia del Centro de Previsión del Golfo de México es retroceder al año de 1790 cuando se fundó el Observatorio Meteorológico de Veracruz, el más antiguo en tierra firme del continente americano. Durante el periodo de 1790 a 1803, el capitán del puerto, don Bernardo de Orta, reunió una serie de datos que utilizó el barón Alejandro de Humboldt para efectuar un estudio del clima en la Nueva España y que constituyeron el registro de observaciones de antaño más largo que se ha encontrado en América. Cuando el espacio resultó insuficiente por la infraestructura con que se contaba, se buscó un lugar que se adaptara a las necesidades del momento, y a finales del año 1916, el observatorio pasó a ocupar tres torreones del ex-faro "Venustiano Carranza., ...de 1952 a 1974, se instaló en la Escuela Náutica Mercante "Fernando Siliceo"; posteriormente de 1974 a 1991 ocupó un lugar en el edificio de Servicios Portuarios y de 1992 a la fecha se encuentra ubicado en la Privada César Luna Bauza s/n en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río...”

De donde se desprende que en caso de haber saltos no homogéneos en la serie de tiempo de dicho observatorio y en caso de éstos ocurrir alrededor de los años 1803, 1916, 1952, 1974 y 1991, éstas podrían haber sido causadas por el cambio de ubicación de los instrumentos de medición y no por variaciones naturales del clima.

Para conocer más sobre las propiedades de los metadatos y su relación con la evaluación de homogeneidad, es recomendable obtener y consultar las guías sobre metadatos y homogeneidad (Aguilar et al 2003; Brunet et al., 2008) y las directrices para modificaciones en los programas de observación del clima publicadas por la Organización Meteorológica Mundial.

---

<sup>4</sup> Consultado en Internet en Agosto de 2008 [http://mx.geocities.com/cna\\_cpqm/](http://mx.geocities.com/cna_cpqm/)

## II.7. Cálculo de los índices

En el cálculo de los índices de cambio climático sólo deben utilizarse las series de datos que sean razonablemente homogéneas. Las series con discontinuidades que hayan sido evaluadas como no homogéneas deberán ser descartadas o bien, sometidas a un cuidadoso procedimiento de homogeneización antes de poder usarse para calcular índices de cambio climático.

Los índices del ETCCDI permiten obtener las señales de cambio climático regional, específicamente en lo referente a los extremos meteorológicos desde el punto de vista climático. Así, en el caso del estado de Veracruz se ha encontrado que la frecuencia de días calurosos ha ido en aumento en los últimos años (figura 9).

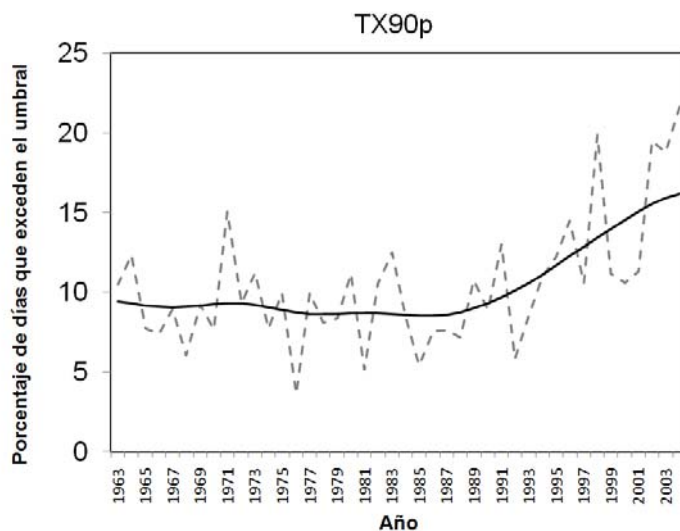


Figura 9. Índice de días calurosos (TX90p) en el estado de Veracruz 1963-2004.

El cálculo de los índices del ETCCDI es relativamente directo si se realiza con alguna de las herramientas de software diseñadas para el propósito (e.g. RClindex, FClindex, etc). Los pasos para utilizar RClindex en el cálculo de los índices se describen con detalle en el manual de RClindex (Zhang y Yang, 2004) el cual puede obtenerse del sitio del ETCCDI (donde una traducción en español por J. L. Santos también está disponible).

RClindex calcula los 27 índices básicos del ETCCDI, pero los usuarios pueden también calcular un subconjunto de índices de su elección. La secuencia de pasos descrita a continuación ilustra el procedimiento de cálculo de los índices con el software RClindex,

dando por hecho que previamente se realizó exitosamente el control de calidad y análisis de homogeneidad de los datos.

En los siguientes ejemplos se usan los datos contenidos en el archivo *seriedatos.txt*, se asume que el directorio de trabajo es llamado “*índicesCC*”, que el programa *rclimdex.r* ha sido descargado allí desde el sitio del ETCCDI y que se ha completado el procedimiento de control de calidad descrito en el Apéndice IV. Es importante notar que RClimdex calculará los índices de cambio climático a partir del archivo *seriedatosindcal.csv*, el cual se genera a partir de *seriedatos.txt* al correr el control de calidad desde el menú de RClimdex (Figura 10).

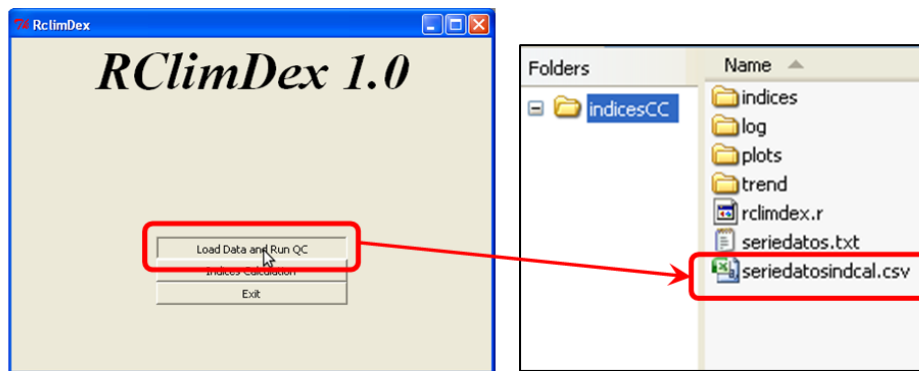


Figura 10. El archivo *seriedatosindcal.csv* a partir del que se calculan los índices es generado por Rclimdex al correr el control de calidad.

Por lo tanto, si ha realizado cambios asociados al control de calidad (Apéndice IV) en el archivo *seriedatos.txt*, antes de calcular los índices debe asegurarse de que RClimdex genere nuevamente el archivo *seriedatosindcal.csv* a partir de la versión de *seriedatos.txt* que contiene las correcciones a los datos (opción “Load Data and Run QC”, figura 11).

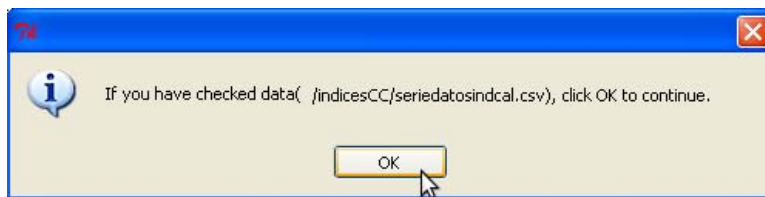


Figura 11. Notificación de que el archivo *seriedatosindcal.csv* debe estar actualizado.

En seguida, deberá indicarse a RClimdex que realice el cálculo de los índices (figura 12) para lo cual será necesario establecer los siguientes parámetros: año inicial y final del período de referencia a utilizar; latitud del punto de observación; umbral de lluvia definido

por el usuario para el índice Rnn; y umbrales superior e inferior de temperatura máxima y mínima para los índices SUn, FDn, TRn, IDn, donde “n” son los valores definidos por el usuario (figura 13).

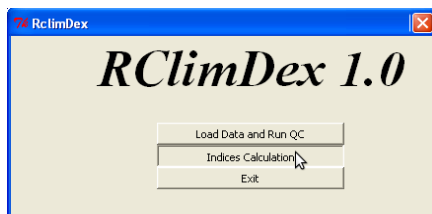


Figura 12. Cálculo de los índices.

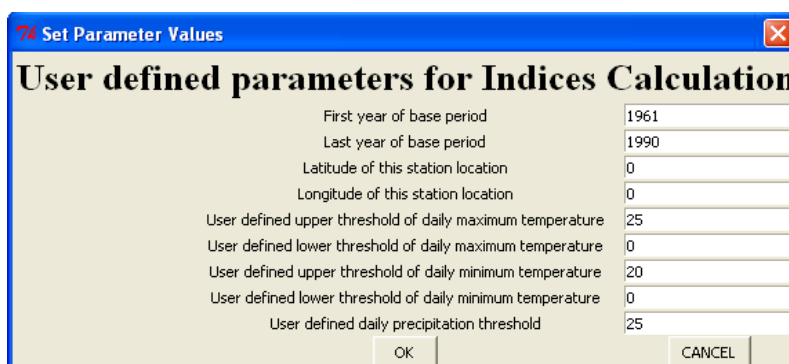


Figura 13. Especificación de parámetros definidos por el usuario.

Finalmente deberán seleccionarse los índices que se quieren calcular (figura 14). Automáticamente, todos los índices son calculados, por lo que sólo deberá indicarse si se desea omitir algunos. Dependiendo del número de índices seleccionados y de la capacidad del equipo de cómputo, este procedimiento puede llevar algunos minutos. Si los índices son calculados exitosamente el programa enviará una notificación (figura 15) en la que también se indica la ruta donde se han generado gráficas para cada índice calculado. Generalmente las gráficas se guardan en el subdirectorio *indicesCC\plots*, las series con los datos de los índices en *indicesCC\indices* y las tendencias en *indicesCC\trend*.

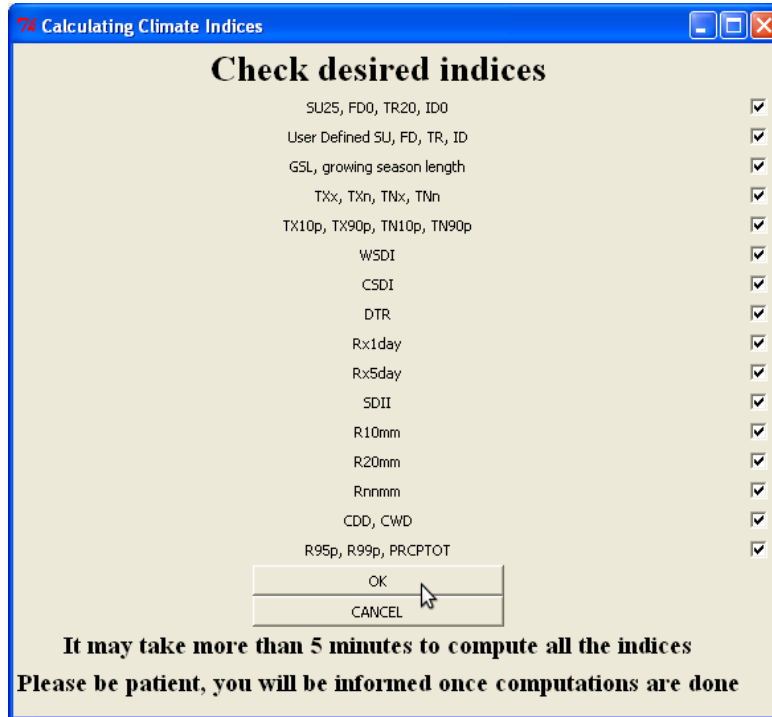


Fig. 14. Selección de los índices de cambio climático a calcular.

Una ventana aparecerá una vez que los índices seleccionados han sido calculados.

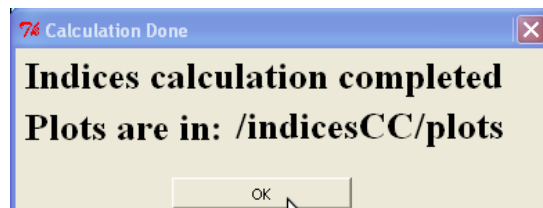


Fig. 15. Notificación de que el cálculo de los índices se ha realizado con éxito.

La figura 16 muestra un ejemplo del tipo de gráficas producidas por Rclimindex en formato .jpg, en este caso para el índice de días muy húmedos (R95p). La línea unida por pequeños círculos corresponde al índice anual de días muy húmedos, la línea recta continua es un ajuste de tendencia por mínimos cuadrados y la línea punteada un ajuste de regresión lineal localmente ponderada.

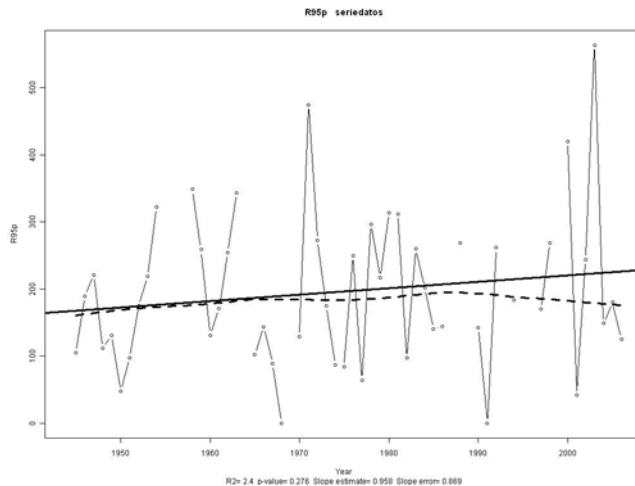


Figura 16. Ejemplo de la gráfica del índice de días muy húmedos (R95p) generada por Rclimindex. La gráfica incluye un ajuste de tendencia lineal y una ponderada (línea punteada).

