



RESOLUCIÓN DE PRESIDENCIA EJECUTIVA N° 050-2020-SENAMHI/PREJ

Lima, 21 de julio de 2020

VISTA:

La Nota de Elevación N° D000119-2020-SENAMHI-DMA de fecha 17 de julio de 2020, de la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica, y;

CONSIDERANDO:

Que, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI, es un Organismo Público Ejecutor adscrito al Ministerio del Ambiente, con personería jurídica de derecho público interno y autonomía técnica, administrativa y económica, dentro de los límites del ordenamiento legal del Sector Público;

Que, mediante Resolución Legislativa N° 26185, el Congreso de la República aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, adoptada en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y suscrita por el Perú en Río de Janeiro el 12 de junio de 1992, la cual tiene como objetivo último la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático;

Que, la Ley N° 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático, tiene por objeto establecer los principios, enfoques y disposiciones generales para coordinar, articular, diseñar, ejecutar, reportar, monitorear, evaluar y difundir las políticas públicas para la gestión integral, participativa y transparente de las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático, a fin de reducir la vulnerabilidad del país al cambio climático, aprovechar las oportunidades del crecimiento bajo en carbono y cumplir con los compromisos internacionales asumidos por el Estado ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, con enfoque intergeneracional;

Que, el numeral 2) del artículo 9 del Reglamento de la Ley N° 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático, aprobado mediante Decreto Supremo N° 013-2019-MINAM, señala que son funciones de las autoridades sectoriales para la implementación de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional, entre otras, *“Generar progresivamente estudios integrados de impacto, vulnerabilidad, riesgo y adaptación ante los efectos del cambio climático, y prever su actualización periódica según corresponda. Estos estudios son generados a nivel nacional sobre la base de información climática y lineamientos elaborados por el SENAMHI sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales y difundidos a través del SINIA y otros sistemas de información nacional, regional y local”*;

Que, por su parte la Novena Disposición Complementaria Final del referido dispositivo legal, señala que *“El SENAMHI, en un plazo máximo de noventa (90) días hábiles contados a partir de la entrada en vigencia del presente Reglamento, aprueba los lineamientos que orientan la aplicación de la información climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales en los estudios integrados de impacto, vulnerabilidad, riesgo y adaptación ante los efectos del cambio climático”*;

Que, a través de la Resolución de Presidencia Ejecutiva N° 038-2020-SENAMHI/PREJ de fecha 28 de mayo de 2020, se dispuso la prepublicación de los Lineamientos generales que orientan la aplicación de la información climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales;

Que, mediante documento del Visto, la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica, remite la propuesta de Lineamientos generales que orientan la aplicación de la información climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales, en el marco de las disposiciones efectuadas a través del Reglamento de la Ley N° 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático, aprobado mediante Decreto Supremo N° 013-2019-MINAM; y de las opiniones y sugerencias efectuadas por los interesados como consecuencia de la prepublicación del citado documento;

Que, el literal f) del artículo 11 del Reglamento de Organización y Funciones del SENAMHI, aprobado mediante Decreto Supremo N° 003-2016-MINAM, señala que es función de la Presidencia Ejecutiva expedir Resoluciones Presidenciales Ejecutivas en el ámbito de su competencia;

Que, teniendo en consideración las normas citadas, resulta necesario emitir la Resolución correspondiente que aprueba los Lineamientos generales que orientan la aplicación de la información climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales;

Con el visado del Gerente General, de la Directora de la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica, del Director de la Dirección de Hidrología, del Director de la Dirección de Agrometeorología, del Director de la Dirección de Redes de Observación y Datos, y del Director de la Oficina de Asesoría Jurídica; y,

De conformidad con la Ley N° 24031, Ley del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, modificada por la Ley N° 27188; y su Reglamento de Organización y Funciones, aprobado mediante Decreto Supremo N° 003-2016-MINAM.

SE RESUELVE:

Artículo 1.- Aprobar los Lineamientos generales que orientan la aplicación de la información climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales, el mismo que forma parte integrante de la presente Resolución.

Artículo 2.- Disponer la publicación de la presente Resolución en el Portal Web Institucional del SENAMHI (www.senamhi.gob.pe).

Regístrese y comuníquese

KEN TAKAHASHI GUEVARA
Presidente Ejecutivo
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
del Perú – SENAMHI

**LINEAMIENTOS GENERALES QUE ORIENTAN LA APLICACIÓN DE LA INFORMACIÓN
CLIMÁTICA SOBRE TENDENCIAS HISTÓRICAS, EVENTOS EXTREMOS Y PROYECCIONES DE
ESCENARIOS CLIMÁTICOS NACIONALES**

ÍNDICE

I. OBJETIVO.....	4
II. FINALIDAD	4
III. MARCO NORMATIVO	4
IV. ALCANCE	5
V. RESPONSABILIDAD.....	6
VI. SIGLAS Y DEFINICIONES.....	6
VII. PROCEDIMIENTOS PARA EL ANÁLISIS DE TENDENCIAS HISTÓRICAS, EVENTOS EXTREMOS Y ESCENARIOS CLIMÁTICOS	11
7.1. Análisis de tendencias históricas	11
7.1.1. Aspectos generales sobre información de tendencias históricas	11
a) Descripción del análisis de tendencias históricas.....	11
b) Descripción de datos para la estimación de tendencias históricas.....	11
c) Orientaciones para la estimación y expresión de tendencias históricas	12
d) Disponibilidad de tendencias históricas.....	12
7.1.2. Interpretación de las tendencias históricas	13
7.1.3. Orientaciones para la aplicación de las tendencias históricas.....	15
7.2. Análisis de eventos extremos.....	17
7.2.1. Aspectos generales sobre información relacionada a eventos extremos.....	17
a) Eventos meteorológicos extremos.....	17
b) Eventos climáticos extremos.....	18
c) Descripción de datos para la caracterización de eventos extremos y estimación de tendencias	19
d) Orientaciones para la estimación y expresión de tendencias de eventos extremos	19
e) Disponibilidad de tendencias de eventos extremos.	20
7.2.2. Interpretación de índices de extremos climáticos	20
7.2.3. Orientaciones para la aplicación de información relacionada a eventos extremos ..	22
7.3. Análisis de escenarios climáticos	23

