

**Guía de Apoyo para el Desarrollo de Planes de  
Gestión de Riesgos Climáticos para  
Organismos Operadores de Agua y  
Saneamiento en México**

**Proyecto ME229390**

30 de junio de 2022

### Descargo de Responsabilidad

Este informe ha sido elaborado para La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable en México) a través de su programa "Empresas de Agua y Saneamiento para Mitigación del Cambio Climático" (WaCCliM) (el "Cliente") por Wood Environment & Infrastructure Solutions (Wood), una división de Wood Canada Limited (el "CONSULTOR") y está sujeto a las siguientes limitaciones, calificaciones y exenciones de responsabilidad:

1. El informe está destinado al uso exclusivo del Cliente, incluidas sus filiales y los terceros contratistas y consultores contratados por el Cliente de vez en cuando en relación con el Proyecto, y no puede ser utilizado o confiado de ninguna manera o para cualquier propósito por cualquier otra parte.
2. El CONSULTOR no será responsable de ninguna interpretación o recomendación hecha por otros, incluyendo cualquier determinación con respecto a cualquier venta por parte del Cliente o cualquier compra por parte de cualquier tercero o cualquier valoración con respecto al Proyecto basada total o parcialmente en los datos, interpretaciones y/o recomendaciones generadas por el CONSULTOR en el informe.
3. El informe se refiere únicamente a las condiciones meteorológicas generales observadas regionalmente en México.
4. El informe no se extiende a ningún defecto latente ni a ninguna otra deficiencia del Proyecto que no hubiera podido ser razonablemente descubierta por dicha observación, con la excepción de cualquier defecto latente u otra deficiencia de este tipo de la que el CONSULTOR tuviera conocimiento real.

## Índice de Contenidos

1.0	Resumen Ejecutivo .....	2
2.0	Alcance de la Guía .....	2
3.0	Descripción de los Pasos Metodológicos y PIEVC.....	2
4.0	Explicación de los Parámetros Clave y Datos Para Los Escenarios .....	4
5.0	Explicación de los Parámetros Clave y Datos Para Los Escenarios .....	5
5.1	Lista de Variables Climáticas.....	6
5.2	Trayectorias de Concentración Representativas (RCP) .....	6
5.3	Consideración a la Infraestructura.....	7
6.0	Recopilación y Proyección de Datos .....	8
7.0	Desarrollo y Presentación de Escenarios .....	8
7.1	Consideraciones de RCP.....	8
7.2	Evaluación de la Probabilidad.....	8
7.3	Análisis climático (Ejemplos).....	9
7.4	Evaluación de los riesgos .....	13
7.5	Niveles de riesgo.....	13
7.6	Componentes de la Infraestructura e Interacciones con el Clima .....	14
7.7	Niveles de Riesgos Finales.....	15
8.0	Conclusiones.....	16
9.0	Listado de Acrónimos y Definiciones.....	17
10.0	Referencias .....	18

## Lista de Figuras

Figure 1 - Resumen del protocolo PIEVC .....	4
--	---

## Lista de Tablas

Tabla 1 - Parámetros Climáticos.....	4
Tabla 2 - Riesgos de la Infraestructura .....	5
Tabla 3 - Lista de Variables Climáticas.....	6
Tabla 4 - Resumen de las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP) .....	7
Tabla 5 - Consideración a la Infraestructura.....	7
Tabla 6 - Factores de Puntuación de la Probabilidad de Ocurrencia del Clima .....	9
Tabla 7 - Ejemplo de la Puntuación de la Probabilidad .....	11
Tabla 8 - Ejemplo de Riesgos del Cambio Climático .....	12
Tabla 9 - Valores de Gravedad de los Impactos (Factores de Puntuación).....	13
Tabla 10 - Distribución de las Interacciones por Nivel de Riesgo y RCP .....	15

## 1.0 Resumen Ejecutivo

Wood Environment & Infrastructure Solutions, una división de Wood Canada Limited (Wood), ha sido contratada por La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH para completar una Guía de Apoyo Para el Desarrollo de Planes de Gestión de Riesgos Climáticos para Organismos Operadores (O.O.) de Agua y Saneamiento en México (la Guía).

Como está escrito por Corona y Castro (2019), los O.O. de agua y saneamiento pueden ser de carácter público o concesionado a un privado, cuyo objetivo principal es la prestación de servicio para suministro de agua potable, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales. De acuerdo con el Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y Tratamiento de Aguas Residuales en Operación publicado en 2015 por CONAGUA, al cierre del mismo año, México contaba con un total de 874 plantas potabilizadoras de agua y 2,477 instalaciones de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Adicionalmente, los O.O. tienen una tarea difícil para cumplir con las expectativas de los usuarios. Las tarifas bajas, el alto consumo de agua y un marco legal intrincado han llevado a una extracción de agua insostenible, altos costos de energía, alta pérdida de agua y tratamiento inadecuado de las aguas residuales, lo que contribuye a altas emisiones de gases de efecto invernadero (GHG, *Greenhouse Gases o Gases de Efecto Invernadero*) y baja resiliencia climática. El cambio climático servirá para intensificar estos desafíos que enfrentan los O.O.

Entonces, dependiendo del tipo de planta, cada O.O. tendrá diferentes variables a considerar al desarrollar un Plan de Gestión de Riesgos Climáticos, cada una de las cuales cambia debido a las diferencias climáticas regionales y los materiales utilizados, y los riesgos causados por el cambio climático.