El procedimiento de calcular los índices no es único. Nuevos datos implicarán visitar el control de calidad, reevaluar la homogeneidad, actualizar la serie de observaciones y actualizar el cálculo de los índices. El procedimiento puede repetirse tantas veces como sea necesario, hasta asegurar que los índices calculados son la mejor representación actualizada de los cambios del clima en la localidad de interés.

## II.8. Integración de series regionales

Los índices del ETCCDI son calculados a partir de las series de datos de estaciones de observación individuales y son por lo tanto representativos de la localidad geográfica donde dichas estaciones se encuentran. En ocasiones es deseable contar con información representativa de múltiples localidades o de áreas geográficas relativamente extensas, como puede ser el caso de una entidad federativa, para lo cual, los índices calculados para estaciones individuales requieren ser integrados en una serie regional. Lo anterior es posible de realizar siempre y cuando se tenga cuidado de que la distribución de los puntos de observación individuales estén regularmente distribuidos en el área que se desea representar en la serie regional. Una distribución desigual de los puntos de observación ocasionaría que la serie regional estuviera sesgada hacia las zonas con más puntos de observación y no sería representativa de las zonas con pocas o

nulas observaciones. En cambio, en un área en la que los puntos de observación están coherentemente distribuidos para cubrir la totalidad de la zona de estudio, una serie regional será representativa de toda la región.

Varios métodos para la construcción de series regionales y algunos ejemplos de su aplicación se encuentran en el trabajo de Jones y Hulme (1996). En general, las series regionales son mejores cuando para su cálculo se utilizan anomalías o anomalías estandarizadas en lugar de los valores simples de la variable en estudio.

## II.9. Análisis de tendencias

En series de tiempo de corta duración como en el caso de México es complicado llegar a conclusiones definitivas en el tema de las tendencias, sin embargo, para algunas aplicaciones puede resultar de utilidad conocer estas características del clima en años recientes. Rclimindex calcula tendencias lineales para el mismo período para el que los índices han sido calculados. Los resultados se almacenan en el subdirectorio *indicesCC\trend* en un archivo separado por comas (*seriedatos\_trend.csv*) que incluye año inicial, año final, índice del que se trate, pendiente, desviación estándar de la pendiente y valor p.

No debe olvidarse que el hecho de encontrar o no tendencias significativas, es solamente un indicador del comportamiento reciente de las variables climáticas, a lo cual debe sumarse el contexto de la física del clima en la región de estudio (Jones y Lister 2009). Téngase en cuenta que a mayor conocimiento de las variaciones locales del clima, mayor es también el potencial de construir e implementar capacidades adaptativas a la variabilidad y el cambio climático.

Una de las ventajas de las tendencias aquí descritas es que éstas habrán sido calculadas a partir de series de datos climáticos que han pasado por un control de calidad exhaustivo y que provienen únicamente de series homogéneas a través del tiempo. Ambos requisitos son indispensables para evaluar tendencias en cualquier período de tiempo.

Ajustar una línea de tendencia a los datos originales sin antes haber revisado su calidad, -como ha ocurrido en algunas casos en México-, es simplemente incorrecto.

### **III. INFORMACIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO, USOS Y DECISIONES**



### **III.1. El imperativo de la adaptación al cambio climático**

Ante la certeza de un calentamiento del sistema climático del planeta y la incertidumbre asociada a los detalles de su ocurrencia y mitigación surge el denominado “imperativo de la adaptación” (Zhang et al 2008). Este concepto alude a la necesidad de adaptarse a los cambios en el clima que inevitablemente ocurrirán durante los siguientes años a causa del tiempo de permanencia en la atmósfera de los gases de invernadero ya emitidos.

En un clima sin cambios, un reto permanente para la sociedad es el aprender cómo adaptarse a la variabilidad climática y minimizar el riesgo de desastres (Mileti, 1999). Este reto se acentúa cuando los rangos de variación normal del clima pueden ser alterados a causa de un cambio del sistema climático originado por forzamientos externos, como es el caso del cambio climático actual.

La necesidad imperativa que los sistemas sociales y económicos tienen de adaptarse a los cambios en el clima, ha dado lugar a marcos de acción interdisciplinarios en los que diversas componentes de información de origen climático y no climático son requeridas.

### **III.2. Apoyo a decisiones en el contexto del cambio climático**

Algunas experiencias en regiones del mundo en desarrollo han mostrado que cuando los avances recientes de la investigación en la ciencia del clima son aplicados como herramientas de apoyo en toma de decisiones y planificación, pueden obtenerse beneficios económicos y sociales a partir de la reducción de la vulnerabilidad ante la variabilidad climática (Tarhule and Lamb, 2003; Nicholls et al. 2008; Anderson et al., 2008). La factibilidad de construir capacidad adaptativa al clima del presente lleva a pensar que los sistemas sociales y económicos capaces de enfrentar la variabilidad climática ya conocida tienen mayores posibilidades de diseñar estrategias de adaptación ante el cambio climático.

Una visión integral que incorpora información del clima observado en el presente y sus proyecciones para el futuro, información de la vulnerabilidad de un sistema a las

variaciones del clima e información sobre las acciones de prevención y respuesta factibles de implementar, conlleva al fortalecimiento y mejora de las decisiones requeridas para responder adecuadamente a los impactos de la variabilidad y el cambio del clima.

Varios esfuerzos han empezado a realizarse para incorporar la información del tiempo y del clima en los procesos de decisiones. Un ejemplo de éstos es el derivado de un debate interdisciplinario entre especialistas de las ciencias atmosféricas, sociales y económicas, efectuado en el año 2006 en los Estados Unidos como parte del programa de Investigación y Aplicaciones Sociales y Económicas (SERA, por sus siglas en inglés) del Programa Mundial de Investigación Meteorológica de la OMM (Morss et al, 2008). Aunque este esquema involucra originalmente el uso de información meteorológica, por su origen interdisciplinario puede ser aplicado también en el contexto de la información del cambio climático (Figura 17).

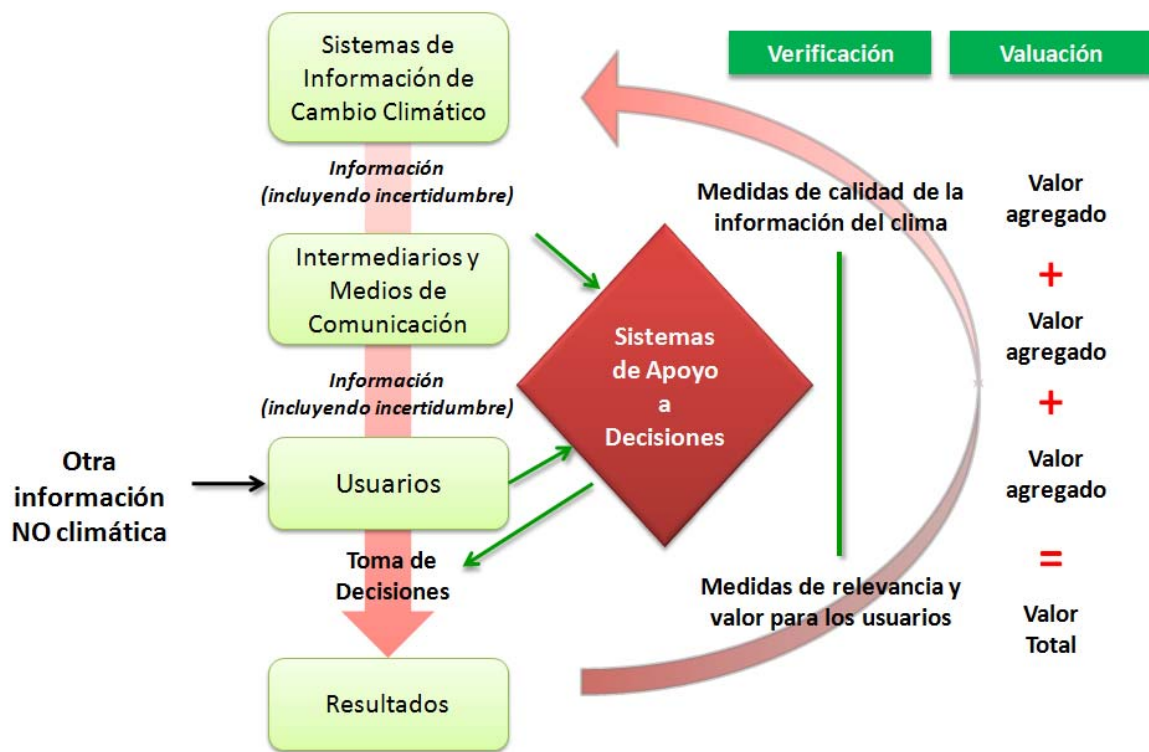


Figura 17. Modelo simplificado de uso de información climática en la toma de decisiones. Se muestra el flujo que va desde la generación de información del clima hasta la realización de su valor. Basado en el original para usos de información meteorológica (Morss et al., 2008).

Entre los principales elementos de este modelo conceptual de apoyo a decisiones, se tiene la participación activa de los usuarios de la información, quienes interactuando con los generadores de ésta, aportan elementos para evaluar la calidad, aplicabilidad y valor de los productos climáticos. Así, aspectos complejos sobre el uso de la información de cambio climático son abordados en forma integral incluyendo manejo de incertidumbre, definición del papel de los intermediarios y de los medios de comunicación, medidas del valor y relevancia para los usuarios e inclusión de información de origen no climático.

Los sistemas de información de cambio climático dependen de mantener un constante y adecuado monitoreo del sistema climático a través de observaciones, así como el desarrollo de sistemas de diagnóstico y pronóstico de anomalías climáticas. Por otra parte, en cuanto a la verificación, valuación, comunicación y uso de la información climática es prioritario instrumentar estrategias de comunicación y aprovechamiento de dicha información para gestores de riesgo, instituciones, individuos, etc., en procesos participativos.

El “taller sobre el uso de información de cambio climático en la toma de decisiones”<sup>5</sup> realizado en la ciudad de México en noviembre de 2009 con apoyo de la Embajada Británica en México, buscó fomentar que los procesos de toma de decisiones en México tomen en cuenta los análisis de cambios observados en el clima. Así, mediante el inicio de una red interinstitucional en el país se pretende generar insumos técnicos con dos propósitos: 1) identificar claramente las prioridades en el diseño de estrategias de adaptación con base en la evidencia de cambios observados en el clima y 2) con base en dicha evidencia, mostrar la importancia de transitar a una economía de bajo carbono.

El momento presente ofrece un margen de acción valiosísimo a las sociedades para construir capacidad adaptativa y resiliencia a los desastres de origen climático.

### **III.3. Información sobre cambio climático en índices**

La información de variables atmosféricas disponible hasta ahora con relación al cambio climático puede clasificarse en dos grandes tipos: la información de los cambios del clima

---

<sup>5</sup> La información y presentaciones del taller pueden consultarse en Internet en <http://cambioclimatico.iberopuebla.edu.mx> y <http://zimbra.ine.gob.mx/pdcc>

observado y las proyecciones condicionales para el futuro (esta clasificación no incluye la información que sobre el clima se genera rutinariamente en las instituciones operacionales y de investigación del clima, como por ejemplo las normales climatológicas, los mapas de climatología y de anomalías, los productos de pronóstico estacional, etc.). Así, se tiene que, los índices de cambio climático proveen la información del cambio climático observado, mientras que los escenarios proveen proyecciones posibles para el futuro. En la Parte II de esta guía se hace referencia a los índices de cambio climático propuestos por el Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático de la OMM. Estos índices tienen amplia aceptación internacional y su uso ha iniciado recientemente también en México.

El diseño de políticas de mitigación y estrategias de adaptación ante el cambio climático requiere no sólo de la información de escenarios del clima factible de ocurrir en el futuro ante ciertas condiciones, sino también de la información del clima reciente y de sus cambios observados. Puesto que los escenarios de cambio climático no son el tema de esta guía<sup>6</sup>, los siguientes ejemplos son sólo sobre índices cambio climático. Las figuras (a) y (b) muestran varios índices de cambio climático agregados en series regionales para el estado de Veracruz (Vázquez et al., 2008).

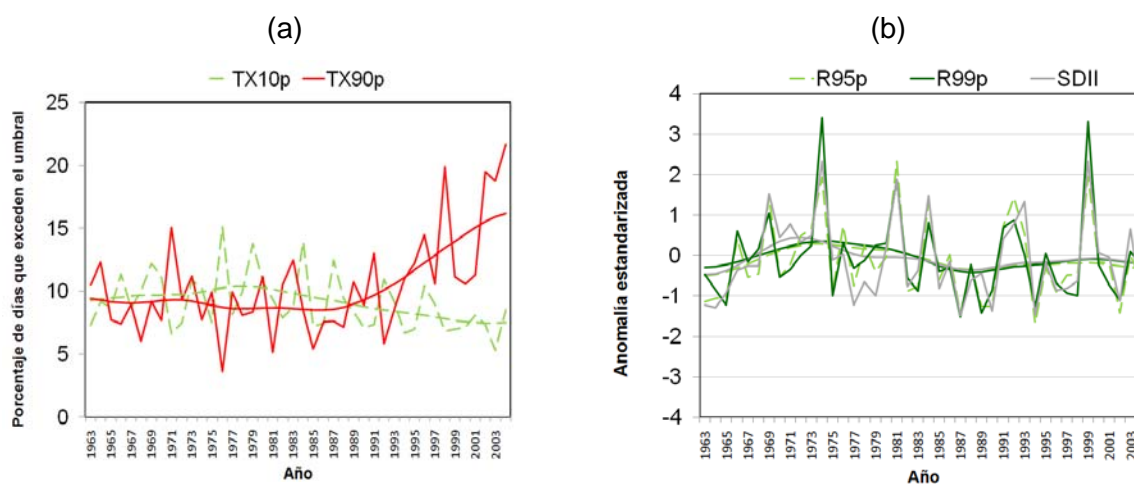


Figura 18. Índices de cambio climático para el estado de Veracruz. Las gráficas muestran las series regionales de varios índices de cambio climático para (a) temperatura (días frescos, TX10p; días calurosos, TX90p) y (b) precipitación (días muy húmedos, R95p; días extremadamente húmedos, R99p; e índice simple de intensidad diaria, SDII), reproducida de Vázquez et al., 2008.