7.3.1. Aspectos generales sobre escenarios climáticos	23
a) Datos y evaluación de modelos globales.	25
b) Generación de escenarios de cambio climático: Regionalización de modelos climáticos globales.....	25
c) Análisis de los escenarios de cambio climático e Incertidumbre	26
d) Disponibilidad de los escenarios climáticos y escenarios de cambio climático.	27
7.3.2. Interpretación de escenarios climáticos.	27
7.3.3. Orientaciones para la aplicación de escenarios climáticos.....	30
VIII. TABLA HISTÓRICA DE CAMBIOS.....	33
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
X. ANEXOS.....	38
10.1. Catálogo de Información climática disponible en la Infraestructura de Datos Espaciales del SENAMHI (IDESEP)	38
10.2. Productos y aplicaciones de la información.....	38

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Cuadro de siglas.....	6
Cuadro 2. Definiciones generales.....	7
Cuadro 3. Descripción de principales Índices de extremos climáticos (establecidos por el ETCCDI) de temperatura y precipitación para su aplicación en el país. Fuente: elaboración propia.....	20
Cuadro 4. Ejemplo de promedios y rango de cambios anuales de las series mostradas en la figura 9. Fuente: elaboración propia.	30
Cuadro 5. Tabla histórica de cambios	33
Cuadro 6. Propuestas de productos climáticos y aplicaciones orientados a cada sector. Fuente: elaboración propia.	39
Cuadro 7. Ejemplos de productos y servicios disponibles para aplicaciones en estudios de cambio climático. Fuente: elaboración propia.	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Serie de precipitación total anual y tendencia para la estación Augusto Weberbauer (Cajamarca). Fuente: elaboración propia.....	13
Figura 2. Serie de temperatura máxima media anual y tendencia para la estación La Esperanza (Piura). Fuente: elaboración propia.	14
Figura 3. Serie de temperatura máxima media anual y tendencias para dos periodos distintos (1965-2018 y 1989-2018) para la estación Arapa (Puno), se observa tasas con incrementos de temperatura distintos. Fuente: elaboración propia.	15
Figura 4. Serie y tendencia de índice días secos consecutivo (CDD) para la estación Cabanaconde (Arequipa). Fuente: elaboración propia.....	21
Figura 5. Serie y tendencia de índice días cálidos (tx90p) para la estación Calana (Tacna). Fuente: elaboración propia.	21
Figura 6. Serie de índice días secos consecutivos (CDD) y tendencias para dos periodos distintos (1965-2018 y 1989-2018) para la estación Pilluana (San Martín). Fuente: elaboración propia.	22
Figura 7. Aspectos generales para la regionalización de escenarios climáticos. Fuente: elaboración propia.	24
Figura 8. Cambios en la temperatura media en superficie para el periodo 2081-2100 forzado con un escenario de bajas emisiones RCP2.6 (izquierda), y un escenario de altas emisiones RCP 8.5 (derecha). Fuente: IPCC (2014).	28
Figura 9. Ejemplo de series temporales de cambios de a) precipitación, b) temperatura máxima y c) temperatura mínima en el periodo de 2016 al 2065, usando un ensamble de modelos climáticos globales regionalizados y dos escenarios de emisión. La incertidumbre es representada por las regiones sombreadas para el escenario de moderada emisiones RCP 4.5 (en rojo) y altas emisiones RCP 8.5 (en plomo) y las líneas punteadas corresponden al promedio de cambios de dichos escenarios. Fuente: elaboración propia.....	29

LINEAMIENTOS GENERALES QUE ORIENTAN LA APLICACIÓN DE LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA SOBRE TENDENCIAS HISTÓRICAS, EVENTOS EXTREMOS Y PROYECCIONES DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS NACIONALES

I. OBJETIVO

Establecer los lineamientos generales que orientan la aplicación de la información climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales.

II. FINALIDAD

Contar con un instrumento técnico orientador, con base científica y técnica, para la aplicación de la información climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales. Dicha información servirá como base para realizar estudios integrados generados por las autoridades sectoriales y regionales sobre el impacto, vulnerabilidad, riesgos y adaptación ante los efectos del cambio climático; así como su aplicación para el desarrollo de herramientas para la gestión integral del cambio climático.

III. MARCO NORMATIVO

Después del Acuerdo de París en el 2015 y su ratificación ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en el 2016, se instala en el Perú el Grupo de Trabajo Multisectorial de naturaleza temporal encargado de generar información técnica para orientar la implementación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (GTM-NDC).

En abril de 2018 se promulgó la Ley N° 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático, que establece los principios, enfoques y disposiciones generales para la gestión participativa, transparente e integral del cambio climático a fin de reducir la vulnerabilidad del país, aprovechar las oportunidades del crecimiento bajo en carbono y cumplir con los compromisos asumidos ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Dicha Ley Marco, reconoce como instrumentos de gestión a la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático, las Estrategias Regionales de Cambio Climático, las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) y al Reglamento de la Ley Marco sobre Cambio Climático.

En diciembre 2019 se promulga el Reglamento de la Ley N° 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático, aprobado mediante Decreto Supremo N° 013-2019-MINAM, el cual tiene como objetivo reglamentar las disposiciones generales establecidas en la mencionada Ley, para la planificación, articulación, ejecución, monitoreo, evaluación, reporte y difusión de las políticas públicas en la gestión integral frente al cambio climático, orientada a resultados al servicio del ciudadano.

Al respecto, el numeral 2) del artículo 9 del referido dispositivo legal, precisa que son funciones de las autoridades sectoriales para la implementación de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional, entre otras, generar progresivamente estudios integrados de impacto, vulnerabilidad, riesgo y adaptación ante los efectos del cambio climático, y prever su actualización periódica según corresponda. Estos estudios son generados a nivel nacional sobre la base de información climática y lineamientos elaborados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales, que son difundidos a través del Sistema Nacional de Información Ambiental - SINIA y otros sistemas de información nacional, regional y local.

Sobre el particular, la Novena Disposición Complementaria Final del citado Reglamento, señala que el SENAMHI, aprueba los lineamientos que orientan la aplicación de la información climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales en los estudios integrados de impacto, vulnerabilidad, riesgo y adaptación ante los efectos del cambio climático.