Después de leer esta guía, los O.O. tendrán la información necesaria para iniciar el proceso de desarrollo de un Plan de Gestión del Cambio Climático.

## 2.0 Alcance de la Guía

El alcance de esta Guía es proporcionar la O.O. con una descripción general del proceso relacionado con el desarrollo e importancia de un Plan de Gestión de Riesgos Climáticos. La Guía:

- Describir la metodología y las 5 fases del Protocolo del Comité de Vulnerabilidad de Ingeniería de Infraestructura Pública (PIEVC).
- Definir el alcance de la guía.
- Explicar los parámetros y datos clave para adaptarse a las tendencias.
- Explicar los parámetros clave y datos para ajustar las tendencias del escenario de línea base.
- Describir el proceso de recopilación y proyección de datos.
- Describir cómo desarrollar y presentar escenarios.
- Escribir conclusiones y recomendaciones.

## 3.0 Descripción de los Pasos Metodológicos y PIEVC

Se utiliza un Plan de Gestión de Riesgos Climáticos, el Protocolo PIEVC para la evaluación de la vulnerabilidad de la Infraestructura y la adaptación a un clima cambiante. El Protocolo PIEVC es reconocido internacionalmente como un enfoque práctico y confiable para evaluar la vulnerabilidad de la infraestructura a los impactos potenciales del cambio climático.

La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, en asociación con [el Instituto de Riesgo Climático \(CRI\)](#), lidera el componente internacional del Programa PIEVC. Con la asistencia de

expertos canadienses, el proyecto GIZ “Enhancing Climate Services for Infrastructure Investments” o “Mejora de los Servicios Climáticos Para Inversiones en Infraestructura (CSI)” ha aplicado el Protocolo PIEVC en México, Brasil, Costa Rica, Vietnam y la cuenca del Nilo (ver [PIEVC Internacional](#)).

Funcionalmente, el Protocolo es un proceso de cinco etapas que incluye lo siguiente:

**Etapas 1 Definición del proyecto:** se centra en el desarrollo de una descripción general de la ubicación de la instalación, de la evaluación de vulnerabilidad, de detalles sobre la infraestructura, el clima histórico y la identificación de los principales documentos y fuentes de información que se utilizarán.

**Etapas 2 Recopilación y suficiencia de datos:** se centra en la descripción de aspectos de la infraestructura que se evaluará y la identificación de datos climáticos y meteorológicos relevantes (datos existentes/históricos, así como proyecciones futuras y probabilidad de ocurrencia).

**Etapas 3 Evaluación de riesgos:** implica la identificación de los componentes de la infraestructura que probablemente sean sensibles a los cambios en parámetros climáticos específicos. El protocolo utiliza un proceso de matriz de evaluación para asignar una probabilidad y una gravedad estimadas a cada interacción potencial.

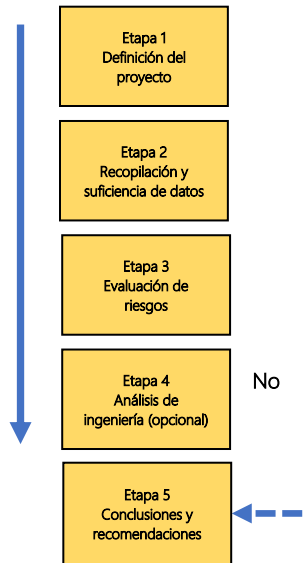
**Etapas 4 Análisis de ingeniería:** se centra en las interacciones entre el clima y la infraestructura que requieren una evaluación adicional.

**Etapas 5 Conclusiones y recomendaciones:** proporciona una indicación de si se requiere una acción correctiva para mejorar la infraestructura y acciones de gestión para dar cuenta de los cambios en la capacidad de la infraestructura.

Por supuesto, un aspecto muy importante durante la aplicación del Protocolo es:

- Observar las condiciones del sitio de primera mano.
- Identificar cualquier característica o condición que pueda requerir estudios o investigaciones adicionales.
- Comprender el estado del O.O. e identificar cualquier limitación del sitio que pueda influir el desarrollo de un Plan de Gestión del Cambio Climático.

A continuación, se muestra una descripción gráfica del proceso PIEVC:



**Figure 1 - Resumen del protocolo PIEVC**

#### 4.0 Explicación de los Parámetros Clave y Datos Para Los Escenarios

Una consideración muy importante es que el clima de México es muy variado. El Trópico de Cáncer divide el país en zonas templadas y tropicales. La tierra al norte del paralelo veinticuatro experimenta temperaturas más bajas durante los meses de invierno. Al sur del paralelo veinticuatro, las temperaturas son bastante constantes durante todo el año y varían únicamente en función de la elevación. El norte del país generalmente recibe menos precipitación que el sur. Como resultado, cada Plan de Gestión de Riesgos Climáticos debe ser específico para la ubicación de cada O.O. Como resultado, la justificación de la selección de un parámetro climático se basó en el potencial del parámetro en la región del O.O. Este estudio analizó la frecuencia y magnitud de los siguientes parámetros climáticos (Tabla 1):

**Tabla 1 - Parámetros Climáticos**

▶ Temperaturas Extremas	▶ Incendios Forestales
▶ Precipitación	
▶ Sequia	
▶ Tormentas	
▶ Huracanes y Tormentas Tropicales	
▶ Inundación	

El tipo de material de la infraestructura del O.O. es otra consideración importante. Por ejemplo, un edificio construido con concreto será más resistente que uno construido con madera. Como resultado, más tormentas con vientos fuertes pueden causar daños a un edificio de madera, pero no al edificio de cemento. En otro ejemplo, un edificio eléctrico en un área baja puede estar sujeto a mayores inundaciones, lo que

aumenta el riesgo de pérdidas de energía. Por ello, la infraestructura debe ser estudiada y considerada en la evaluación del riesgo (Tabla 2).