<sup>6</sup> Información detallada sobre escenarios de cambio climático puede ser consultada en reportes y documentos disponibles en el portal de cambio climático del INE (<http://zimbra.ine.gob.mx/escenarios>).

De la figura se desprende que, en el caso de Veracruz, los índices de temperatura en la región proporcionan evidencia clara de una tendencia reciente al aumento en la frecuencia de días calurosos y ligera disminución en la frecuencia de días frescos. Las tendencias opuestas en ambos extremos indican que un cambio generalizado en la distribución de la temperatura máxima está en curso. Dado que estos análisis se basan en datos observados es factible evaluar el impacto de estos cambios en diversos sectores (energía, salud, agricultura) y en el contexto de toma de decisiones. En el caso de los índices de precipitación, en cambio, no se observan tendencias claras y la variabilidad interanual parece dominar el comportamiento de la lluvia durante el periodo analizado. Aún así, los índices ofrecen información valiosa para la gestión de riesgos, ya que al observar los índices con detenimiento y encontrar en ellos evidencia de lluvia extrema en varios años (1974, 1981, 1984, 1992, 1999) puede estudiarse la respuesta histórica de los sistemas sociales y económicos en esos casos y documentar la capacidad adaptativa con la que se cuenta en la entidad federativa para este tipo de extremo.

### **III.3. Selección de índices para su uso en sectores específicos**

Algunos de los índices de cambio climático pueden resultar de especial interés para un sector socioeconómico en particular. Tal puede ser el caso del índice de períodos secos consecutivos y el índice de la estación de crecimiento para agricultura; del índice de noches frías para protección civil; o del índice de días calurosos para uso de energía. Para determinar los índices útiles en cada sector se propone la siguiente secuencia de preguntas:

- a) ¿Qué tipo de desastres o afectaciones extremas han ocurrido en el pasado en el sector de interés?
- b) Estas afectaciones ¿están relacionadas con cambios en la lluvia o en la temperatura?
- c) ¿Los valores críticos de lluvia o temperatura que ocasionaron alto impacto han sido valores record o se han presentado periódicamente en el pasado?

Respondiendo a las tres preguntas anteriores puede determinarse si los índices de interés para el sector son índices de temperatura o índices de precipitación y si éstos estarán basados en percentiles o si serán aquellos en los que valores umbrales son especificados por el usuario. Mayor información y otros ejemplos del uso de los índices de cambio climático pueden encontrarse en el documento “Guía para el análisis de extremos en un clima cambiante como apoyo para informar decisiones para la adaptación” (Klein-Tank et al., 2009)<sup>7</sup>.

### III.5. Guía para analizar una decisión

El análisis detallado de los factores al tomar una decisión resulta útil para evaluarla. A continuación se enlista una serie de preguntas (Jennings y Wattam, 1998) para analizar decisiones que puede aplicarse en el contexto del uso de información climática.

- ¿Cuál es el problema? ¿Cómo fue diagnosticado el problema?*
- ¿Cuándo se reconoció el problema por primera vez?*
- ¿El problema fue redefinido en el curso de la decisión?*
- ¿En qué periodo de tiempo tuvo lugar la decisión?*
- ¿Hubo retrasos para tomar la decisión? ¿Por qué? ¿Influyeron?*
- ¿Cuáles fueron las etapas en el proceso de tomar la decisión?*
- ¿Cuáles fueron las etapas más significativas en la decisión?*
- ¿Quién estuvo involucrado en la decisión? ¿una persona o un grupo?*
- ¿Participaron varias organizaciones? ¿Qué papel tuvieron en la decisión?*
- ¿Cómo influyó en la decisión la organización de mayor nivel o jerarquía?*
- ¿Qué tan buena fue la decisión en términos de enfrentar el problema?*
- ¿En qué momento y cómo se eligió una solución al problema?*

---

<sup>7</sup> Disponible en inglés en el sitio de la OMM: [http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/wcdmp\\_series/documents/WCDMP\\_72\\_TD\\_1500\\_en\\_1.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/wcdmp_series/documents/WCDMP_72_TD_1500_en_1.pdf)

## EPILOGO

El calentamiento global y el cambio climático asociado impactarán el clima regional y local en diversas maneras. La detección de cambios en los extremos a partir de datos instrumentales permite obtener evidencia de cambios en el clima observados recientemente en las regiones y localidades de México. La identificación de estos cambios mediante los índices de cambio climático, en conjunto con la información sobre el potencial comportamiento del clima futuro mediante escenarios, nos muestra la importancia de desarrollar estrategias para adaptarnos a la variabilidad climática presente y futura, y nos alerta sobre la necesidad inmediata de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera iniciando una transición a una economía de bajo carbono. El cumplimiento de ambas tareas requiere la aplicación de nuestro conocimiento del clima bajo enfoques interdisciplinarios.

Esta guía ofrece una ruta para acrecentar el conocimiento del clima local y regional de México a partir de datos de observaciones, de manera que incorporando dicho conocimiento como un recurso con valor social y económico en las decisiones, se incursione también en los caminos del desarrollo sustentable. Los cambios del clima detectados permitirán elucidar claramente las estrategias de adaptación necesarias así como fomentar la reducción de emisiones para evitar alcanzar niveles de riesgo intolerables. Si bien este documento ofrece una pauta para conocer más sobre el clima regional y para iniciar análisis de los datos instrumentales del clima mexicano, la aplicación de los razonamientos y métodos aquí descritos puede requerir los servicios de expertos en varias disciplinas, como es el caso de climatólogos o meteorólogos profesionales, comunidad que naciente y creciente en el país jugará un papel clave en la gestión de los riesgos asociados con el clima.

Sólo mediante la conjunción de diversas disciplinas y bajo un enfoque holístico es que la gestión de los riesgos asociados con el clima será exitosa. El trabajo interdisciplinario es inherente a los retos de nuestro tiempo. La red de cambio climático iniciada por el Instituto Nacional de Ecología y la Universidad Iberoamericana Puebla bajo auspicios de la Embajada Británica en México es uno de los eslabones en la cadena de interacciones necesarias para la gestión de riesgos asociados con el clima en México. Queda pues en las manos de cada participante y lector la oportunidad de continuar fortaleciendo las capacidades nacionales en índices y detección regional del cambio climático.



## APÉNDICE I. DEFINICIONES DE LOS ÍNDICES DEL ETCCDI

A continuación se enlistan y definen los 27 índices básicos del ETCCDI de acuerdo con lo documentado por Zhang y Yang (2004) en el Manual del Usuario de RClimdex (Traducción original de de José Luis Santos, CIIFEN). Las actualizaciones en la definición y el software sobre los índices del ETCCDI pueden consultarse en el sitio electrónico desarrollado conjuntamente por la Universidad de Victoria y la División de Investigación Climática de Environment Canada (<http://cccma.seos.uvic.ca/etccdi/index.shtml>).

### 1. FD0. Días con helada (Frost Days)\*.

Sea  $T_{nij}$  la temperatura mínima diaria en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Cuente el número de días cuando:

$$T_{nij} < 0^{\circ}C$$

### 2. SU25. Días de verano (SUMMER days)\*.

Sea  $T_{xij}$  la temperatura máxima diaria en el día  $i$  periodo  $j$ . Cuente el número de días cuando:

$$T_{xij} > 25^{\circ}C$$

### 3. ID0. Días con hielo (Icing Days)\*.

Sea  $T_{xij}$  la temperatura máxima diaria en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Cuente el número de días cuando:

$$T_{xij} < 0^{\circ}C$$

### 4. TR20. Noches tropicales (TRopical nights)\*.

Sea  $T_{nij}$  la temperatura mínima diaria en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Cuente el número de días cuando:

---

\* En algunas regiones, como las cercanas a los trópicos, o en aplicaciones específicas, el usuario puede cambiar algunos de los umbrales predeterminados de los índices. Sin embargo, debe tenerse cuidado de cambiar también el nombre del índice, con el fin de mantener claridad para propósitos de comparación de índices entre diferentes regiones. Por ejemplo, si en vez de evaluar el índice FD con  $0^{\circ}C$  éste se evaluara con  $2^{\circ}C$  entonces deberá llamarse FD2, etc.

$$Tn_{ij} > 20^{\circ}C$$

**5. GSL. Estación de crecimiento (Growing Season Length).**

Sea  $T_{ij}$  la temperatura media en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Cuente el número de días entre la primera ocurrencia de por lo menos 6 días consecutivos con:

$$T_{ij} > 5^{\circ}C$$

Y la primera ocurrencia después de 1° Julio (1° Enero en el Hemisferio Sur) de por lo menos 6 días consecutivos con:

$$T_{ij} < 5^{\circ}C$$

**6. TXx. Temperatura máxima extrema.**

Sea  $Tx_{kj}$  la temperatura máxima diaria en el mes  $k$ , periodo  $j$ . La máxima temperatura máxima diaria cada mes es entonces:

$$TXx_{kj} = \max(Tx_{kj})$$

**7. TNx. Temperatura mínima más alta.**

Sea  $Tn_{kj}$  la temperatura mínima diaria en el mes  $k$ , periodo  $j$ . La máxima temperatura mínima diaria cada mes es entonces:

$$TNx_{kj} = \max(Tn_{kj})$$

**8. TXn. Temperatura máxima más baja.**

Sea  $Tx_{kj}$  la temperatura máxima diaria en el mes  $k$ , periodo  $j$ . La mínima temperatura máxima diaria cada mes es entonces:

$$TXn_{kj} = \min(Tx_{kj})$$

**9. TNn. Temperatura mínima extrema.**

Sea  $Tn_{kj}$  la temperatura mínima diaria en el mes  $k$ , periodo  $j$ . La mínima temperatura mínima diaria en cada mes es entonces:

$$TNn_{kj} = \min(Tn_{kj})$$

#### 10. Tn10p. Frecuencia de noches frías.

Sea  $Tn_{ij}$  la temperatura mínima diaria en el día  $i$  en el periodo  $j$  y sea  $T_nen10$  el día calendario del percentil 10 centrado en una ventana de 5-días. El índice indica el porcentaje de tiempo, donde:

$$Tn_{ij} < T_nen10$$

#### 11. Tx10p. Frecuencia de días frescos.

Sea  $Tx_{ij}$  la temperatura máxima diaria en el día  $i$  en el periodo  $j$  y sea  $T_xen10$  el día calendario del percentil 10 centrado en una ventana de 5-días. El índice indica el porcentaje del tiempo en el que:

$$Tx_{ij} < T_xen10$$

#### 12. Tn90p. Frecuencia de noches cálidas.

Sea  $Tn_{ij}$  la temperatura mínima diaria en el día  $i$  en el periodo  $j$  y sea  $T_nen90$  el día calendario del percentil 90 centrado en una ventana de 5-días. El porcentaje del tiempo es determinado, donde:

$$Tn_{ij} > T_nen90$$

#### 13. Tx90p. Frecuencia de días calurosos.

Sea  $Tx_{ij}$  la temperatura máxima diaria en el día  $i$  en el periodo  $j$  y sea  $T_xen90$  el día calendario del percentil 90 centrado en una ventana de 5-días. El porcentaje del tiempo es determinado, donde:

$$Tx_{ij} > T_xen90$$

#### 14. WSDI. Duración de los períodos cálidos (Warm Spells Duration Index).

Sea  $Tx_{ij}$  la temperatura máxima diaria en el día  $i$  en el periodo  $j$  y sea  $T_xen90$  el día calendario del percentil 90 centrado en una ventana de 5-días. Entonces el número de días por periodo es sumado donde, en intervalos de por lo menos 6 días consecutivos:

$$Tx_{ij} > T_xen90$$

**15. CSDI. Duración de los períodos fríos (Cold Spells Duration Index).**

Sea  $Tn_{ij}$  la temperatura mínima diaria en el día  $i$  en el periodo  $j$  y sea  $T_{n,en10}$  el día calendario del percentil 10 centrado en una ventana de 5-días. Entonces el número de días por periodo es sumado donde, en intervalos de por lo menos 6 días consecutivos:

$$Tn_{ij} < T_{n,en10}$$

**16. DTR. Rango diurno de temperatura (Diurnal Temperature Range).**

Sean  $Tx_{ij}$  y  $Tn_{ij}$  las temperaturas diarias máximas y mínimas respectivamente en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Si  $I$  representa el número de días en  $j$ , entonces:

$$DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^I (Tx_{ij} - Tn_{ij})}{I}$$

**17. RX1day. Precipitación máxima en un día.**

Sea  $RR_{ij}$  el total diario de precipitación en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Entonces los valores máximos de 1-día para el periodo  $j$  son:

$$Rx1day_j = \max(RR_{ij})$$

**18. Rx5day. Precipitación máxima en cinco días.**

Sea  $RR_{kj}$  la cantidad de precipitación para el intervalo de cinco días terminando en  $k$ , periodo  $j$ . Entonces los valores máximos de 5-días para el periodo  $j$  son:

$$Rx5day_j = \max(RR_{kj})$$

**19. SDII. Índice simple de intensidad diaria (Simple Daily Intensity Index).**

Sea  $RR_{wj}$  la cantidad diaria de precipitación en días húmedos,  $w(RR \geq 1mm)$  en el periodo  $j$ . Si  $W$  representa el número de días húmedos en  $j$ , entonces:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W}$$