Además, cabe destacar que existen esfuerzos nacionales que proporcionan un buen soporte legal de acciones frente al cambio climático, las cuales se señalan a continuación:

- Resolución Legislativa N° 26185, que aprueba la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- Ley N° 24031, Ley del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, modificado por la Ley N° 27188.
- Ley N° 26793, Ley de creación del Fondo Nacional del Ambiente.
- Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental
- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.
- Ley N° 29664, Ley de creación del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD).
- Ley N° 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático.
- Decreto Supremo N° 080-2002-RE, que ratifica el Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- Decreto Supremo N° 008-2005-PCM, que aprueba el Reglamento de la Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
- Decreto Supremo N° 008-2010-MINAM, que crea el Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático.
- Decreto Supremo N° 054-2011-PCM, que aprueba el Plan Estratégico de Desarrollo Nacional denominado Plan Bicentenario: El Perú hacia el 2021.
- Decreto Supremo N° 011-2015-PCM, que aprueba la Estrategia Nacional sobre Cambio Climático.
- Decreto Supremo N° 013-2019-MINAM, que aprueba el Reglamento de la Ley N° 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático.
- Resolución Suprema N° 005-2016-MINAM, que conforma el Grupo de Trabajo Multisectorial de naturaleza temporal encargado de generar información técnica para orientar la implementación de las contribuciones previstas y determinadas a nivel nacional presentadas a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
- Resolución Ministerial N° 104-2009-MINAM, que aprueba la Directiva “Procedimiento para la Evaluación y Autorización de Proyectos de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y Captura de Carbono”.
- Resolución Ministerial N° 385-2016-MINAM, que aprueba el Plan Estratégico Sectorial Multianual (PESEM) del Sector Ambiental 2017-2021.

IV. ALCANCE

De conformidad con lo establecido en el Reglamento de la Ley N° 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático, aprobado mediante Decreto Supremo N° 013-2019-MINAM, el presente documento es de aplicación para las autoridades sectoriales y regionales que generen estudios integrados de impacto,

vulnerabilidad, riesgo y adaptación ante los efectos del cambio climático, los mismos que deben ser generados sobre la base de información climática y aplicación del presente lineamiento acerca de tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales, que serán difundidos a través del SINIA y otros sistemas de información nacional, regional y local.

V. RESPONSABILIDAD

Es responsabilidad de las autoridades sectoriales y regionales, el cumplimiento de las orientaciones presentadas en el presente lineamiento.

Por su parte, el SENAMHI se encargará de generar, albergar, actualizar y publicar la información relacionada a la línea base climática y escenarios de cambio climático en su plataforma de Infraestructura de Datos Espaciales (IDSEP¹), la cual se encuentra articulada con el SINIA².

Esta responsabilidad del SENAMHI, se enmarca en sus funciones de organismo público, el cual es centralizar y procesar la información meteorológica, hidrológica, agrometeorológica y de fines específicos, para su respectivo análisis y oportuna aplicación por los organismos correspondientes.

VI. SIGLAS Y DEFINICIONES

Para los efectos del presente lineamientos se consideran las siguientes siglas en el cuadro 1 y definiciones en el cuadro 2.

Cuadro 1. Cuadro de siglas

SIGLAS O ACRÓNIMOS	DENOMINACIONES
CMIP	Coupled Model Intercomparison Project
DEF	Diciembre, Enero, Febrero (verano austral)
ETCCDI	CCI/WCRP/JCOMM Equipo de Expertos en Detección de Índices de Cambio Climático (Expert Team on Climate Change Detection and Indices)
IDSEP	Infraestructura de Datos Espaciales del SENAMHI
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
JJA	Junio, Julio, Agosto (invierno austral)
MAM	Marzo, Abril, Mayo (otoño austral)
NDC	Contribuciones Nacionalmente Determinadas (Nationally Determined Contributions)
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PISCO	Datos Interpolados Peruanos de las Observaciones Climatológicas e Hidrológicas del SENAMHI (Peruvian Interpolate data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations)
PRCP	Precipitación
RR	En el presente documento se utiliza para referirse a la lluvia acumulada diaria (Rain Rate).
SON	Septiembre, Octubre, Noviembre (primavera austral)
Tx	Temperatura máxima diaria
Tn	Temperatura mínima diaria
RCP	Ruta de Concentración Representativa (Representative Concentration Pathway)

¹ <http://idesep.senamhi.gob.pe/portalidesep/>

² <https://sinia.minam.gob.pe/>

Cuadro 2. Definiciones generales

TÉRMINOS	DEFINICIONES
Cambio climático	Cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que produce una variación en la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempos comparables (definición establecida en la Ley Marco sobre Cambio Climático).
Capacidad de campo	Según FAO (2005) se refiere a la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje.
Caracterización climática	Es la representación del clima de una región, zona o localidad mediante un análisis exploratorio de las características más importantes del comportamiento climático sobre una escala espacial y temporal. Generalmente se hace uso de datos observados en superficie (datos de estaciones meteorológicas), información de comunidades de plantas, indicadores geomorfológicos (asociados a la forma de la superficie terrestre) y otras fuentes de información (modelos climáticos globales y regionales, satélites ambientales y meteorológicos, etc.) para posteriormente generar la información climática ³ (SENAMHI, 2019a)
Caudal	Es el volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un río o canal por unidad de tiempo.
Clima	Síntesis de las condiciones meteorológicas en un lugar determinado, caracterizada por estadística (media o promedio y su variabilidad de 30 años) a largo plazo (varía de meses a miles de millones de años) de los elementos meteorológicos (temperatura, precipitación, vientos, entre otras) en dicho lugar (OMM & UNESCO, 2012)
Clima actual	Esta definición es empleada dentro del concepto de Vigilancia y Monitoreo operativo del clima ⁴ , para lo cual se estiman las “normales climatológicas reglamentarias” ⁵ cuyo periodo vigente es 1981-2010 (OMM-N°1203, 2017; OMM-N°49, 2017) ⁶ . Por otro lado, para el propósito específico de la Vigilancia del Cambio Climático y Variabilidad Climática el período de referencia fijo es 1961-1990 (OMM-N°1137, 2014; OMM – N°49, 2019) ⁷ ; sin embargo, el SENAMHI considera como periodo de referencia 1971-2000 ⁸ (SENAMHI, 2019a).
Clima futuro	Este concepto hace referencia a las condiciones del clima en los próximos años (30 años, 50 años, etc.); considerando en las proyecciones del clima futuro diferentes escenarios de emisiones, se interpreta como escenarios climáticos.
Datos climáticos	Son las observaciones climáticas históricas y actuales, así como las salidas de los modelos que cubren la información pasada y futura junto con los metadatos. (OMM, 2011)

³ Si bien la información relacionada a caracterización climática es usada en el análisis del cambio climático, esta puede ser usada como insumo referencial en otros tipos de estudios, por ejemplo en estudios de impacto ambiental.