**Tabla 2 - Riesgos de la Infraestructura**

▶ Cimentación	▶ Vías de acceso
▶ Muros	▶ Áreas de estacionamiento
▶ Columnas	▶ Generador de emergencia
▶ Trabes y Losas	▶ Tanque de almacenamiento de combustible exterior
▶ Pisos	▶ Instrumentación exterior
▶ Instalaciones	▶ Paisajismo
▶ Tubería exterior	▶ Vallas
▶ Pasarelas y escaleras	▶ Canal de drenaje
▶ Azotea	▶ Gestión de drenaje

El análisis de riesgos incluyó la elaboración para el horizonte temporal de 2050 utilizando un escenario RCP (Representative Concentration Pathway o Vía de Concentración Representativa), que es una trayectoria de concentración de gases de efecto invernadero (no emisiones) adoptada por el [Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático](#) (IPCC). Como ejemplo, los escenarios RCP 4.5, 7.0 y 8.5 se utilizan para evaluar los escenarios de riesgos identificados como bajo (4.5), medio (7.0) o alto (8.5), todos los cuales pueden compararse durante un análisis.

## 5.0 Explicación de los parámetros clave y datos para los escenarios

Comprender los parámetros clave y los datos disponibles es fundamental para desarrollar un plan de gestión del cambio climático. Esto se debe a que los datos de referencia ayudan a definir las necesidades de una organización y los posibles desafíos que provocará el cambio climático. Entonces, los datos ayudarán a:

- Sensibilizar sobre las consecuencias del cambio climático.
- Proporcionar información sobre los factores que influyen en la sensibilidad, la exposición y la capacidad de adaptación de un sistema y respaldar la priorización de los riesgos que deben abordarse.
- Destacar las vulnerabilidades y ayudar a identificar dónde se puede necesitar una acción temprana y posibles respuestas de adaptación, que pueden incluir un cambio en la base del diseño de ingeniería para reflejar una condición climática futura más onerosa más allá de los códigos actuales de construcción y diseño correspondientes.
- Monitoreo de cambios en el clima y riesgo en el tiempo y generación de conocimiento sobre la efectividad de las acciones de adaptación aplicadas.

Los datos desarrollados a través del proceso de evaluación ayudarán a los O.O. a incorporar de manera efectiva la adaptación al cambio climático en el diseño, desarrollo y gestión de los activos existentes y planificados.

Por esas razones, los parámetros climáticos que describen los fenómenos climáticos y meteorológicos relevantes a un O.O. son de tanta importancia.

En el caso de las fuentes de datos climáticos, no son exhaustivas. Por esa razón, la información climática se genera a partir de la revisión de lo que está disponible en las fuentes existentes.

Dado que la ciencia del clima avanza continuamente, una revisión no debe interpretarse como una caracterización exhaustiva y permanente de las proyecciones climáticas históricas o futuras, y debe ser revisada periódicamente.

## 5.1 Lista de Variables Climáticas

La justificación de la selección de un parámetro climático se basa en el potencial del parámetro para afectar a la vulnerabilidad de la infraestructura de un O.O. debido a un suceso extremo o persistente.

Los ejemplos en Tabla 3 son:

**Tabla 3 - Lista de Variables Climáticas**

▶ Temperatura Máxima	▶ Tormentas
▶ Días Muy Calientes	▶ Tornados
▶ Precipitación Total Anual	▶ Tornados
▶ Precipitación Diaria Máxima	▶ Huracanes y Tormentas Tropicales
▶ Días Secos	▶ Inundación
▶ Sequias/Periodos Secos	▶ Incendio Forestales

En combinación o sola, cada variable climática tiene el potencial de impactar un O.O., específicamente cuando ocurre el cambio climático. Prepararse para esos impactos es, por lo tanto, muy importante.

Dado que no existe un diseño y/o una configuración definitiva de los Modelos Climáticos Globales (MCG) o modelos de circulación global, es necesario tener en cuenta un grupo o un conjunto de proyecciones de MCG a la hora de realizar las evaluaciones. El hecho de que no es aconsejable considerar un único modelo o un pequeño subconjunto de modelos para la proyección del cambio climático está ampliamente documentado en la literatura publicada. Los análisis estadísticos de un conjunto de proyecciones permiten presentar una gama de resultados esperados. Por ello, es típico en la investigación y los análisis climáticos considerar las estadísticas de la media o de la mediana del conjunto, respectivamente, de las proyecciones del cambio climático (impulsadas por un escenario) como una estimación central de la reacción del sistema climático a un escenario.

Por esta razón, la revisión de los datos climáticos durante una evaluación de la resiliencia da preferencia a las fuentes de datos que han basado sus análisis subyacentes en un enfoque de conjunto que comprende múltiples escenarios de climas.