**20. R10. Días con lluvia mayor a 10 mm.**

Sea  $RR_{ij}$  la cantidad diaria de precipitación en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Cuente el número de días donde:

$$RR_{ij} \geq 10mm$$

**21. R20. Días con lluvia mayor a 20 mm.**

Sea  $RR_{ij}$  la cantidad diaria de precipitación en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Cuente el número de días donde:

$$RR_{ij} \geq 20mm$$

**22. Rnn. Días con lluvia mayor a nn mm.**

Sea  $RR_{ij}$  la cantidad diaria de precipitación en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Si  $nn$  representa cualquier valor razonable de precipitación diaria entonces, cuente el número de días donde:

$$RR_{ij} \geq nnmm$$

**23. CDD. Días secos consecutivos (Consecutive Dry Days)**

Sea  $RR_{ij}$  la cantidad diaria de precipitación en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Cuente el más grande número de días consecutivos donde:

$$RR_{ij} < 1mm$$

**24. CWD. Días húmedos consecutivos (Consecutive Wet Days)**

Sea  $RR_{ij}$  la cantidad diaria de precipitación en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Cuente el más grande número de días consecutivos donde:

$$RR_{ij} \geq 1mm$$

### 25. R95pTOT. Días muy húmedos.

Sea  $RR_{wj}$  la cantidad diaria de precipitación en un día húmedo  $w(RR \geq 1.0mm)$  en el periodo  $j$  y sea  $RR_{wn95}$  el percentil 95<sup>th</sup> de precipitación en los días húmedos en el periodo 1961-1990. Si  $W$  representa el número de días húmedos en el periodo, entonces:

$$R95 p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ donde } RR_{wj} > RR_{wn95}$$

### 26. R99p. Días extremadamente húmedos.

Sea  $RR_{wj}$  la cantidad diaria de precipitación en un día húmedo  $w(RR \geq 1.0mm)$  en el periodo  $j$  y sea  $RR_{wn99}$  el percentil 99<sup>th</sup> de precipitación en los días húmedos en el periodo 1961-1990. Si  $W$  representa el número de días húmedos en el periodo, entonces:

$$R99 p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ donde } RR_{wj} > RR_{wn99}$$

### 27. PRCPTOT. Precipitación total.

Sea  $RR_{ij}$  la cantidad diaria de precipitación en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Si  $I$  representa el número de días en  $j$ , entonces

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij}$$

## APÉNDICE II. HERRAMIENTA EN LÍNEA PARA SELECCIÓN DE DATOS

Los datos climatológicos del país se encuentran disponibles en la institución oficial encargada de administrarlos, el Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua<sup>8</sup> (<http://smn.cna.gob.mx>). Con el fin de promover el desarrollo de los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático, el Instituto Nacional de Ecología (INE) ha desarrollado una herramienta en línea para el uso de la base de datos climatológica nacional del sistema CLICOM en formato de RClindex por los miembros de la Red de Detección e Índices de Cambio Climático (REDICC) en México. Esta red de personas e instituciones fue recientemente creada como parte de un proyecto del INE financiado por la Embajada Británica en México, con apoyo logístico de la Universidad Iberoamericana Puebla. Para mayor información sobre la REDICC, o si desea acceder a la herramienta en línea que se describe a continuación póngase en contacto directamente con el personal de la Coordinación del Programa de Cambio Climático del INE<sup>9</sup> (<http://www.ine.gob.mx/cpcc-somos>).

Es importante aclarar que el uso de la base de datos por parte del INE y de los participantes en la REDICC está sujeto a la normatividad vigente en la materia, por lo tanto, el uso de la información se permite sólo con fines de investigación y su manejo adecuado es responsabilidad únicamente de quienes la utilicen. En caso de requerir información climatológica con fines distintos a la investigación académica o para su uso con otros fines es necesario solicitarla por escrito al Servicio Meteorológico Nacional de acuerdo a lo establecido por el mismo SMN: "ADVERTENCIA: La información que se presenta en la página de Internet del Servicio Meteorológico Nacional, no tiene validez para ser utilizada en procedimientos de orden jurídico en los ámbitos Federal, Estatal o Municipal. En caso de requerir información para fines legales o normativos, ésta deberá solicitarse por escrito al Servicio Meteorológico Nacional de la Subdirección General Técnica de la Comisión Nacional del Agua, quien en su carácter de órgano oficial de información meteorológica, la suministrará por escrito."

---

<sup>8</sup> Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del Agua. Av. Observatorio 192, Col. Observatorio, Del. Miguel Hidalgo. C.P. 11860, México, D.F. Tel. (55) 26 36 46 00.

<sup>9</sup> Coordinación del Programa de Cambio Climático, Instituto Nacional de Ecología. Periférico 5000, Col. Insurgentes Cuicuilco, Delegación Coyoacán. C.P. 04530. México, D.F. Tel. (55) 54 24 64 00.

La herramienta en línea para acceso y selección de datos climáticos<sup>10</sup> se encuentra en el siguiente sitio de Internet: <http://zimbra.ine.gob.mx/tallerIndices> , al cual también se puede llegar a través de los sitios derivados del proyecto “Fortalecimiento de capacidades en detección de cambio climático en México”: <http://cambioclimatico.iberopuebla.edu.mx> .

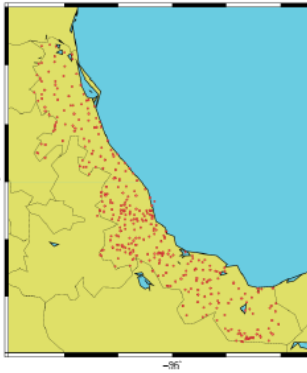


Ingrese utilizando el nombre de usuario y la clave de acceso que le fueron proporcionadas por el INE



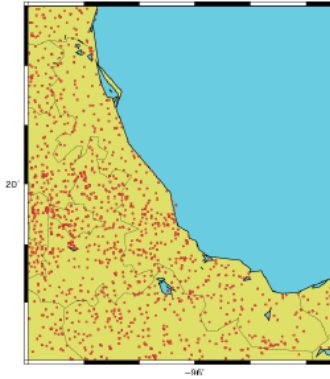
<sup>10</sup> Las figuras de esta sección pueden diferir de las obtenidas en línea debido a actualizaciones del sistema.

Región estatal predefinida



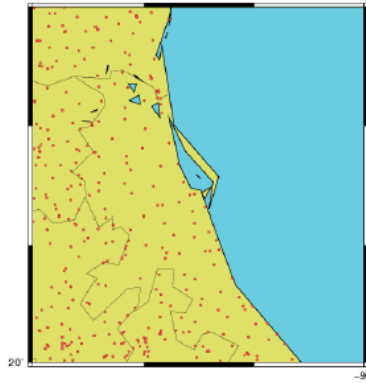
La búsqueda de estaciones climatológicas se realizará dentro del área de la entidad federativa que se indique.

Región estatal predefinida  
Incluyendo estaciones fuera del estado



La búsqueda de estaciones climatológicas se realizará dentro del área de la entidad federativa que se indique incluyendo porciones de los estados alrededor.

Definir un dominio personalizado.



Podrá especificar las coordenadas de longitud y latitud de la región donde desea buscar estaciones climatológicas

Primero seleccione el tipo de búsqueda a realizar

Taller de Detección e Índices de Cambio Climático en la República Mexicana - Mozilla Firefox

http://200.33.112.33/cambioClimatico/taller/

Bienvenidos al Taller

**Selección de estaciones**

Cambiar mi contraseña

Acerca de

Agenda

Instructores

Participantes

ETCCDI

**Importante**

En este sitio los participantes podrán realizar una pre-selección de las mejores series de datos de temperatura y precipitación de la Base de Datos Climatológica Nacional. Los datos han sido proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional con fines académicos o de investigación. La información contenida o derivada de esta página no tiene validez para ser usada en procedimientos de orden jurídico en los ámbitos Federal, Estatal o Municipal. En caso de requerir información para fines legales o normativos, ésta deberá solicitarse por escrito al Servicio Meteorológico de la Subdirección Técnica de la Comisión Nacional del Agua, que en su carácter de órgano oficial de información meteorológica la proporcionará por escrito.

**1. Selección de estaciones**

Filtro de estaciones

- Región estatal predefinida
- Incluir estaciones fuera del estado
- Definir dominio personalizado

Mis búsquedas guardadas

- ver-oper-todas
- colima15

Siguiente

Este taller es desarrollado en el marco del proyecto del Instituto Nacional de Ecología: "Fortalecimiento de Capacidades para Detección del Cambio Climático en México", financiado por el Fondo de Programas Especiales del Reino Unido y coordinado en la

Luego elija el botón "Siguiente"

Región estatal predefinida: Seleccionar estado y situación de estaciones.

**Opción:**  
Región estatal predefinida

Utilice la lista desplegable "Estado" para seleccionar la entidad federativa

En la lista "Situación" indique si la situación de las estaciones puede ser cualquiera o si deben estar en operación o suspendidas.

Incluir estaciones fuera del estado en una región estatal predefinida

Para iniciar una nueva búsqueda, en el menú de la izquierda haga clic en la opción "Selección de Estaciones"

Verifique que la casilla "Incluir estaciones fuera del estado" se encuentre activada

Luego elija el botón "Siguiente"

## Definir un dominio personalizado

Ingrese la latitud del límite norte de su dominio

Ingrese la longitud del límite sur de su dominio

Ingrese la longitud del límite derecho (negativa para longitudes oeste)

Finalmente haga clic en "Actualizar mapa"

Ingrese la longitud del límite izquierdo de su dominio (negativa para longitudes oeste)

En la parte inferior se mostrará la región personalizada que se ha seleccionado.

Actualizar mapa

## En cualquier búsqueda: Selección del tipo de estación y organismo a cargo.

Instructores

Participantes

ETCCDI

Tipo de estación:

Climatológica  Observatorio

Hydroclimatológica  Agroclimatológica

Organismo:

CNA-SMN  CFE  AMSA  IMPA

CNA-DGE  CILA  FFCC  CLFC

Buscar por número de años con datos:

Número de años con datos de Lluvia

Con fecha inicial > 2009 03 16

Buscar por porcentaje de datos existentes:

Porcentaje de datos de Lluvia

Con fecha inicial > 2009 03 16

Enviar

Activo/desactive las casillas de verificación para incluir/omitir en la búsqueda el tipo de estaciones y el organismo que las opera

Filtro de búsqueda por número de años con datos desactivado

Filtro de búsqueda por porcentaje de datos completos desactivado

Para ejecutar la búsqueda elija el botón "Enviar"

Opción: Disponible en todas las opciones de búsqueda

## Filtrar estaciones por número de años con datos en cada variable

Verifique que la casilla "Buscar por número de años con datos" se encuentre activada

Seleccione la variable de interés

Indique el criterio de comparación

Ingrese el número de años con datos a utilizar como criterio

Especifique si la fecha es "inicial" o "final"

Indique el criterio de comparación

Especifique el año

Especifique el mes

Especifique el día

Seleccione una fecha de referencia para la búsqueda

**Opción:**  
Disponible en todas las opciones de búsqueda

## Filtrar estaciones por porcentaje de datos completos en cada variable

Verifique que la casilla "Buscar por porcentaje de datos existentes" se encuentre activada

Seleccione la variable de interés

Indique el criterio de comparación

Ingrese el porcentaje de datos a utilizar como criterio

Especifique si la fecha es "inicial" o "final"

Indique el criterio de comparación

Especifique el año

Especifique el mes

Especifique el día

Seleccione una fecha de referencia para la búsqueda

**Opción:**  
Disponible en todas las opciones de búsqueda

## Guardar los resultados de una búsqueda

Especifique el nombre con el que desea guardar la búsqueda realizada

Haga clic en la opción "Guardar"

Acciones:  
 Guardar búsqueda como: ver-todas   
 Datos:    
 Subir lista personalizada de estaciones:    
  
[Limpiar](#)  
[Volver a la búsqueda](#)

Las búsquedas que guarde aparecerán en la página principal del módulo "Selección de Estaciones" de modo que no tendrá que rehacerlas cada vez que las requiera.

1. Selección de estaciones

Filtro de estaciones

- Región estatal predefinida
- Incluir estaciones fuera del estado
- Definir dominio personalizado

Mis búsquedas guardadas

- ver-oper-todas
- colima15

## Obtener el catálogo de estaciones seleccionadas

Al seguir este paso se obtendrá un archivo separado por comas (ver ejemplo abajo) con un nombre similar a: **estaciones\_hh\_mm\_ss.csv** Donde hh\_mm\_ss son la hora, minuto y segundo en que se generó dicho archivo.