⁴ Por ejemplo, para la elaboración de mapas climáticos mensuales y estacionales, así como la predicción climática estacional.

⁵ Las cuales se definen como los valores medios de los datos climatológicos calculados para periodos consecutivos de 30 años actualizables cada 10 años.

⁶ OMM N°1203. Disponible en: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4167.

OMM-N°49. Disponible en: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10115.

⁷ Comisión de Climatología: Decimosexta reunión. Disponible en: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5563

https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10115

⁸ Ver definición de periodo de referencia. Periodo de referencia actualizable que puede o no coincidir con el periodo de tiempo para la estimación de la normal climática reglamentaria por OMM (Charron I., 2016). <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Guidebook-2016.pdf>

Escenario de emisión	Representación de la evolución futura de las emisiones de sustancias que son radiativamente activas (por ejemplo: gases de efecto invernadero, aerosoles), basada en un conjunto coherente de supuestos (por ejemplo: el desarrollo demográfico y socioeconómico, la evolución tecnológica, la energía y el uso de la tierra) y las principales relaciones entre ellos. Los escenarios de concentraciones, obtenidos a partir de los escenarios de emisiones, suelen introducirse en un modelo climático para obtener proyecciones climáticas (IPCC, 2018). Estos escenarios de emisión son actualizables y de mejora continua.
Escenarios climático	Representación plausible ⁹ y en ocasiones simplificada del clima futuro, basada en un conjunto de relaciones climatológicas internamente coherente definido explícitamente para investigar las posibles consecuencias del cambio climático antropogénico, y que puede introducirse como datos entrantes en los modelos de impacto. (IPCC, 2013). Las proyecciones climáticas suelen utilizarse como punto de partida para definir escenarios climáticos.
Escenarios de cambio climático	Diferencia entre un escenario climático y el clima actual ¹⁰ (IPCC, 2013) ¹¹ .
Estación meteorológica e hidrológica	Son instalaciones destinadas a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas e hidrológicas en lugares seleccionados bajo normas técnicas de la OMM y del SENAMHI, para ser utilizadas en la definición del estado del tiempo, clima y agua (SENAMHI, 2013a).
Fenómeno meteorológico extremo/ Fenómeno climático extremo	Son definidos como la ocurrencia de un valor de una variable meteorológica o climática que está por encima (o por debajo) de un valor umbral cercano al extremo superior (o inferior) del rango de valores observados de la variable (IPCC, 2012). Comprenden una faceta de la variabilidad climática bajo condiciones climáticas estables o cambiantes (IPCC, 2018).
Forzamiento radiativo	Variación del flujo radiativo (descendente menos ascendente) en la tropopausa o en la parte superior de la atmósfera expresada en W/m ² , debida a una variación del causante externo del cambio climático; por ejemplo, una variación de la concentración de dióxido de carbono o de la radiación solar (IPCC, 2013). El IPCC utiliza el término «forzamiento radiativo» con el sentido específico de una perturbación externa impuesta al balance radiativo del sistema climático de la Tierra, que puede conducir a cambios en los parámetros climáticos ¹² .
Incertidumbre	Estado de conocimiento incompleto que puede deberse a una falta de información o a un desacuerdo con respecto a lo que es conocido (IPCC, 2013). La incertidumbre en escenarios climáticos proviene de tres fuentes principales: incertidumbre asociada a la respuesta de cada modelo climático global, incertidumbre asociada los escenarios de emisión, e incertidumbre asociada a la variabilidad interna del sistema climático. Adicionalmente, puede haber también incertidumbre asociada a las técnicas y modelos empleados en la regionalización de la información climática global.
Información climática	Comprende a los datos climáticos, productos climáticos y/o al conocimiento del clima (OMM, 2011).

⁹ El término plausible en este contexto se refiere que estas representaciones del clima no solo son posibles, sino que también pueden resultar admisibles o aceptables.

¹⁰ Estimado en el periodo de referencia considerado

¹¹ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf

¹² http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf

Inundación	Desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua (OMM & UNESCO, 2012).
Lámina de agua escurrida	Lámina de agua que se vierte al rebasar su depósito o cauce natural o artificial (OMM & UNESCO, 2012).
Metadatos (de la red de observación meteorológica e hidrológica)	Se refieren a la historia de la estación y de los datos cuando se aplican a mediciones y observaciones (OMM N°488).
Modelo climático	Representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, en sus interacciones y en sus procesos de retroalimentación, y que recoge todas o algunas de sus propiedades conocidas (IPCC, 2018).
Modelo climático regional	Modelo climático de mayor resolución sobre una zona limitada. Estos modelos se utilizan para reducir la escala de los resultados climáticos globales a dominios regionales específicos (IPCC, 2013).
Percentil	Conjunto de los valores de una partición que divide la población total de una distribución en partes iguales centesimales, siendo el percentil 50 el correspondiente a la mediana de la población (IPCC, 2013)
Periodo de referencia	Periodo definido para la evaluación a largo plazo del cambio climático y de la variabilidad climática, el cual abarca un periodo de 30 años. El SENAMHI considera como periodo de referencia 1971-2000 (SENAMHI, 2019a). En base a este periodo se define el clima actual promedio y se sustrae del clima futuro promedio para obtener un escenario de cambio climático.
Productos climáticos	Son síntesis derivada de los datos climáticos que combinan éstos con el conocimiento del clima para añadirle valor agregado. (OMM,2011)
Proyección climática	Es una respuesta simulada del sistema climático a diversos escenarios de emisiones o de concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles, que generalmente se obtiene de simulaciones mediante modelos climáticos (IPCC, 2018).
Pruebas no paramétricas	Son pruebas estadísticas que se realizan sin asumir que los datos presenten una distribución paramétrica particular (Wilks, 2006).
Pruebas paramétricas	Son aquellas pruebas estadísticas que son empleadas en situaciones en las que sabemos o asumimos que una distribución teórica particular es una apropiada representación para los datos y/o del estadístico de prueba (Wilks, 2006).
Reanálisis	Estimaciones de la temperatura atmosférica, viento o de otras magnitudes en el pasado, basadas en el procesamiento de datos meteorológicos u oceanográficos referentes a periodos anteriores mediante determinados modelos avanzados de predicción del tiempo con técnicas de asimilación de datos (IPCC, 2013).
Regionalización	Método consistente en extraer información de escala local hasta regional ¹³ (10 a 100 km) desde modelos que simulan el clima a mayor escala (IPCC, 2018).
Sequía (meteorológica)	Ausencia prolongada o escasez acusada de precipitación (OMM & UNESCO, 2012).
Serie histórica	También conocido como serie temporal. Se define como el conjunto de datos de una variable ordenadas en el tiempo.