## 5.2 Trayectorias de Concentración Representativas (RCP)

Debido a que también se desconocen las emisiones futuras de gases de efecto invernadero se han creado simulaciones de MCG para una serie de posibles escenarios de emisiones. El IPCC apoyó el desarrollo de varias Trayectorias de Concentración Representativas (*Representative Concentration Pathway o RCP*) como parte de una nueva iniciativa para el Quinto Informe de Evaluación "AR5" (Taylor et al. 2012). Las RCP 4.5, 7.0 y 8.5 reflejan varios niveles de esfuerzo de reducción de los impactos negativos del cambio climático



con los números correspondientes a los niveles potenciales del forzamiento radiativo<sup>1</sup> que posiblemente sean alcanzados en 2100. Por ejemplo, el RCP 8.5 supone un aumento de la trayectoria del forzamiento radiativo en el sistema climático mundial que alcanzará los 8.5 W/m<sup>2</sup> en 2100. Las principales características de cada RCP figuran en la Tabla 4.

**Tabla 4 - Resumen de las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP)**

RCP	Escenario
4.5	Estabilización sin exceder la trayectoria a 4.5 W/m <sup>2</sup> con estabilización después de 2100
7.0	Estabilización sin exceder la trayectoria a 7.0 W/m <sup>2</sup> con estabilización después de 2100
8.5	Aumento de la trayectoria del forzamiento radiativo que alcanza 8.5 W/m <sup>2</sup> en 2100.

**Fuente: IPCC (2021).**

### 5.3 Consideración a la Infraestructura

Además, se debe dar plena consideración a la infraestructura de una planta (Tabla 5). Eso incluye:

**Tabla 5 - Consideración a la Infraestructura**

▶ Cimentación	▶ Vías de acceso
▶ Muros	▶ Áreas de estacionamiento
▶ Columnas	▶ Generador de emergencia
▶ Trabes y Losas	▶ Tanque de almacenamiento de combustible exterior
▶ Pisos	▶ Instrumentación exterior
▶ Instalaciones	▶ Paisajismo
▶ Tubería exterior	▶ Vallas
▶ Pasarelas y escaleras	▶ Canal de drenaje
▶ Azotea	▶ Gestión de drenaje
▶ Bombas	

Como ejemplo, una planta que se construye en un valle, cerca de un río, y donde se espera que las tormentas de lluvia aumenten con el tiempo, pueden estar sujetas a inundaciones con mayor frecuencia. Si la planta no tiene el diseño para resistir fuertes lluvias frecuentes, niveles de agua más altos y vientos más fuertes, entonces correrá un mayor riesgo debido al potencial de pérdidas operativas o de personal.

<sup>1</sup> Variación, expresada en W m<sup>-2</sup>, de la irradiación neta (la descendente menos la ascendente) en la tropopausa o en la parte superior de la atmósfera, debida a una variación de un impulsor externo del cambio climático (IPCC 2022)

## 6.0 Recopilación y Proyección de Datos

Los datos de infraestructura se recopilan a través de:

- Mapas.
- Diagramas.
- Informes existentes.
- Una inspección visual en el sitio.

Los datos climáticos históricos se obtienen del Servicio Meteorológico Nacional Gobierno de México (SMN) (Información Estadística Climatológica de México). El SMN es el organismo encargado de proporcionar información sobre el estado del tiempo a escala nacional y local en nuestro país. El Servicio Meteorológico Nacional, depende de la Comisión Nacional del Agua ([CONAGUA](#)), la cual forma parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales ([SEMARNAT](#)).

A partir del examen de los escenarios climáticos más pertinentes para la guía, las proyecciones a utilizar para el desarrollamiento de los escenarios climáticos son los siguientes:

- Escenario optimista: RCP 4.5.
- Escenario intermedio: RCP 7.0.
- Escenario pesimista: RCP 8.5.

## 7.0 Desarrollo y Presentación de Escenarios

### 7.1 Consideraciones de RCP

Las cifras de cada escenario representan la cantidad de energía adicional (en  $W/m^2$ ) añadida al balance energético de la Tierra como resultado del aumento de los gases de efecto invernadero. El nuevo conjunto de resultados de la modelación climática, conocido como [CMIP6](#) (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 o Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 6), ha sustituido las proyecciones RCP 6.0 por las proyecciones RCP 7.0. Actualmente, el escenario RCP 7.0 se considera el escenario de referencia. Otras proyecciones disponibles, por ejemplo, RCP 2.6, se consideran ahora poco realistas, ya que habrían requerido que los gases de efecto invernadero ya hubieran alcanzado su punto máximo y estuvieran disminuyendo a principios de esta década. Estos tres escenarios son los que mejor reflejan el clima futuro probable en la región de un O.O.

### 7.2 Evaluación de la Probabilidad

El proceso de evaluación de la probabilidad de ocurrencia de un parámetro climático se llevó a cabo identificando primero la frecuencia histórica. En algunos casos, los datos pertinentes se presentaron en un formato que podía relacionarse directamente con la probabilidad mientras que, en otros casos, un formato directamente comparable era ininteligible o inalcanzable. Se utilizó un sistema de puntuación por el que se asignó una puntuación entre 0 y 5 a cada parámetro relacionando subjetivamente la frecuencia conocida o calculada con uno de los términos descriptivos.