En la opción Datos, seleccione "csv con el catálogo de la selección"

Luego haga clic en el botón "Descargar"

Acciones:  
 Guardar búsqueda como:    
 Datos:    
 Subir lista personalizada de estaciones:    
  
[Limpiar](#)  
[Volver a la búsqueda](#)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
1	CLAVE	LON	LAT	ALTURA	X	NOMBRE	MUNICIPIO	ESTADO	ORG_CUEI	CUENCA	SUBCUENCA	TIPO_EST	ORGANISMO	INICIO	FIN	SITUACION	OBSER	INI_R	FIN_R	N_R	PC_R	INI_TX	FIN_TX	
2	3002	-114.897	27.6889	15	1	BAHIA TOF MULEGE	BAJA CALI	PENINSUL	SAN MIGU	BAHIA SEB	CLIMATOL	CNA-DGE	01/01/1961	9999-99-0	0	01/01/1961	30/11/2006	45.9	90.4	01/01/1961	30/11/2006			
3	3003	-109.436	23.2875	12	1	BOCA DEL SANTIAGO	BAJA CALI	PENINSUL	LA PAZ-CA	BAHIA LAI	CLIMATOL	CNA-DGE	01/01/1961	9999-99-0	0	01/01/1961	30/11/2006	45.9	93.7	01/01/1961	30/11/2006			
4	3006	-112.513	26.3761	60	1	CADCEE	COMONDRI	BAJA CALI	PENINSUL	L SAN IEN	BAHIA SEB	CLIMATOL	CNA-DGE	01/01/1961	9999-99-0	0	01/01/1961	30/11/2006	45.9	96.3	01/01/1961	30/11/2006		
5	3009	-111.127	24.8389	200	1	EL AGUAJI LA PAZ	BAJA CALI	PENINSUL	A VENAN	BAHIA MA	CLIMATOL	CNA-DGE	01/01/1961	9999-99-0	0	01/01/1961	31/12/2006	46	96.4	01/01/1961	31/12/2006			
6	3011	-110.206	24.1458	200	1	EL CAJON LA PAZ	BAJA CALI	PENINSUL	LA PAZ-CA	BAHIA LAI	HIDROCLI	CNA-DGE	01/05/1964	9999-99-0	0	21/05/1964	30/11/2006	42.6	90.7	21/05/1964	30/11/2006			

## Contenido del catálogo estaciones\_mm\_hh\_ss.csv

ENCABEZADO	EJEMPLO DE CONTENIDO	SIGNIFICADO
CLAVE	3002	CLAVE de la estación
LON	-114.897222	Longitud de la estación
LAT	27.688889	Latitud de la estación
ALTURA	15	Altitud de la estación
X	1	Ignorar este campo
NOMBRE	BAHIA TORTUGAS	Nombre de la estación
MUNICIPIO	MULEGE	Municipio donde está la estación
ESTADO	BAJA CALIFORNIA SUR	Estado en donde está la estación
ORG_CUENCA	PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA	Organismo de cuenca
CUENCA	SAN MIGUEL-A. DEL VIGIA	Cuenca a la que pertenece
SUBCUENCA	BAHIA SEBASTIAN VIZCAINO	Subcuenca a la que pertenece
TIPO_EST	CLIMATOLOGICA	Tipo de estación
ORGANISMO	CNA-DGE	Organismo que la opera
INICIO	01/01/1961	Ignorar este campo
FIN	9999-99-99	Ignorar este campo
SITUACION	O	Situación "O"=Operando; "S"=Suspendida
OBSERVACIONES		Comentarios
INI_R	01/01/1961	Inicio de datos de lluvia
FIN_R	30/11/2006	Fin de datos de lluvia
N_R	45.9	Número de años con datos de lluvia
PC_R	90.4	Porcentaje de datos de lluvia existentes
INI_TX	01/01/1961	Inicio de datos de temperatura máxima
FIN_TX	30/11/2006	Fin de datos de temperatura máxima
N_TX	45.9	Número de años con datos de temp. máxima
PC_TX	89.3	Porcentaje de datos de temp. Máxima existentes
INI_TN	01/01/1961	Inicio de datos de temperatura mínima
FIN_TN	30/11/2006	Fin de datos de temperatura mínima
N_TN	45.9	Número de años con datos de temp. Mínima
PC_TN	89.4	Porcentaje de datos de temp. Mínima existentes.

## Obtener las series de datos de las estaciones seleccionadas

Al seguir este paso se obtendrá un archivo comprimido .zip con un nombre similar a: **estaciones\_hh\_mm\_ss.zip**  
 Donde hh\_mm\_ss son la hora, minuto y segundo en que se generó dicho archivo.

En la opción Datos, seleccione ".zip con las series de la selección"

Luego haga clic en el botón "Descargar"

El archivo .zip contiene múltiples archivos de texto con extensión .rcl (Rclimdex), los cuales podrá desplegar en el bloc de notas, wordpad o cualquier editor de texto. Los archivos de texto .rcl están listos para procesarse en el software del Taller

Contenido de los archivos .zip y a su vez de los .rcl obtenidos del sistema

Ejemplo del contenido de un archivo .zip (estaciones\_15\_43\_58)

Name	Size	Type	Date Modified
s03002.rcl	476 KB	RCL File	23/05/2008 22:40
s03003.rcl	476 KB	RCL File	23/05/2008 22:40
s03006.rcl	476 KB	RCL File	23/05/2008 22:40
s03009.rcl	476 KB	RCL File	23/05/2008 22:40
s03011.rcl	445 KB	RCL File	23/05/2008 22:40
s03015.rcl	476 KB	RCL File	23/05/2008 22:40
s03018.rcl	476 KB	RCL File	23/05/2008 22:40
s03020.rcl	476 KB	RCL File	23/05/2008 22:40
s03022.rcl	476 KB	RCL File	23/05/2008 22:40
s03031.rcl	476 KB	RCL File	23/05/2008 22:40
s03041.rcl	476 KB	RCL File	23/05/2008 22:40
s03043.rcl	435 KB	RCL File	23/05/2008 22:40
s03047.rcl	538 KB	RCL File	23/05/2008 22:40
s03057.rcl	476 KB	RCL File	23/05/2008 22:40
s03065.rcl	476 KB	RCL File	23/05/2008 22:40
s03067.rcl	476 KB	RCL File	23/05/2008 22:40
s03068.rcl	518 KB	RCL File	23/05/2008 22:40
s03077.rcl	476 KB	RCL File	23/05/2008 22:40

Ejemplo del contenido de un archivo .rcl (s03002.rcl)

Year	Month	Day	Temp	Humidity	Wind
1969	1	28	-99.9	-99.9	-99.9
1969	1	29	-99.9	-99.9	-99.9
1969	1	30	-99.9	-99.9	-99.9
1969	1	31	-99.9	-99.9	-99.9
1969	2	1	0.0	17.0	8.0
1969	2	2	0.0	13.0	7.0
1969	2	3	0.0	21.0	10.5
1969	2	4	0.0	19.0	9.0
1969	2	5	0.0	18.0	10.5
1969	2	6	0.0	19.0	8.5
1969	2	7	0.0	17.0	10.5
1969	2	8	0.0	18.5	9.0
1969	2	9	0.0	20.0	8.0
1969	2	10	0.0	21.5	7.5
1969	2	11	0.0	19.0	7.0
1969	2	12	15.0	17.0	9.5
1969	2	13	0.0	15.5	11.0
1969	2	14	0.0	16.0	12.0
1969	2	15	0.0	19.0	11.5
1969	2	16	0.0	20.0	10.0
1969	2	17	0.0	23.0	11.0
1969	2	18	0.0	17.0	12.5
1969	2	19	0.0	17.0	9.0
1969	2	20	0.0	15.5	10.0
1969	2	21	0.0	18.0	7.5
1969	2	22	0.0	16.5	9.0
1969	2	23	0.0	17.0	8.5
1969	2	24	0.0	18.5	7.5
1969	2	25	0.0	16.5	9.0

Ejemplo 2 de búsqueda de estaciones.

Estado: **Veracruz.**

Situación: **Operando.**

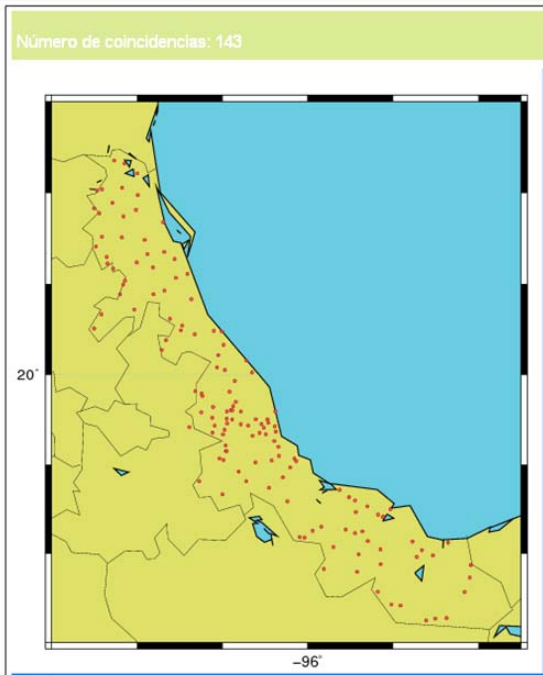
Tipo de estación: **Climatológicas e Hidroclimatológicas.**

Organismo: **CNA-SMN y CNA-DGE.**

Filtro por # de años con datos: No.  
Años con datos: N/A  
Con fecha de referencia: N/A

Filtro por % de datos existentes: No.  
Porcentaje de datos: N/A  
Con fecha de referencia: N/A

Resultado: **143 estaciones** (ver mapa a la derecha).





## APÉNDICE III. INSTALACIÓN DEL SOFTWARE R, RClimdex y RHtest.

El software R incluye un lenguaje de programación y un ambiente de desarrollo para el uso de la estadística y creación de gráficas. R funciona en múltiples sistemas operativos como MS Windows, cualquier Unix (incluyendo Linux) y Macintosh.

R es software libre<sup>11</sup>, esto es, no tiene una licencia comercial, su licencia de uso es la Licencia Pública General y además de estar disponible sin costo en Internet, incluye el código fuente con el que fue creado, con el fin de que pueda modificarse y mejorarse.

El software, la documentación y todo lo referente al proyecto R se encuentra en el sitio <http://www.r-project.org/>

Para descargar e instalar R hay que dirigirse a uno de los sitios que replican la Red Comprehensiva del Archivo de R (CRAN por sus siglas en inglés) en <http://cran.r-project.org/mirrors.html> ; de preferencia elija un servidor que se encuentre cerca de su ubicación geográfica. Una vez en el sitio del CRAN, elija el sistema operativo que utiliza (Linux, MacOS X o Windows) y siga las instrucciones para descargar el archivo de instalación.

Por ejemplo, para instalar R en Windows, elija “Windows”, y luego elija los paquetes de la base de R “base”. Para la instalación basta con descargar el archivo instalador en la liga “Download R 2.12.0 for Windows” y ejecutarlo una vez descargado.

### Instalación de RClimdex y RHtest

Obtenga el software RClimdex.r y RHtest del sitio de la División de Investigación del Clima en Canadá:

<http://cccma.seos.uvic.ca/etccdi/software.shtml>

En ese mismo sitio puede encontrar los Manuales de Usuario de RClimdex y de RHtests donde se describe el uso de ambos programas. Una versión del manual del usuario de RClimdex 1.0 está disponible en español (traducción de J. L. Santos, CIIFEN).


---

<sup>11</sup> Note que la acepción correcta del término software libre (del inglés “free software”) se refiere a libre (free) como en libertad (freedom) y no como en gratis (free). N. del A.



## APÉNDICE IV. RCLIMDEX COMO APOYO EN EL CONTROL DE CALIDAD

En este apéndice se usan como ejemplo los datos contenidos en un archivo llamado *seriedatos.txt*, y se asume que: el directorio de trabajo es llamado “*índicesCC*” y el programa *rclimdex.r* ha sido descargado allí desde el sitio del ETCCDI.

El primer paso es ejecutar el software , cuya instalación describe el Apéndice III. Una vez en el ambiente gráfico de R, debe especificarse el directorio de trabajo (“*índicesCC*” en este ejemplo) y cargarse el código de RCLIMDEX (Fig. A-IV.1).

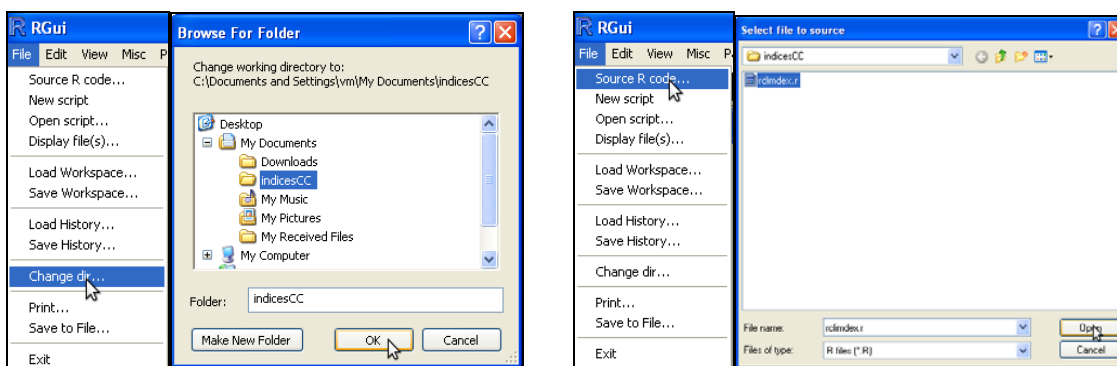


Figura A-IV.1. Carga del directorio de trabajo (izquierda) y del programa RCLIMDEX (derecha).

Desde el menú de RCLIMDEX cargue los datos para el control de calidad (Fig. A-IV.2).

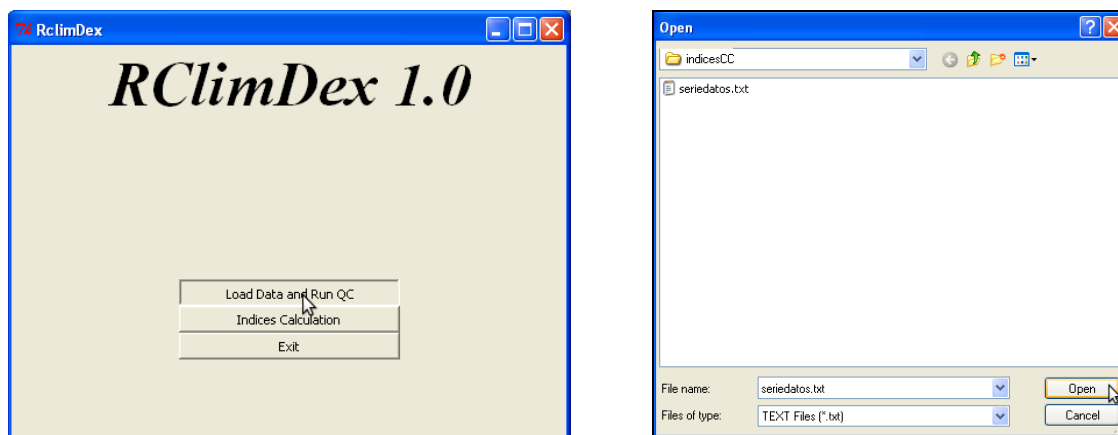


Figura A-IV.2. Carga de datos para los que se hará el control de calidad.