¹³ Adaptado para la geografía peruana: desde punto de estación meteorológica (SENAMHI, 2014c) hasta 100 km de resolución espacial.

Sistema climático	Sistema muy complejo que consta de cinco componentes principales: atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera, y de las interacciones entre ellos. El sistema climático evoluciona en el tiempo bajo la influencia de su propia dinámica interna y por efecto de forzamientos externos, como las erupciones volcánicas o las variaciones solares, y de forzamientos antropógenos, como el cambio de composición de la atmósfera o el cambio de uso del suelo (IPCC, 2013).
Tendencia climática	Cambio en el valor de una variable, generalmente uniforme, a lo largo del tiempo (IPCC, 2013).
Tiempo atmosférico	Estado de la atmósfera en un instante dado, definido por los diversos elementos meteorológicos (OMM & UNESCO, 2012).
Trayectorias de concentración representativas (RCP por sus siglas en inglés)	Escenarios que abarcan series temporales de emisiones y concentraciones de la gama completa de gases de efecto invernadero y aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso del suelo y la cubierta terrestre (IPCC, 2014). Las palabras “representativa” y “trayectoria” significan que cada trayectoria de concentración ofrece uno de los muchos posibles escenarios que conducirían a las características específicas de forzamiento radiativo. Actualmente, el CMIP5¹⁴ trabaja con cuatro RCP cuyos nombres están en función del forzamiento radiativo hacia el año 2100: un escenario de bajas emisiones, RCP 2.6; dos escenarios emisiones moderadas, RCP 4.5 y RCP 6.0; y uno de altas emisiones, RCP 8.5. Estos escenarios de emisiones pueden variar o ser actualizados cada cierto periodo de años por el IPCC. En la generación de modelos climáticos globales (CMIP6) se incorporan las Vías Socioeconómicas Compartidas¹⁵ (SSP, por sus siglas en inglés) las cuales, en conjunto con los RCPs, permitirán analizar el cambio climático considerando los factores socioeconómicos.
Variabilidad climática	Variaciones del estado medio y a otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. (IPCC, 2013). Por lo tanto, la variabilidad climática se refiere a todas las variaciones del clima que estén por encima o debajo de sus valores promedios.

¹⁴ Quinta fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados. Mayor información en: <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip5>

¹⁵ Mayor información puede encontrarse en: O'Neill *et al.* (2016).

VII. PROCEDIMIENTOS PARA EL ANÁLISIS DE TENDENCIAS HISTÓRICAS, EVENTOS EXTREMOS Y ESCENARIOS CLIMÁTICOS

7.1. Análisis de tendencias históricas

7.1.1. Aspectos generales sobre información de tendencias históricas

a) Descripción del análisis de tendencias históricas

El análisis de tendencias históricas es el proceso central para evaluar el estado del clima en una región, y además provee una estimación general sobre las variaciones en las variables climáticas durante un periodo de tiempo específico (Mahmood & Jia, 2017). Mediante las tendencias podemos comprender la evolución histórica del clima a largo plazo ya que nos permiten tener evidencias de que el clima ha variado o no durante un determinado periodo analizado.

b) Descripción de datos para la estimación de tendencias históricas

Para la estimación se utiliza información diaria de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima los cuales deben pasar el control de calidad y contar con al menos 30 años de información continua, y en la medida de lo posible correspondientes a las décadas más recientes. En ese sentido, el SENAMHI cuenta con una base de datos diarios de temperaturas y precipitaciones tomados en estaciones y que han pasado por un proceso de control de calidad. Dicha base está disponible para su exploración y descarga mediante el siguiente enlace: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>

Otro aspecto adicional a considerar sobre las series climáticas es que estas deben ser homogéneas; es decir, que sus variaciones deben ser causadas solo por variaciones en el tiempo y clima (Conrad & Pollak, 1950), por lo que es importante remover las inhomogeneidades causadas por otros factores ajenos al tiempo y clima. Considerando que existen diferentes metodologías de homogeneización y que es un procedimiento complejo, es necesario realizar una evaluación exhaustiva empleando los metadatos y con conocimiento del clima local. En ese sentido, SENAMHI ha venido trabajando en los últimos años en la homogeneización de series de temperaturas extremas del aire, empleando diferentes métodos, contando con una base de datos estaciones homogeneizadas (SENAMHI, 2019a).

Métodos como detección emparejada y detección conjunta (Mestre *et al.*, 2013) son usados para la detección y corrección de quiebres e inhomogeneidades de un conjunto de estaciones de manera simultánea. Algunos ejemplos de homogeneización aplicados a series climáticas de estaciones en Perú pueden revisarse en SENAMHI (2015a), así como en Gubler *et al.* (2017) y Hunziker *et al.* (2018).