En la Tabla 6 se presentan los factores de puntuación de la probabilidad de ocurrencia del parámetro climático (cuán probable es que el parámetro climático ocurra en el futuro) obtenidos de la Guía de Selección de Alto Nivel (*High Level Screening Guide o HLSG*) del Protocolo PIEVC desarrollado por *Engineers Canada* (Ingenieros de Canadá) en asociación con *Natural Resources Canada* ([NRCCan](#)) entre 2005 y 2012 y que se basa en una estructura matricial de 5 x 5.

**Tabla 6 - Factores de Puntuación de la Probabilidad de Ocurrencia del Clima**

Puntuación	Descripción	Impacto	Método
1	Muy bajo	Muy baja frecuencia de ocurrencia, intensidad o cambio en el contexto nacional mexicano.	Menor que el percentil 20 de los datos
2	Bajo	Baja frecuencia de ocurrencia o intensidad en el contexto nacional mexicano.	Entre el percentil de 20 y 40 de los datos
3	Moderado	Frecuencia mediana de ocurrencia, intensidad o cambio en el contexto nacional mexicano.	Entre el percentil de 40 y 60 de los datos
4	Alto	Alta frecuencia de ocurrencia. Intensidad o cambio en el contexto nacional mexicano.	Entre el percentil de 60 y 80 de los datos
5	Muy alto	Muy alta frecuencia de ocurrencia, intensidad o cambio en el contexto nacional mexicano.	Mayor que el percentil 80 de los datos

La Tabla 7 es un ejemplo de cada parámetro climático, las tendencias históricas y futuras y la probabilidad de ocurrencia (el valor "P") para los RCP 4.5, 7.0 y 8.5.

El proceso se inicia con la pregunta "¿cuál es la probabilidad de que un evento ocurra en un año determinado?" Por ejemplo, un parámetro climático con una frecuencia anual histórica de 0.5 se consideraría que el evento climático se produciría, de media, una vez cada dos años. Teniendo en cuenta los términos descriptivos disponibles, el término "moderado/posible" es el que mejor representa la probabilidad de que se produzca en un año determinado. En otras palabras, no es en absoluto seguro que se produzca todos los años.

Siguiendo el mismo razonamiento anterior, los parámetros con puntuaciones de probabilidad conocidas o calculadas superiores a 2 se consideraron probables en un año determinado basándose simplemente en el registro histórico.

Los fundamentos anteriores proporcionan los puntos de referencia relacionales considerados para esta evaluación. Se mantuvo la coherencia a lo largo del proceso de evaluación utilizando un conjunto de rangos de frecuencia relacionados con las puntuaciones de la PIEVC. Mediante este mecanismo, cuando se disponía de frecuencias, se asignaba la puntuación de probabilidad correspondiente.

### 7.3 Análisis climático (Ejemplos)

La Tabla 8. es un ejemplo de un análisis en el área de los auxiliares de un O.O. en los Municipios del Rincón. En ésta se presentan las temperaturas más bajas de todo México. Por lo tanto, ni el valor absoluto de las altas temperaturas ni sus cambios son algo que represente un riesgo significativo.

En el mismo ejemplo, la precipitación es un factor de riesgo moderado, ya que la precipitación en el lugar se encuentra en el promedio para los estándares mexicanos (unos 600 mm/año), así como la media de la lluvia máxima diaria (~36 mm). Se espera que las precipitaciones disminuyan en el lugar (así como en todo México), aunque quizás en menor medida que en todo México.

Por el otro lado, la sequía es un factor de alto riesgo y probablemente represente el mayor riesgo para el O.O. El número de días consecutivos sin lluvia varía desde 2 días en la estación húmeda hasta 20 días en los meses secos, para un promedio anual de 11 días entre eventos de lluvia. Se espera que este promedio aumente hasta en 4 días, colocando al sitio entre los más altos para los cambios observados en México. Esta misma dinámica se demuestra también al examinar el otro parámetro de la sequía (SPEI), que indica una tendencia hacia un clima más seco (SPEI de -0,3 en el escenario RCP 8.5), siendo el cambio más o menos promedio para México.

Las tormentas eléctricas son un factor de riesgo bajo para los estándares mexicanos, y se prevé que aumentarán ligeramente. Las inundaciones serán un factor de bajo riesgo.

Si comparamos los Municipios del Rincón con un lugar como Ciudad del Carmen en Campeche, donde las temperaturas son altas, las tormentas son frecuentes, los vientos de tormenta son muy fuertes, los huracanes pasan con frecuencia, el terreno está al nivel del mar y la infraestructura se construye a nivel del suelo, por lo que las inundaciones tienen un alto impacto. En ese ejemplo, la planificación para el cambio climático es más importante para evitar pérdidas crecientes en la infraestructura y la población.