El programa notificará si los datos han sido cargados con éxito y posteriormente solicitará ingresar el nombre de la estación y el criterio de la desviación estándar (Fig. A-IV.3).

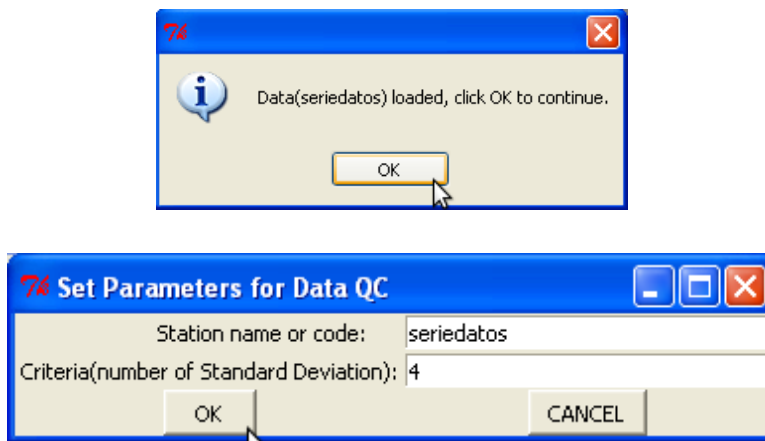


Fig. A-IV.3. Notificación de datos cargados correctamente (arriba) y solicitud de ingreso del nombre de la estación de observación y del criterio de la desviación estándar (abajo).

Debe recordarse que para identificar los valores que deben verificarse en los datos, Rclimdex utiliza como criterio un número de desviaciones estándar alrededor de la media. Este número es especificado por el usuario y tiene mejores resultados en el caso de los datos de temperatura; en el caso de los datos de precipitación es recomendable utilizar inspección visual de las gráficas u otros cálculos no incluidos en Rclimdex. Se recomienda utilizar un valor de 4 desviaciones estándar para identificación de valores a verificar en las series de temperatura, aunque también puede utilizarse un valor de 3.5 o 3 desviaciones estándar.

Una vez especificados los parámetros anteriores y continuando con el procedimiento, se recibirán notificaciones del control de calidad, indicando que el procesamiento puede tardar algunos minutos e indicando la ruta y nombre de los archivos donde los resultados para identificar valores sujetos de verificación han sido almacenados (figura A-IV.4). Los errores en temperatura son escritos por Rclimdex en el archivo *seriedatostemp\_QC.csv*, y los valores que exceden el umbral especificado con el criterio de la desviación estándar son escritos en el archivo *seriedatos\_tepstdQC.csv*. Estos archivos son guardados en el subdirectorio log del directorio de trabajo (*indicesCCVlog* en este ejemplo). El archivo *seriedatos\_tepstdQC.csv* requiere un análisis minucioso por parte del usuario y contiene la siguiente información: fecha (año, mes, día); y tres columnas que corresponden al límite

inferior, valor observado en la fecha y límite superior, para la temperatura máxima, la temperatura mínima y el rango diario de temperatura (dtr) respectivamente (figura A-IV.5); donde los límites inferior y superior han sido calculados con base en el criterio de la desviación estándar especificado previamente.

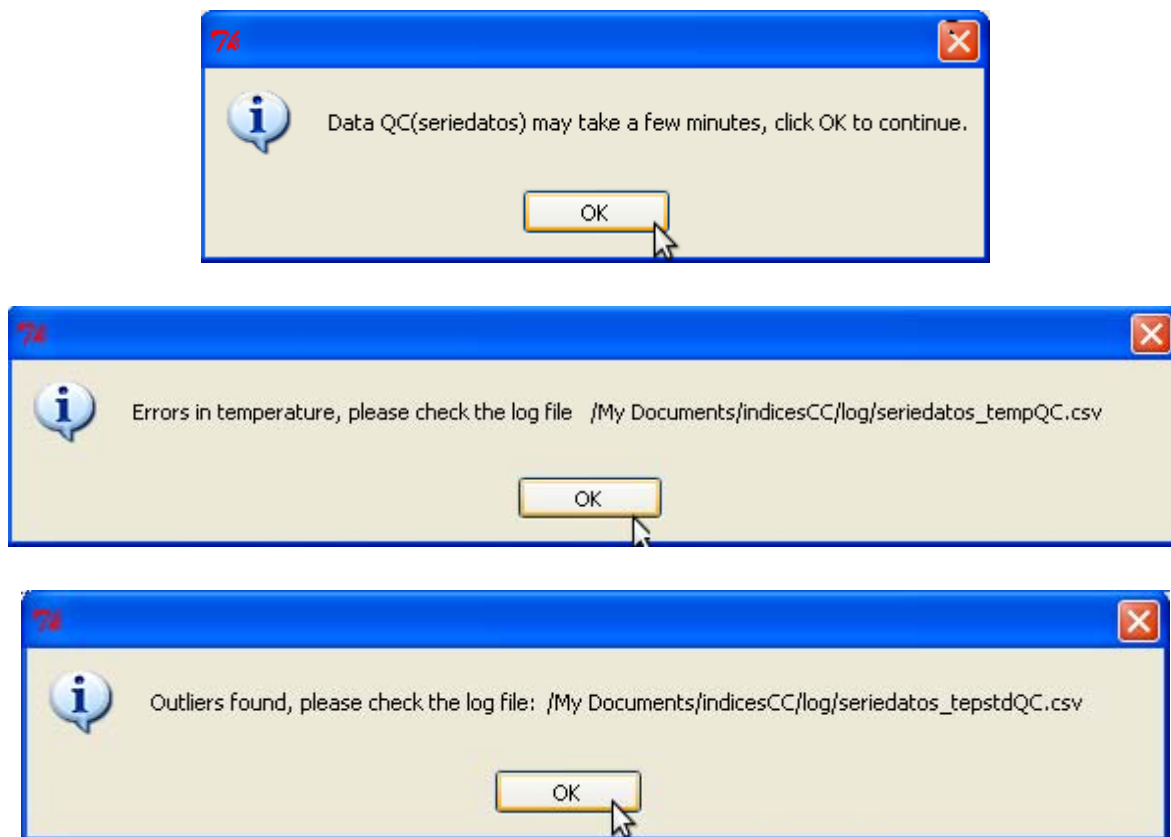


Fig. A-IV.4. Mensajes de notificación de RCLimindex sobre el tiempo que toma aplicar el control de calidad y las rutas y nombres de archivo con los resultados.

1	year	month	day	tmaxlow	tmax	tmaxup	tminlow	tmin	tminup	dtrlow	dtr	dtrup
2	1946	4	29	25.62	48	46.96	6.21	17	31.3	2.62	31	32.45
3	1946	5	17	26.29	46	45.98	5.61	19	32.14	3.03	27	31.48
4	1946	5	18	26.17	47	45.76	5.86	18	31.94	2.51	29	31.63
5	1946	7	14	21.29	44	43.99	10.32	16	24.56	2.69	28	27.7

Fig. A-IV.5. Ejemplo del archivo generado en el control de calidad: *seriedatos\_tepstdQC.csv*

En el ejemplo de la figura A-IV.5, al analizar los casos del 1 al 5, se observa que el dato que requiere verificación detectado por RCLimindex es el valor de temperatura máxima (tmax), ya que el valor contenido en los datos es mayor que el umbral superior

especificado (tmaxup). Un análisis cuidadoso se requiere en cada línea del archivo *seriedatos\_tepstdQC.csv* para identificar los valores de la serie que requieren verificación.

Previamente al control de calidad, en el directorio de trabajo únicamente se encontraban el archivo de datos (*seriedatos.txt* en este ejemplo) y el programa Rclimdex (*rclimdex.r*). Una vez que se ejecuta el procedimiento de control de calidad desde Rclimdex se crean el archivo \*.csv y los subdirectorios *índices*, *log*, *plots* y *trend* (Fig. A-IV.6). Éstos permanecerán vacíos, con excepción del subdirectorio *log* en el que se generan gráficas de las series de tiempo de cada variable en formato pdf: *seriedatos\_dtrPLOT.pdf*, *seriedatos\_prpcPLOT.pdf*, *seriedatos\_tmaxPLOT.pdf* y *seriedatos\_tminPLOT.pdf* (Fig. A-IV.7).

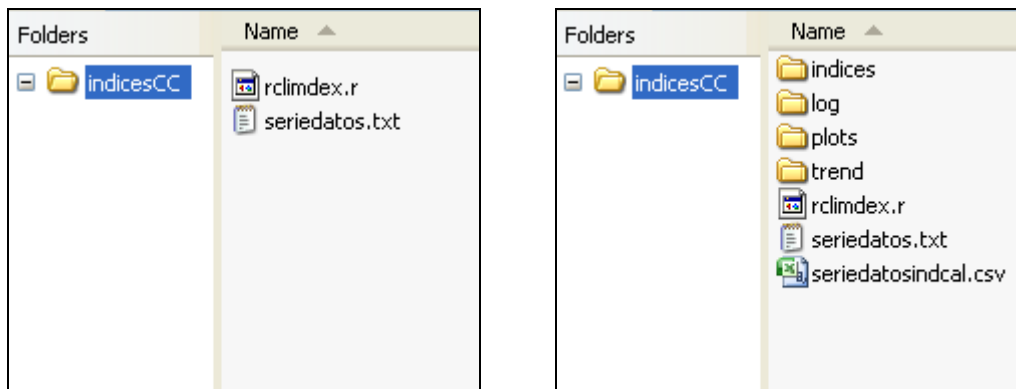


Fig. A-IV.6. Contenido del directorio de trabajo (índices CC) antes y después del procedimiento auxiliar de Rclimdex para el control de calidad.

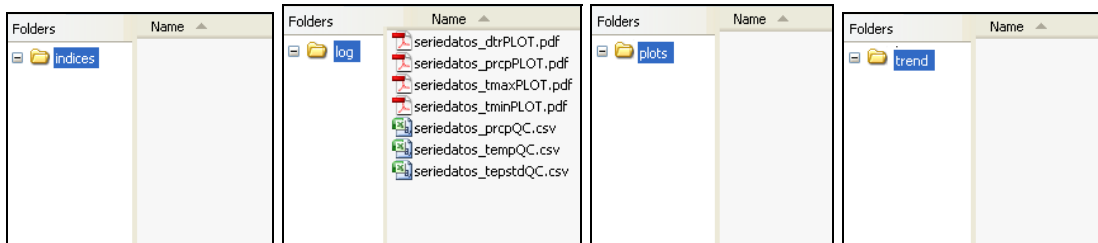


Fig. A-IV.7. Contenido de los subdirectorios *índices*, *log*, *plots* y *trend*. Las gráficas de las series de tiempo y los archivos de verificación se encuentran en *log*.

En las figuras A-IV.8 se dan ejemplos del tipo de gráficas que Rclimdex produce a partir de las series de datos de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación. Los datos faltantes se marcan como círculos rojos en el eje horizontal. Los valores para verificación no se marcan en forma especial, pero una inspección visual cuidadosa de

cada gráfica permite identificar casos de comportamiento poco común de cada variable, los cuales pueden posteriormente corregirse o verificarse directamente en los datos. Una gráfica adicional se produce para el rango diurno de temperatura (dtr) derivado a partir de la diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura mínima.