Por otra parte, una brecha frecuente con respecto a la información meteorológica de estaciones es que no se cuenta con registros largos y continuos sobre la región de interés. Una alternativa para dicha limitación es el uso de datos grillados de precipitación y temperaturas provenientes de PISCO¹⁶ (Aybar *et al.*, 2019). Este tipo de información grillada son los que más

¹⁶ Disponible para descargar en: <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/index.html?Set-Language=es>

se aproximan a la realidad, debido a que incorporan datos observados y de satélite para su generación¹⁷. Sin embargo, en regiones donde no existen estaciones meteorológicas, PISCO puede tener alta incertidumbre y no representar adecuadamente la variabilidad espacial, por lo que los resultados de tendencias con estos datos deben ser considerados solo como una primera aproximación y se recomienda coordinar con el SENAMHI para alternativas en este tipo de casos.

c) Orientaciones para la estimación y expresión de tendencias históricas

Para la estimación y expresión de tendencias históricas se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- ✓ La identificación de tendencias estadísticamente significativas generalmente se realiza mediante pruebas no paramétricas como la de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975; Gilbert 1987). El cálculo de la magnitud de las tendencias debe realizarse empleando métodos no paramétricos como el de la pendiente de Sen (1968), ya que estos métodos son robustos a los valores atípicos en una serie temporal.
- ✓ En lo que respecta al nivel temporal para la estimación, las tendencias de precipitación como de temperatura se calculan principalmente para el periodo anual y para los trimestres asociados a las estaciones del año: primavera (septiembre, octubre, noviembre), verano (diciembre, enero, febrero), otoño (marzo, abril, mayo) e invierno (junio, julio, agosto). La determinación de los trimestres DEF, MAM, JJA y SON permiten tener comparabilidad con otros estudios o publicaciones que se elaboran en otros países principalmente del hemisferio norte. Sin embargo, es factible incluir otros trimestres (por ejemplo: enero-marzo, febrero-abril, marzo-mayo, etc.) y/o periodos complementarios a escala mensual y semestral, acorde al régimen climático del país, incluyendo las características climáticas propias de cada región (SENAMHI, 2019a).
- ✓ Las tendencias de temperaturas máximas y mínimas son calculadas para los valores promedios del nivel temporal trabajado (anual, trimestral, entre otros); mientras que para las precipitaciones estas son estimadas a partir de los acumulados en el nivel temporal.
- ✓ En relación a las unidades, las tendencias de temperaturas generalmente se expresan en unidades de °C/década. Para el caso de precipitación, estas son expresadas en magnitud porcentual en relación al promedio¹⁸ del periodo en estudio.

d) Disponibilidad de tendencias históricas

SENAMHI pone a disposición resultados de tendencias de precipitación y temperaturas, los cuales han sido analizados en diversos estudios tanto a nivel nacional como regional y de

¹⁷ Ejemplo de aplicación de datos de PISCO para estimación de tendencias se puede encontrar en Mamani (2019): Regionalización espacial de precipitaciones mensuales en la cuenca de la vertiente del lago Titicaca-lado peruano. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional del Altiplano.

¹⁸ Mayor información del cálculo de tendencia porcentual para precipitación se puede encontrar en SENAMHI (2009).

cuencas (ver anexo 10.2 para más detalle). Asimismo, se encuentran disponibles también a través de su Infraestructura de Datos Espaciales (IDSESP).

7.1.2. Interpretación de las tendencias históricas

En la interpretación de las tendencias climáticas se debe considerar tanto el resultado de la prueba de significancia estadística, así como el signo y magnitud de la tendencia.

Para afirmar que una tendencia es estadísticamente significativa el p-valor que resulta de la prueba de significancia de Mann-Kendall debe ser menor al nivel de significancia establecido. Se recomienda un p-valor menor a $\alpha = 0.05$ (95% de confianza estadística) para afirmar que la tendencia es estadísticamente significativa.

Si la tendencia es estadísticamente significativa, se debe analizar el signo y valor de esta, estimado a través del método de pendiente de Sen. Si el signo es positivo, la tendencia de la variable analizada es de incremento; mientras que si es negativo indicaría disminución.

En relación a la precipitación, las tendencias expresadas en porcentaje pueden indicar incremento o disminución (con respecto del promedio total) durante el periodo analizado. Por ejemplo, la figura 1 muestra la serie de precipitación total anual para la estación de Augusto Weberbauer (Cajamarca). El p-valor asociado a la tendencia para dicha serie es de 0.02, el cual indica que sí es estadísticamente significativa ya que es menor a 0.05. El valor de la tendencia es de +24.7% evidenciando incremento de la precipitación total anual a lo largo del periodo comprendido entre 1965 al 2018.

En lo que respecta a temperatura máxima y mínima, las tendencias expresadas en °C/década indican la razón de cambio en una década. A manera de ejemplo la figura 2 muestra la serie de temperatura máxima media anual de la estación La Esperanza (Piura). El p-valor asociado a la tendencia es de 0.03 por lo que se puede afirmar que su tendencia es estadísticamente significativa. Además, el valor de +0.15°C/década indica aumento progresivo de la temperatura máxima.

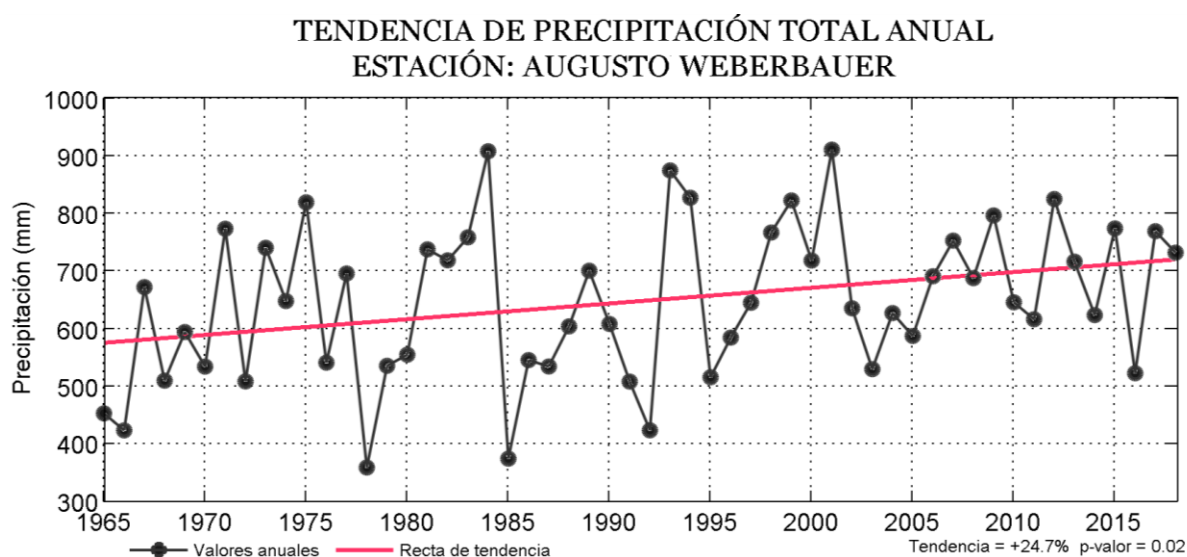


Figura 1. Serie de precipitación total anual y tendencia para la estación Augusto Weberbauer (Cajamarca). Fuente: elaboración propia.