**Tabla 7 - Ejemplo de la Puntuación de la Probabilidad**

Parámetro Climático		Definición	Clima Histórico (1981 – 2010) <sup>1</sup>	P de la Base histórica	P Futuro en 2050 RCP4.5	P Futuro en 2050 RCP7.0	P Futuro en 2050 RCP8.5
Temperaturas Extremas	Temperatura Máxima	Temperatura máxima registrada en un periodo de 24 horas hasta la mañana del día siguiente, promediada en un año (°C)	27.8	1	1	1	2
	Días Muy Calientes	Número promedio de días por año con temperaturas >35°C.	2.9	1	1	1	1
Precipitación	Precipitación Total Anual	Precipitación total promedio por año, incluye todos tipos de precipitación (mm/año)	616.3	3	3	2	2
	Precipitación Diaria Máxima	Precipitación máxima diaria promediada por año (mm)	36.3	3	3	3	3
Sequia	Días Secos	Número promedio de días consecutivos con < 0.2 mm de lluvia (un día seco) por año. Valores P son mensurados como anomalías desde el valor histórico.	11.0	N/A	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	Sequías/Periodos Secos	Valor promedio anual de SPEI (Negativo = Más Seco, Positive = Más Lluvioso).	N/A	N/A	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Tormentas	Tormentas	Frecuencia de tormentas; número de días por año con al menos 1 relámpago dentro de un radio de 20 m de distancia del sitio	17.9	1	2	2	2
	Tornados	Número promedio de tornados por año dentro de un radio de 50 km de distancia del sitio	0	1	1	1	1
Huracanes y Tormentas Tropicales		Frecuencia e intensidad de huracanes y tormentas tropicales dentro de un radio de 200 km de distancia del sitio.	6	1	1	1	1
Inundación		Número de inundaciones desde fuentes cercanas	0	1	1	1	1
Incendios Forestales		Número promedio de incendios forestales por año dentro de un radio de 20 km de distancia del sitio.	24.5	2	2	3	3

**Tabla 8 - Ejemplo de Riesgos del Cambio Climático**

Auxiliares	Material de construcción	Ejemplo de Riesgos del Cambio Climático												
		Alta temperatura (máx.)	Temperatura Máxima	Días muy calientes	Precipitación total anual	Precipitación total anual	Precipitación máxima diaria	Días secos	Sequía/períodos secos	Tormentas eléctricas	Tornados	Huracanes/Tormentas Tropicales	Inundación	Incendios forestales
Generador de emergencia		No	No	No	No	No	No	No	No	Daños que afectan a las operaciones	Daños que afectan a las operaciones	Daños que afectan a las operaciones	Daños que afectan a las operaciones	Daños graves que requieren reparaciones importantes
Tanque de almacenamiento de combustible exterior	concreto	No	No	No	No	No	No	No	No	Daños que afectan a las operaciones	Daños que afectan a las operaciones	Daños que afectan a las operaciones	Daños que afectan a las operaciones	Daños estructurales graves que requieren reparaciones importantes
Instrumentación exterior	tubo conductil	No	No	No	No	Infiltración de agua compromete la función	Infiltración de agua compromete la función	No	No	Daños que afectan a las operaciones	Daños que afectan a las operaciones	Infiltración de agua compromete la función	Infiltración de agua compromete la función	Daños graves que requieren reparaciones importantes
Bombas exteriores	acero	No	No	Aumentar el tiempo de funcionamiento y la carga, incrementando así el desgaste	No	Aumentar el tiempo de funcionamiento y la carga, incrementando así el desgaste	Aumentar el tiempo de funcionamiento y la carga, incrementando así el desgaste	Aumentar el tiempo de funcionamiento y la carga, incrementando así el desgaste	Aumentar el tiempo de funcionamiento y la carga, incrementando así el desgaste	Daños estructurales que afectan a la funcionalidad	Daños estructurales que afectan a la funcionalidad	Daños estructurales que afectan a la funcionalidad	Daños estructurales que afectan a la funcionalidad	Daños estructurales graves que requieren reparaciones importantes

## 7.4 Evaluación de los riesgos

La clasificación o prioridad de la interacción entre el peligro del cambio climático y el componente de la infraestructura se realiza aplicando el Protocolo PIEVC, que define la prioridad de un efecto climático como  $Riesgo = Probabilidad \times Gravedad (R = P \times S)$ . Estos términos se definen como sigue:

**P** (Puntuación de la probabilidad de ocurrencia del clima)

Este valor refleja la expectativa de cambio de una variable climática bajo la influencia del cambio climático, tal y como se determina a partir del análisis de la ciencia del clima. Como se muestra en la Tabla 9, las probabilidades varían de muy bajas (puntuación de 1) a muy graves (puntuación de 5).

**S** (Puntuación de la gravedad del impacto)

Este valor refleja la gravedad prevista de la interacción entre el peligro del cambio climático y el componente de la infraestructura. Este valor se ha obtenido basándose en el juicio de la ingeniería y en la experiencia previa con proyectos de infraestructura similares. Como se muestra en la Tabla 9, la gravedad varía desde muy baja (puntuación de 1) hasta muy grave (puntuación de 5).

**Tabla 9 - Valores de Gravedad de los Impactos (Factores de Puntuación)**

Puntuación	Descripción	Justificación propuesta
1	Muy baja	Impactos muy bajos / algún cambio medible
2	Menor	Impactos menores / Pérdida leve de utilidad o función
3	Moderado	Pérdida moderada de utilidad o función
4	Severo	Pérdida significativa de la capacidad de servicio o de la función
5	Muy grave	Pérdida grave/sustancial de la función o daño extremo o pérdida del activo

**R** (Prioridad de la puntuación del efecto climático)

Este valor de prioridad se utiliza para obtener una medida cuantitativa de la clasificación del riesgo.