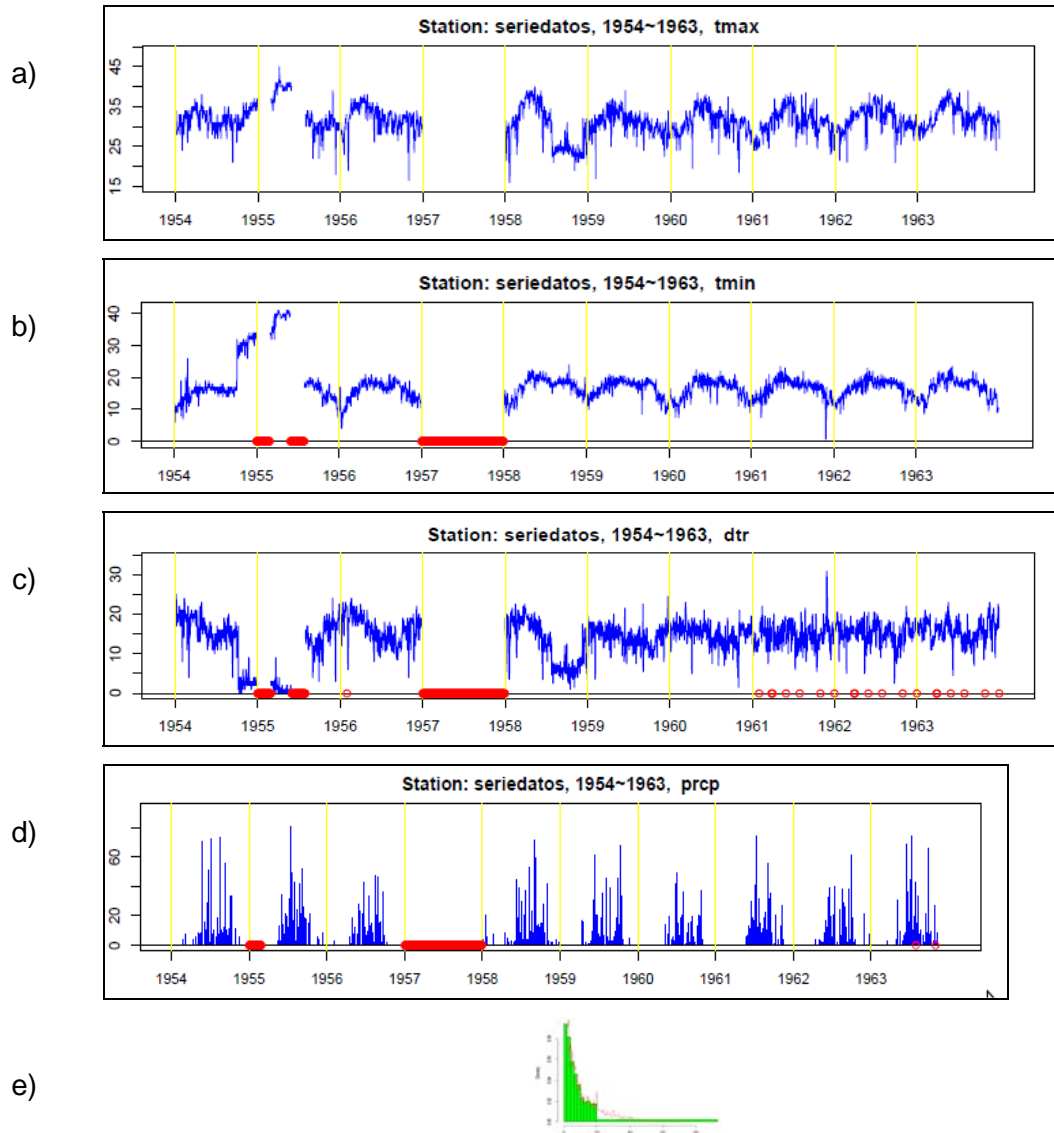


Figura A-IV.8. Ejemplo de las gráficas de Rclimdex para a) temperatura máxima, b) temperatura mínima, c) rango diurno de temperatura y d) precipitación. Los valores faltantes son indicados como círculos en rojo en el eje horizontal. En el caso de la precipitación, las series de tiempo son precedidas por un histograma de las observaciones (e).

Así, haciendo uso de los archivos donde RCLimdex ha marcado posibles errores, realizando inspección visual cuidadosa de las gráficas, y aplicando otras pruebas estadísticas (uso de percentiles, probabilidades calculadas en función de la distribución

gama en los datos de precipitación (Mosiño, 1973), y siguiendo las recomendaciones del apartado II.5 de este documento, puede procederse a realizar el control de calidad de los datos.

Los datos dudosos pueden ser descartados, en cuyo caso deberán reemplazarse por el código de dato perdido -99.9, corregidos (por ejemplo, cuando se ha verificado un error de captura o de punto decimal de acuerdo a las fuentes originales en papel) o bien dejarse como se encuentran originalmente si se logra encontrar evidencia suficiente de que se trata de un extremo meteorológico que realmente ocurrió. En cualquiera de estos casos, es muy importante mantener un registro y anotar el nombre y clave de identificación de la estación de observación, la fecha en los datos en los que se realiza la eliminación, corrección o verificación del dato, la fecha en la que tiene lugar el cambio en los datos, y el nombre, perfil profesional y datos de contacto de quien realiza la modificación. Esto permitirá en futuras verificaciones contactar al responsable de los cambios o bien, conocer la procedencia de los cambios con respecto a los datos originales. Si usted realiza control de calidad de algunas series de datos, por favor envíe un registro de las modificaciones que haga a la Coordinación del Programa de Cambio Climático del INE, con el fin de que sus hallazgos se incorporen en el registro nacional de análisis de datos de cambio climático.

Siguiendo con el ejemplo de esta sección, si los datos originales se encuentran en un archivo llamado `seriedatos.txt`, es recomendable que antes de realizar cualquier eliminación, cambio o verificación de valores en los datos realice una copia llamada `seriedatos.original.txt`, de manera que los datos de la fuente original siempre estén disponibles. El registro de los cambios que realice puede guardarlo en un archivo llamado `seriedatos.cambios-nombre.txt`, etc.

Una vez completado el control de calidad, deberá proceder a la aplicación de una prueba de homogeneidad de los datos (Sección II.6), si los datos son homogéneos puede finalmente proceder al cálculo de los índices de cambio climático (Sección II.7).

## APÉNDICE V. USO DE RHtest EN LA PRUEBA DE HOMOGENEIDAD

Elija un directorio y subdirectorio de trabajo para las pruebas de homogeneidad, por ejemplo *indicesCC* y dentro de éste un subdirectorio llamado “*htests*”. Copie en el subdirectorio de trabajo *indicesCC\htests* el programa *RHtestsV3.r* y haga también una copia de los datos para los que ha completado el control de calidad (*seriedatos.txt* en los ejemplos del Apéndice IV). Para el uso de RHtest, inicie el ambiente del software R y usando los menús seleccione el directorio creado (en este ejemplo “*indicesCC\htests*”) y cargue el código fuente (source) del programa *RHtestsV3.r* (figura A-V.1).

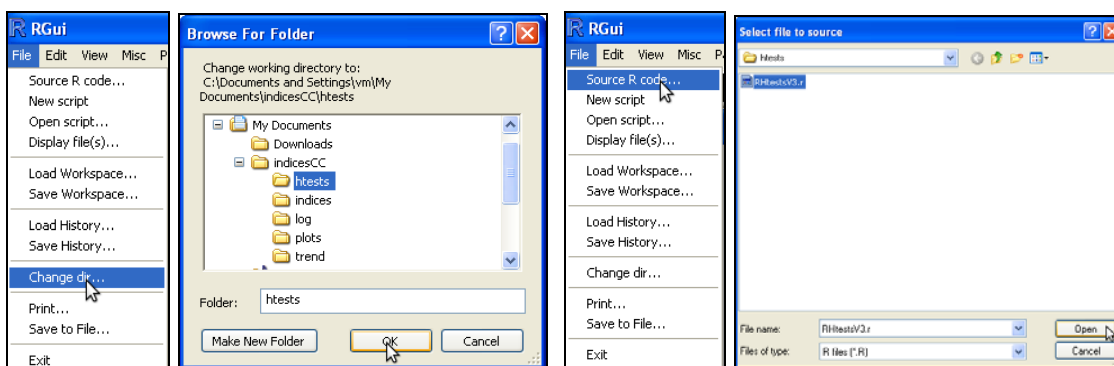


Figura A-V.1. Estableciendo el directorio de trabajo y cargando el código de RHtests.

Teclee el comando “`StartGUI()`” para utilizar las funciones de *RHtestsV3* en el modo de interfaz gráfica de usuario, o teclee en la línea de comandos la función a ejecutar de acuerdo al Manual del Usuario de *RHtestsV3* (disponible en el sitio del ETCCDI [http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/RHtest/RHtestsV3\\_UserManual.doc](http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/RHtest/RHtestsV3_UserManual.doc)).

A partir de la versión 3, *RHtests* incluye nuevos algoritmos para el ajuste de discontinuidades (series no homogéneas) en los datos de temperatura y precipitación. Estos cambios en el software han sido realizados por los científicos desarrolladores del mismo con el fin de fomentar que los índices de cambio climático sean calculados utilizando únicamente series homogéneas. Sin embargo, debido a las complejidades que el proceso de homogeneización de series implica, y dado que estas complejidades se incrementan en climas de latitudes tropicales (como es el caso de México), recomendamos ampliamente no realizar homogeneización de series sin la ayuda de un

experto en el tema. Esta recomendación conlleva que el cálculo de los índices se realice únicamente con las series climáticas que sean razonablemente homogéneas una vez completado el proceso de control de calidad.

Al aparecer el menú de RHtestsV3 (figura A-V.2) el primer paso es transformar los datos (seriedatos.txt) de la escala diaria a escala mensual, para ello elija la opción “Transform data”; en el área de mensajes de RHtests verá los nombres de los archivos mensuales derivados de su archivo de datos diarios (*seriedatos.txt*); los archivos mensuales de interés que son generados son nombrados como *seriedatos\_tmaxMLY.txt*, *seriedatos\_tminMLY.txt*, *seriedatos\_prcpMLY.txt*. Otros archivos también son generados.

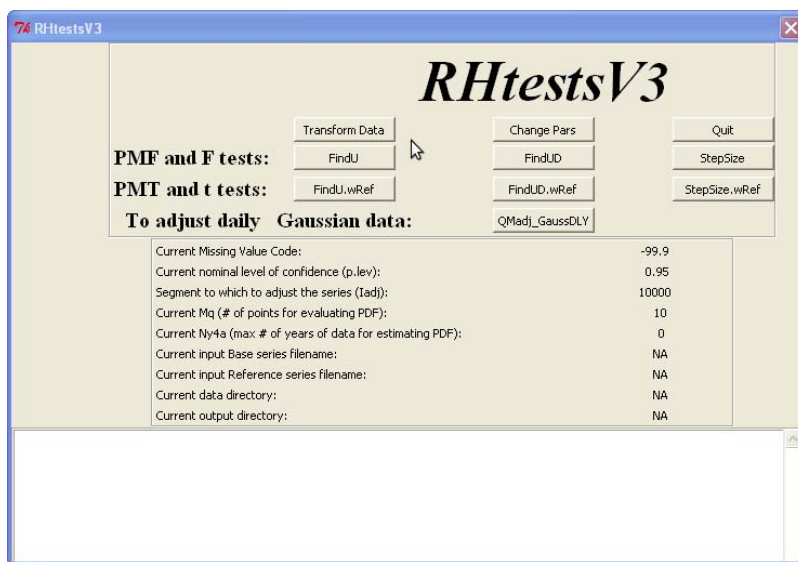


Figura A-V.2. Interfaz gráfica de RHtestsV3.

En seguida, deberá seleccionarse la función a utilizar para la prueba de homogeneidad: FindU (para probar la homogeneidad de series mensuales sin incluir series de referencia), o FindU.wRef (para probar la homogeneidad de series mensuales incluyendo series de referencia); las funciones FindUD y FindUD.wref son las equivalentes para la escala diaria.

En la mayoría de los casos para los propósitos de esta guía, sólo se utilizará la función FindU, ya que en la mayoría de las estaciones de México no se han establecido series de referencia. Si desea profundizar más en el tema del análisis de homogeneidad y la homogeneización de datos climáticos, debe referirse al manual de RHtestsV3.

Seleccione la función FindU y cambie el nombre del archivo al que corresponda a las series transformadas a la escala mensual (*seriedatos\_tmaxMLY.txt*, *seriedatos\_tminMLY.txt*, *seriedatos\_prcpMLY.txt*) y presione OK.

La función FindU creará un subdirectorío llamado output que contiene los archivos *seriedatos\_tmaxMLY\_mCs.txt*, *seriedatos\_tmaxMLY\_1Cs.txt* y *seriedatos\_tmaxMLY\_Ustat.txt* (y los equivalentes para temperatura mínima y precipitación). De éstos, el archivo *seriedatos\_tmaxMLY\_mCs.txt* contiene la información sobre los puntos de cambio que pueden hacer la serie no homogénea. El contenido de este archivo es del tipo

2 changepoints in Series /indicesCC/htests/seriedatos_tmaxMLY.txt									
1	Yes	19480300	(1.0000-1.0000)	0.950	561.1067	(	39.9793-	53.3880)	
1	Yes	20000400	(1.0000-1.0000)	0.950	61.3350	(	40.0415-	53.4766)	

Donde la primera línea indica el número de puntos de cambio y la serie a la que se aplicó la prueba y los significados de las columnas de la línea 2 en adelante son: la primera columna indican el tipo de punto de cambio del que se trata (tipo 1 o tipo 0); la segunda columna indica si el punto de cambio es estadísticamente significativo (“Yes”= sí es un punto de cambio significativo o “No”, no es un punto de cambio significativo, “?” puede o no ser significativo; “YifD” es significativo si está documentado con metadatos); la tercera columna contiene la fecha en la que se observó el punto de cambio en la serie (marzo de 1948); la cuarta columna, indica entre paréntesis, los intervalos de confianza del valor p al 95%; la quinta columna indica el valor p nominal; y las últimas tres columnas con los valores estadísticos de la prueba de homogeneidad aplicada (prueba t de máxima penalización o prueba F de máxima penalización) y sus intervalos de confianza al 95%.

Idealmente, la serie no debería de contener ningún tipo de cambio significativo para poder ser utilizada en el cálculo de índices de cambio climático, a menos de que dicho cambio estuviera bien documentado y fuera debido únicamente al clima y no a ningún factor artificial del proceso de medición. Este requerimiento reducirá significativamente el número de estaciones factibles de analizar. Algunas opciones consisten en reducir el período de la serie hasta que ésta no tenga puntos de cambio significativos, o bien incursionar en la homogeneización de series, tema que sale de los alcances de esta guía. El uso de RHtests aquí describo es extremadamente básico, la documentación detallada de las pruebas y mayores referencias se encuentran en el manual del usuario (Wang y Feng, 2010) disponible en el sitio del ETCCDI.