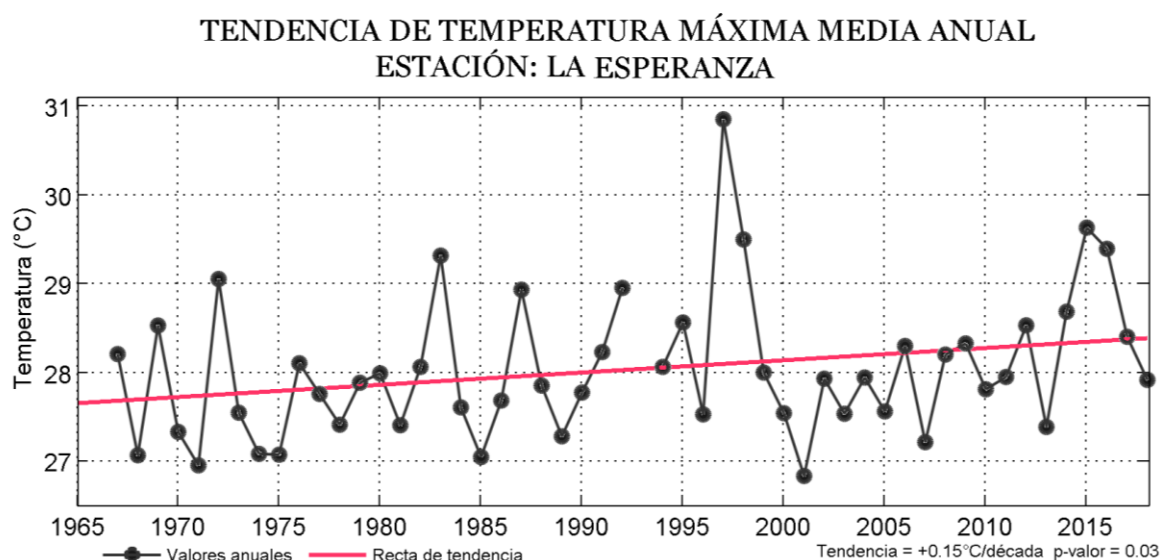


Figura 2. Serie de temperatura máxima media anual y tendencia para la estación La Esperanza (Piura).
Fuente: elaboración propia.

NOTA: Es importante resaltar que a través de las tendencias podemos tener una señal general del cambio y que puede estar asociado a distintos tipos de variabilidad natural del clima y no necesariamente al cambio climático. En tal sentido, el periodo para la estimación tiene una gran importancia en los resultados e interpretación. En estudios de cambio climático es recomendable para detectar tendencias climáticas usar series largas, continuas y de buena calidad.

Si trabajamos con un periodo corto (30 años o menos) entonces el valor de la tendencia puede estar influenciado principalmente por otros tipos de variabilidad tales como la variabilidad interanual y/o la decadal¹⁹ y no directamente por el cambio climático. Un ejemplo de esto, podemos observarlo en la figura 3, la cual muestra tendencias de temperatura máxima para la estación de Arapa (Puno) en dos periodos distintos: 1965-2018 y 1989-2018. En ambos casos, el p-valor es aproximadamente cero, lo cual indica que ambas tendencias son estadísticamente significativas; sin embargo, los valores de tendencia se diferencian considerablemente. El periodo 1989-2018 se caracteriza por ser más cálido en comparación con el resto del periodo y además cuenta con la mayor cantidad de valores máximos (años 1998, 2010 y 2016) del periodo total. La tendencia en dicho periodo es de $+0.5^{\circ}\text{C}/\text{década}$; sin embargo, no es posible afirmar con seguridad que dicho calentamiento esté atribuido directamente al cambio climático, dado que en este periodo se cuentan con valores más altos de temperaturas asociadas principalmente a la variabilidad interanual; y además, después del año 2002 se observa una década más cálida, posiblemente asociada a la variabilidad decadal la cual influye en el valor de la tendencia. Por otro lado, si consideramos todo el periodo (1965-2018) y su tendencia de $+0.27^{\circ}\text{C}/\text{década}$, notamos con mayor claridad que la serie presenta periodos cálidos y fríos producto de la variabilidad natural; y además un calentamiento progresivo a lo largo de todo el tiempo y que podría estar asociado al cambio climático. Por consiguiente, mientras más largo sea el periodo de análisis, hay mayores probabilidades de que la tendencia

¹⁹ Este tipo de oscilación natural ocasiona que haya décadas más cálidas/frías o húmedas/secas y pueden estar asociados a forzantes oceánicas como la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés) o la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO).

sea representativa del cambio climático, por lo cual es importante considerar la mayor cantidad de información que se tenga disponible.

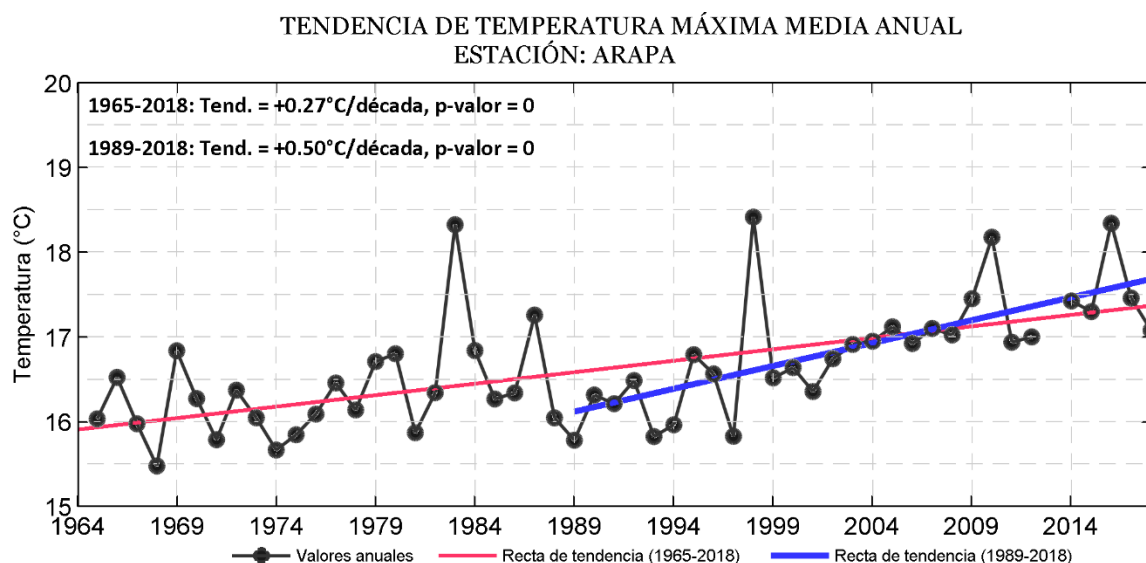


Figura 3. Serie de temperatura máxima media anual y tendencias para dos periodos distintos (1965-2018 y 1989-2018) para la estación Arapa (Puno), se observa tasas con incrementos de temperatura distintos. Fuente: elaboración propia.