## 7.5 Niveles de riesgo

Para el ejemplo de los Municipios del Rincón en Guanajuato, se han asignado tres categorías de niveles de riesgo de interacción entre el clima y las infraestructuras, tal y como se define en el protocolo PIEVC. De una puntuación total máxima de 25, una puntuación de  $\leq 7$  se califica de riesgo bajo, mientras que una puntuación  $> 19$  se califica de riesgo alto, definido como sigue:

**R > 19**

"Alta" posibilidad de un efecto grave. Las interacciones en este rango deben dar lugar a recomendaciones de diseño.

**7 < R ≤ 19**

"Media" posibilidad de un efecto importante. Para estos efectos, no se sabe si la gravedad o la duración del impacto podrían desencadenar la necesidad de adoptar nuevas medidas.

**R ≤ 7**

Posibilidad "baja" de un efecto. Estas interacciones entre la infraestructura y el clima suelen excluirse de los análisis posteriores.

## 7.6 Componentes de la Infraestructura e Interacciones con el Clima

La Tabla 8 presenta un ejemplo de parte de un análisis (área de los auxiliares) para un O.O. en los Municipios del Rincón y de la posibilidad de un peligro de cambio climático y los componentes de la infraestructura. La fila superior es el peligro de cambio climático identificado y la columna de la izquierda presenta los componentes de la infraestructura. Una interacción positiva se indica con una breve descripción del peor caso posible. Un potencial insignificante de interacción se indica con un no. El objetivo de este ejercicio es identificar las amenazas climáticas y los componentes que deben ser considerados para un análisis más profundo.

El proceso para estimar las posibles respuestas del rendimiento de la infraestructura suele basarse en un conjunto de métricas clave. No todas estas métricas se aplican a todas las interacciones y casi siempre hay que tener en cuenta más de una métrica. Se han tenido en cuenta los siguientes aspectos para determinar la gravedad potencial del impacto de los cambios previstos en una variable climática:

### Diseño estructural

- Seguridad, como la capacidad de carga
- La deflexión, como la deformación permanente
- Consideraciones sobre el diseño de los cimientos

### Funcionalidad de la infraestructura

- Nivel de capacidad efectiva (a corto, medio y largo plazo)
- Equipamiento (selección de componentes, diseño, proceso y consideraciones de capacidad)

### Rendimiento de la infraestructura (desempeño)

- Nivel de servicio, capacidad de servicio, fiabilidad
- Rendimiento de los materiales

### Operaciones y mantenimiento

- Aspectos estructurales
- Aspectos de equipamiento
- Funcionalidad y capacidad efectiva
- Aspectos relacionados con el personal

### Respuesta a emergencias

- Tormenta, inundación, daños por agua

El proceso también se basa en el documento de orientación Climate Lens (Lente Climática) del Gobierno de Canadá, disponible en:

<https://www.infrastructure.gc.ca/pub/other-autre/cl-occ-eng.html>

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC 2014), la vulnerabilidad al cambio climático es el grado de susceptibilidad de un sistema a los efectos adversos del cambio climático, incluida la variabilidad y los extremos climáticos, y su incapacidad para hacerles frente. La vulnerabilidad es una función del carácter, la magnitud y el ritmo del cambio y la variación climáticos a los que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación.

Estos tres últimos términos se definen como sigue:



- **Exposición:** la presencia de personas, medios de vida, especies o ecosistemas, funciones, servicios y recursos ambientales, infraestructuras o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente.
- **Sensibilidad:** el grado en que un sistema o especie se ve afectado, ya sea de forma adversa o beneficiosa, por la variabilidad o el cambio climático. El efecto puede ser directo (por ejemplo, un cambio en el rendimiento de los cultivos en respuesta a un cambio en la media, el rango o la variabilidad de la temperatura) o indirecto (por ejemplo, los daños causados por un aumento en la frecuencia de las inundaciones costeras debido a la subida del nivel del mar).
- **Capacidad de adaptación:** la habilidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluyendo la variabilidad y los extremos climáticos) para moderar los daños potenciales, aprovechar las oportunidades o hacer frente a las consecuencias.

### 7.7 Niveles de Riesgos Finales

Los niveles de riesgo están determinados por la cantidad de interacciones entre los peligros del cambio climático y los componentes de la infraestructura. La distribución de las interacciones por nivel de riesgo y RCP se presentan como riesgos bajos, medianos o altos, La Tabla 10 es un ejemplo:

**Tabla 10 - Distribución de las Interacciones por Nivel de Riesgo y RCP**

Niveles de riesgo	RCP 4.5	RCP 7.0	RCP 8.5
<b>Alto</b>	0	0	1
<b>Medio</b>	22	29	30
<b>Bajo</b>	96	104	102

En este caso, el valor alto de riesgo RCP 8.5 se refiere al aumento anticipado de días secos entre ahora y 2050.

## 8.0 Conclusiones

El desarrollo de un Plan de Gestión de Riesgo Climático es un componente crítico para las operaciones sostenibles de los O.O. Esto es particularmente cierto porque los sistemas naturales en México y el mundo están cambiando rápidamente. Por eso, comprender los riesgos para las operaciones es fundamental a medida que nos acercamos al año 2050.

Esta guía no puede hablar de todas las circunstancias en todos los lugares, sin embargo, el conocimiento procedimental proporcionado por esta guía brindará a todos los O.O la oportunidad de evaluar sus circunstancias, buscar ayuda y planificar a través del desarrollo de un Plan de Gestión de Riesgos del Cambio Climático. Solo así se pueden identificar y mitigar los riesgos asociados a una operación.