## REFERENCIAS

- Adger, W. N., I. Lorenzoni, and K. O'Brien, 2009: *Adapting to climate change*. Cambridge University Press.
- Aguilar, E., I. Auer, M. Brunet, T. Peterson, and J. Wieringa, 2003: Guidelines on Climate Metadata and Homogenization. *WCDMP*, **53**, 55.
- Aguilar, E., T. C. Peterson, P. R. Obando, R. Frutos, J. A. Retana, M. Solera, J. Soley, I. G. Garcia, R. M. Araujo, A. R. Santos, V. E. Valle, M. Brunet, L. Aguilar, L. Alvarez, M. Bautista, C. Castanon, L. Herrera, E. Ruano, J. J. Sinay, E. Sanchez, G. I. H. Oviedo, F. Obed, J. E. Salgado, J. L. Vazquez, M. Baca, M. Gutierrez, C. Centella, J. Espinosa, D. Martinez, B. Olmedo, C. E. O. Espinoza, R. Nunez, M. Haylock, H. Benavides, and R. Mayorga, 2005: Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **110**.
- Alexander, L. V., X. Zhang, T. C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A. Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, K. R. Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D. B. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci, and J. L. Vazquez-Aguirre, 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **111**.
- Alexandersson, H. and A. Moberg, 1997: Homogenization of Swedish temperature data .1. Homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology*, **17**, 25-34.
- Anderson, M., L. Holcombe, R. Flory, and J. P. Renaud, 2008: Implementing low-cost landslide risk reduction: a pilot study in unplanned housing areas of the Caribbean. *Natural Hazards*, **47**, 297-315.
- Brohan, P., J. J. Kennedy, I. Harris, S. F. B. Tett, and P. D. Jones, 2006: Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new data set from 1850. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **111**.
- Brunet, M. and D. López-Bonillo, 2001: *Detecting and Modelling Regional Climate Change*. 1a ed. Springer, 651 pp.
- Brunet, M., O. Saladie, P. Jones, J. Sigro, E. Aguilar, A. Moberg, D. Lister, A. Walther, and C. Almarza, 2008: *A Case-Study / Guidance on the Development of Long-Term Daily Adjusted Temperature Datasets*. WMO-TD-1425 ed. WMO.
- Daly, C., 2006: Guidelines for assessing the suitability of spatial climate data sets. *International Journal of Climatology*, **26**, 707-721.
- Gandin, L. S., 1988: Complex Quality-Control of Meteorological Observations. *Monthly Weather Review*, **116**, 1137-1156.
- Groisman, P. Y., R. W. Knight, D. R. Easterling, T. R. Karl, G. C. Hegerl, and V. A. N. Razuvaev, 2005: Trends in intense precipitation in the climate record. *Journal of Climate*, **18**, 1326-1350.
- Haylock, M. R., N. Hofstra, A. Tank, E. J. Klok, P. D. Jones, and M. New, 2008: A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **113**.
- Hegerl, G. C., F. W. Zwiers, P. Braconnot, N. P. Gillet, Y. Luo, J. A. Marengo, N. Nicholls, J. E. Penner, and P. A. Stott, 2007: Understanding and Attributing Climate Change. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*

- Change.*, S. e. al., Ed., Cambridge University Press.
- IDAG, T. Barnett, F. Zwiers, G. Hegerl, M. Allen, T. Crowley, N. Gillett, K. Hasselmann, P. Jones, B. Santer, R. Schnur, P. Scott, K. Taylor, S. Tett, and A. Int Ad Hoc Detection, 2005: Detecting and attributing external influences on the climate system: A review of recent advances. *Journal of Climate*, **18**, 1291-1314.
- INE, 2009: *Guía para la elaboración de Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC)*. Instituto Nacional de Ecología, Universidad Veracruzana y Centro de Ciencias de la Atmósfera . 90. pp.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Vol. I, Cambridge University Press, 996 pp.
- Jennings, D. and W. S., 1998: *Decision Making: An integrated approach*. Pearson books.
- Jones, P. and K. Briffa, 1992: Global surface air temperature variations during the twentieth century: Part I, Spatial, Temporal and Seasonal Details. *The Holocene*, **2**, 165-169.
- Jones, P. D. and M. Hulme, 1996: Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: Methods and illustrations. *International Journal of Climatology*, **16**, 361-377.
- Jones, P. D., T. J. Osborn, and K. R. Briffa, 1997: Estimating sampling errors in large-scale temperature averages. *Journal of Climate*, **10**, 2548-2568.
- Jones, P. D. and A. Moberg, 2003: Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *Journal of Climate*, **16**, 206-223.
- Jones, P. D. and D. H. Lister, 2009: The urban heat island in Central London and urban-related warming trends in Central London since 1900. *Weather*, **64**, 323-327.
- Karl, T. R., N. Nicholls, and A. Ghazi, 1999: CLIVAR/GCOS/WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes - Workshop summary. *Climatic Change*, **42**, 3-7.
- Kleint-Tank, A., F. Zwiers, and X. Zhang, 2009: *Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation*. Vol. 72, *World Climate Data and Monitoring Program Series*, World Meteorological Organization, 56 pp.
- Lenton, T. M., H. Held, E. Kriegler, J. W. Hall, W. Lucht, S. Rahmstorf, and H. J. Schellnhuber, 2008: Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **105**, 1786-1793.
- Mileti, D., 1999: *Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States. Natural Hazards and Disasters: Reducing Loss and Building Sustainability in a Hazardous World: A Series*, Joseph Henry Press, 376 pp.
- Morss, R. E., J. K. Lazo, B. G. Brown, H. E. Brooks, P. T. Ganderton, and B. N. Mills, 2008: Societal and economic research and applications for weather forecasts - Priorities for the North American THORPEX program. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **89**, 335-+.
- New, M., M. Hulme, and P. Jones, 2000: Representing twentieth-century space-time climate variability. Part II: Development of 1901-96 monthly grids of terrestrial surface climate. *Journal of Climate*, **13**, 2217-2238.
- Nicholls, N. and W. Murray, 1999: Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes, Asheville, NC, USA, 3-6 June 1997 - Breakout Group B: Precipitation. *Climatic Change*, **42**, 23-29.
- Nicholls, N., C. Skinner, M. Loughnan, and N. Tapper, 2008: A simple heat alert system for Melbourne, Australia. *International Journal of Biometeorology*, **52**, 375-384.
- Peterson, T. C., D. R. Easterling, T. R. Karl, P. Groisman, N. Nicholls, N. Plummer, S. Torok, I. Auer, R. Boehm, D. Gullett, L. Vincent, R. Heino, H. Tuomenvirta, O.

- Mestre, T. Szentimrey, J. Salinger, E. J. Forland, I. Hanssen-Bauer, H. Alexandersson, P. Jones, and D. Parker, 1998: Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: A review. *International Journal of Climatology*, **18**, 1493-1517.
- Peterson, T. C., R. Vose, R. Schmoyer, and V. Razuvaev, 1998: Global historical climatology network (GHCN) quality control of monthly temperature data. *International Journal of Climatology*, **18**, 1169-1179.
- Peterson, T. C., 2005: Climate Change Indices. *WMO Bulletin*, **54**, 83-86.
- Peterson, T. C. and T. W. Owen, 2005: Urban heat island assessment: Metadata are important. *Journal of Climate*, **18**, 2637-2646.
- Peterson, T. C., X. B. Zhang, M. Brunet-India, and J. L. Vazquez-Aguirre, 2008: Changes in North American extremes derived from daily weather data. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **113**.
- Peterson, T. C. and M. J. Manton, 2008: Monitoring changes in climate extremes - A tale of international collaboration. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **89**, 1266-1271.
- Schellnhuber, H. J., W. Cramer, n. Nakicenovic, T. Wigley, and G. Yohe, 2006: *Avoiding dangerous climate change*. Cambridge University Press.
- Tarhule, A. and P. J. Lamb, 2003: Climate research and seasonal forecasting for West Africans - Perceptions, dissemination, and use? *Bulletin of the American Meteorological Society*, **84**, 1741-+.
- Trenberth, K. E., P. D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. R. Easterling, A. Kleint-Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J. A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden, and P. Zhai, 2007: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of WG I to the Fourth Assessment Report of the IPCC.*, S. e. al., Ed., Cambridge University Press.
- Vazquez-Aguirre, J. L., M. Brunet, and P. D. Jones, 2008: Cambios observados en los extremos de temperatura y precipitación en el estado de Veracruz, Mexico, a partir de datos diarios. *Cambio Climático Regional y sus Impactos.*, M. Brunet, E. Aguilar, and J. Sigro, Eds., Asociación Española de Climatología.
- Vincent, L. A., X. Zhang, B. R. Bonsal, and W. D. Hogg, 2002: Homogenization of daily temperatures over Canada. *Journal of Climate*, **15**, 1322-1334.
- Wang, X. L., 2003: Comments on "Detection of undocumented changepoints: A revision of the two-phase regression model". *Journal of Climate*, **16**, 3383-3385.
- Wang, X. L. L., Q. H. Wen, and Y. H. Wu, 2007: Penalized maximal t test for detecting undocumented mean change in climate data series. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **46**, 916-931.
- Wang, X. L. L., 2008: Penalized maximal F test for detecting undocumented mean shift without trend change. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **25**, 368-384.
- , 2008: Accounting for autocorrelation in detecting mean shifts in climate data series using the penalized maximal t or F test. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **47**, 2423-2444.
- Zhang, X. and F. Yang, 2003: *RClimdex (1.0) User Manual*. Climate Research Branch, Environment Canada, 23 pp.
- Zhang, X., F. Zwiers, and T. Peterson, 2008: The adaptation imperative: is climate science ready? *WMO Bulletin*, **57**.
- Zwiers, F. W., 2009: Climate Change Detection and Attribution Methods. *6th GKSS School on Environmental Research*, Lecce, Italy.

## ABREVIACIONES Y SIGLAS

AMO	Oscilación Multi-decadal del Atlántico
CCA-UNAM	Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM
CCI-OMM	Comisión de Climatología de la OMM
CRU	Climatic Research Unit, University of East Anglia
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
GPL	Licencia Pública General de la Fundación para el Software Libre
EC	Environment Canada
ENSO	El Niño – Oscilación del Sur
ETCCDI	Grupo de Expertos en Detección de Cambio Climático e Índices
INE	Instituto Nacional de Ecología
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático
NCDC	Centro Nacional de Datos Climáticos de los Estados Unidos
NOAA	Agencia Nacional para el Océano y la Atmósfera de Estados Unidos
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PDO	Oscilación Decadal del Pacífico
R	Lenguaje de programación para estadística con licencia GPL
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
UIA	Universidad Iberoamericana
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNFCCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
UV	Universidad Veracruzana

## LECTURAS RECOMENDADAS

Para conocer más sobre el tema del tiempo y el clima, se recomienda la siguiente lista de materiales disponibles en línea (consultados en el año 2010):

- Conde, C., 2006. México y el cambio climático global. Dirección General de Divulgación de la Ciencia. UNAM. México. Disponible en línea en : [http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/mexico\\_cambio\\_climatico/Mexico\\_y\\_el\\_cambio\\_climatico\\_global.pdf](http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/mexico_cambio_climatico/Mexico_y_el_cambio_climatico_global.pdf)
- Garduño, R., 2003. El veleidoso clima. Colección La Ciencia para Todos. Fondo de Cultura Económica. III Edición. México, 169 p. Disponible en línea en: <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/127/htm/veleidos.htm>
- Magaña Rueda, V. (Ed.), 2004. Los Impactos de El Niño en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Gobernación. Disponible en línea en: [http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/el\\_nino/index.html](http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/el_nino/index.html)
- Landa et al., 2008. Agua y Clima: Elementos para la adaptación al cambio climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. México. 133 p. Disponible en línea en: [http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/agua\\_y\\_clima/agua\\_y\\_clima.pdf](http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/agua_y_clima/agua_y_clima.pdf)

Para abundar en el tema de la homogeneidad de las series y los metadatos:

- WMO-TD No. 1425 / WCDMP No. 66. A Case-Study/Guidance on the Development of Long-term Daily Adjusted Temperature Datasets. Disponible en: [http://www.omm.urv.cat/MEDARE/docs/WCDMP\\_Spain\\_case\\_study-cor\\_ver\\_6\\_March.pdf](http://www.omm.urv.cat/MEDARE/docs/WCDMP_Spain_case_study-cor_ver_6_March.pdf)

Para una descripción detallada del software RClimdex y RHtest:

- Wang, X.L. y Y. Feng (2010). RHtestsV3 User Manual. Climate Research Division, Environment Canada. Disponible en <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/software.shtml>

Para ejemplos de aplicación de los índices y sus usos en adaptación:

- WMO-TD No. 1500 / WCDMP No. 72. Guidelines on Analysis of Extremes in a Changing Climate in Support of Informed Decisions for Adaptation. Disponible en: [http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/wcdmp\\_series/documents/WCDMP\\_72\\_TD\\_1500\\_en\\_1.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/wcdmp_series/documents/WCDMP_72_TD_1500_en_1.pdf)

## SITIOS DE INTERNET RELACIONADOS

Portal de Cambio Climático del Instituto Nacional de Ecología:

[http://cambio\\_climatico.ine.gob.mx/](http://cambio_climatico.ine.gob.mx/)

Servicio Meteorológico Nacional:

<http://smn.cna.gob.mx/>

Sitio técnico del ETCCDI en Environment Canada (RClimdex y RHTest):

<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/>

Grupo de Expertos en Detección de Cambio Climático e Índices:

<http://www.clivar.org/organization/etccdi/etccdi.php>

Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático:

<http://www.ipcc.ch/>

Organización Meteorológica Mundial:

[http://www.wmo.int/pages/index\\_es.html](http://www.wmo.int/pages/index_es.html)

Centro Nacional de Datos Climáticos de los Estados Unidos de América:

<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html>

Red de cooperación científica y tecnológica sobre técnicas de homogeneización:

<http://www.homogenisation.org>

Información histórica de ciclones tropicales:

<http://weather.unisys.com/hurricane/index.html> y <http://www.nhc.noaa.gov/>

Mapas a escala diaria de los Reanálisis NCEP-NCAR:

<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>

Sitio del Proyecto de Detección e índices de Cambio Climático en México:

<http://zimbra.ine.gob.mx/pdcc/>

Sitio del Primer Taller de índices y Detección de Cambio Climático en México:

<http://zimbra.ine.gob.mx/tallerIndices/>