Ahora es el momento de actuar.

## 9.0 Listado de Acrónimos y Definiciones

CMIP6	Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 6
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua (organismo desconcentrado de la SEMARNAT)
CRI	Instituto de Riesgo Climático
CSI	Servicios Climáticos Para Inversiones en Infraestructura
GHG	Gases de Efecto Invernadero
GIZ	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
HLSG	Guía de Selección de Alto Nivel
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
MCG	Modelos Climáticos Globales
NRCan	Recursos Naturales de Canadá
O.O.	Organismos Operadores
PIEVC	Protocolo del Comité de Vulnerabilidad de Ingeniería de Infraestructura Pública
RCP	Trayectorias de Concentración Representativas
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SMN	Servicio Meteorológico Nacional (organismo público dependiente de la CONAGUA)
SPEI	Índice Estandarizado de la Evapotranspiración de la Precipitación
W/m <sup>2</sup>	Watts (vatios) por Metro Cuadrado
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

## 10.0 Referencias

Corana B. and Castro, E., 2019: Organismos Operadores de Agua y Saneamiento, ¿Por Qué Considerar Medidas de Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático? <https://iki-alliance.mx/organismos-operadores-de-agua-y-saneamiento-por-que-considerar-medidas-de-adaptacion-y-resiliencia-al-cambio-climatico>

Agard, V and K. Emmanuel, 2017: Clausius-Clapeyron Scaling of Peak CAPE in Continental Convective Storm Environments. *J. Atmos Sci*, V. 74, p. 3043-3054. DOI: 10.1175/JAS-D-16-0352.1

Allen, S. K, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley; Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5\\_SPM\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf), pp. p. 3–29, 2013.

Brooks, Harold, Severe thunderstorms and climate Change. National Severe Storm Laboratory/ NOAA. <http://assets.climatecentral.org/presents/AMS-ShortCourse/Brooks.pdf> [Consultado en Jun/2022].

Engineers Canada, "The Public Infrastructure Engineering Vulnerability Committee Protocol," Toronto/Ottawa: PIEVC Program Partnership, vol. 10, no. [www.pievc.ca](http://www.pievc.ca), 2016.

Flato, G., Marotzke, J., Abiodun, B., Braconnot, P., Chou, S.C., Collins, W., Cox, P., Driouech, F., Emori, S., Eyring, V., Forest, C., Gleckler, P., Guilyardi, E., Jakob, C., Kattsov, V., Reason C. and Rummukainen M., "Evaluation of climate models; in *Climate Change 2013: The Physical Science Basis (Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change)*, (ed.)," T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley; Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA,, p. 741–866., 2013

Four Twenty-Seven, Climate Change and Wildfires: Projecting Wildfire Potential, 2020 <https://427mt.com/2020/08/06/projecting-future-wildfire-potential/>, [Consultado en Jun/2022]

Global Fire Data; Analysis Tool - <http://www.globalfiredata.org/analysis.html>. [Consultado en Jun/2022]

IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change], "Summary for policymakers; in *Climate Change 2013: The Physical Science Basis; Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, (ed.)," T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M.Tignor,

IPCC, 2014: Anexo II: Glosario [Mach, K.J., S. Planton y C. von Stechow (eds.)]. En: *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, págs. 127-141.

IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844

Knapp, K. R., M. C. Kruk, D. H. Levinson, H. J. Diamond, and C. J. Neumann, 2010: The International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS): Unifying tropical cyclone best track data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91, 363-376. doi:10.1175/2009BAMS2755.1 [Consultado en Jun/2022]

Knapp, K. R., H. J. Diamond, J. P. Kossin, M. C. Kruk, C. J. Schreck, 2018: International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS) Project, Version 4. [indicate subset used]. NOAA National Centers for Environmental Information. doi:10.25921/82ty-9e16 [Consultado en Jun/2022]

Rios, R. A, A. Tddia, A. Grunwaldt, R. Jones, and R. Streeter: Climate Projections in Latin America and the Caribbean: Review of Existing Regional Climate Models' Outputs – Inter-American Development Bank, 2016. Washington, DC, USA. 32 pp.

Tornado Archive; Data Explorer- <https://tornadoarchive.com/home/> [Consultado en Jun/2022]

Trapp, R.J., Diffenbaugh, N.S., Brooks, H.E., Baldwin, M.E., Robinson, E.D., Pal, J.S., 2007. Changes in severe thunderstorm environment frequency during the 21st century caused by anthropogenically enhanced global radiative forcing. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, 19719–19723. doi:10.1073/pnas.0705494104  
Conagua – Servicio Meteorológico Nacional – Gobierno de Mexico - Información Estadística Climatológica; <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>. [Consultado en Jun/2022]

Villanueva L., H., Peña, A., & Hansen, J. C., 2021: Wind Atlas for Mexico (WAM) Observational Wind Atlas. DTU Wind Energy. DTU Wind Energy E No. E-0224

World Bank Group, "Climate Change Knowledge Portal for Development Practitioners and Policy Makers", <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/Mexico> [Consultado en Jun/2022]

Z. Hausfather, "CMIP6: the next generation of climate models explained," *Carbonbrief*, 12 201. Available: <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained>. [Consultado en Jun/2022].

Z. Hausfather, "CMIP6: the next generation of climate models explained," *Carbonbrief*, 12 2019. <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained>. [Consultado en Jun/2022]