7.1.3. Orientaciones para la aplicación de las tendencias históricas

Para la aplicación de las tendencias históricas se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El principal énfasis del análisis de tendencias es de proveer una señal general (incremento o disminución) y cambio en magnitud durante el periodo histórico, pero no provee detalles de las dinámicas interna del clima (Ahmad et al. 2014).
- Como se mencionó previamente, los resultados de tendencias no necesariamente puede ser consecuencia directa del cambio climático sino que pueden estar influenciados por otros tipos de variabilidad natural del clima, es por ello que la longitud del periodo de los datos es un factor importante a considerar para el análisis de tendencias históricas.
- No se debe utilizar las tendencias históricas para extrapolar o proyectar datos a futuro. El análisis del clima futuro debe ser realizado mediante los escenarios climáticos. Asimismo, las decisiones basadas en una tendencia histórica deben tomarse con precaución (Charron, 2016).
- Cabe destacar que para el análisis de tendencias de un grupo de estaciones se debe tener presente el mismo periodo de comparación debido a que el análisis de sus resultados es dependiente del periodo de análisis. Por ejemplo, un periodo recomendado es de 1965 a 2019.

Una buena descripción de las tendencias históricas de temperaturas y precipitación y la variabilidad puede contribuir a distintos estudios de impacto y vulnerabilidad relacionados a hidrología, agricultura, bosque, salud entre otros sectores ya que nos van a proporcionar evidencias de variación en el clima durante el periodo analizado. Además, esta información puede contribuir al análisis de vulnerabilidad y riesgo climático en el país. A continuación se indican algunos posibles ejemplos de aplicación de esta información en sectores o áreas temáticas²⁰ :

- **Agricultura:** El análisis de las tendencias climáticas puede ser importante para zonas en donde la agricultura es una de las principales actividades económicas. Teniendo evidencias de cambios históricos en los patrones de temperaturas y precipitación se puede identificar las regiones donde la producción de cultivos están siendo afectados debido a variaciones en la disponibilidad del recurso hídrico o también por el incremento de temperaturas. Dichas variaciones pueden propiciar cambios en la aptitud agroclimática del cultivo, desplazamiento de cultivo, cambios en la frontera agrícola y aparición de plagas o enfermedades.
- **Agua:** Un buen conocimiento de las tendencias históricas en temperatura del aire y precipitación ayudaría en estudios para la identificación de cuencas hidrográficas vulnerables al cambio climático y manejo adecuado de recursos hídricos en una cuenca²¹. De esta forma, dicha información puede ser parte del análisis de las componentes de agua para uso agrario, poblacional y energético.
- **Bosque:** Las tendencias climáticas puede brindar información de los cambios históricos en los patrones de precipitación y temperaturas sobre los ecosistemas. De este modo contribuiría al análisis de vulnerabilidad y riesgos en la biodiversidad de los bosques, de las comunidades nativas y campesinas a factores climáticos.
- **Pesca y acuicultura:** Dentro de la componente de pesca artesanal, el conocimiento de las tendencias históricas aportaría en estudios sobre análisis de posibles riesgos climáticos para la infraestructura y los procesos de los Desembarcaderos de la Pesca Artesanal. Por otro lado, las tendencias climáticas históricas pueden ser consideradas en estudios que contribuyan a la gestión del riesgo asociado al cambio climático en la evaluación de áreas para acuicultura.
- **Salud:** Puede ser considerado como parte de estudios o análisis de riesgos ante temperaturas extremas (temperaturas máximas y mínimas diarias) en la salud pública, (la relación de tendencias del clima y enfermedades). Estos estudios permitirían fortalecer la capacidad y adaptación de las poblaciones vulnerables.

Un ejemplo de análisis de tendencias climáticas orientados a la evaluación de impactos en los diferentes sectores socioeconómicos sobre regiones como Cusco y Apurímac se puede

²⁰ Estas áreas temáticas son consideradas en la implementación de las NDC. Dentro de cada una de estas áreas temáticas existen diferentes medidas de adaptación las cuales están divididas en componentes. Mayor información puede revisarse en MINAM (2018).

²¹ Ejemplo de aplicación de tendencias para el análisis de cambios hidrológicos se puede encontrar en: Vega-Jácome *et al.* (2018).

encontrar en SENAMHI (2012a)²², en el cual se han identificado tendencias en el comportamiento climático de dichas regiones. De igual manera, en SENAMHI (2010a)²³ se muestra el análisis de tendencias de precipitaciones y temperaturas en la Cuenca del Mantaro y en SENAMHI (2015)²⁴ en el estudio de Vulnerabilidad Climática de los Recursos Hídricos de las cuencas Rímac, Chillón, Lurín y parte Alta del Mantaro. Acuña (2015) y Vicente-Serrano et al. (2017)²⁵ estimaron tendencias de temperaturas máximas, y mínimas del aire para los periodos 1971-2010 y 1964-2014, respectivamente; identificando una señal de calentamiento generalizado en el país.

7.2. Análisis de eventos extremos

7.2.1. Aspectos generales sobre información relacionada a eventos extremos

a) Eventos meteorológicos extremos

De acuerdo al IPCC (2001) un evento meteorológico extremo es un evento que es raro dentro de su distribución estadística de referencia, y que normalmente es más raro que el percentil 10 o percentil 90. Sin embargo, las características de un evento extremo meteorológico pueden variar de lugar a lugar. Tomando en cuenta dicho enfoque, la caracterización de eventos meteorológicos extremos consiste en identificar aquellos días en el que la temperatura o precipitación estén por debajo o encima de determinados umbrales, los cuales pueden ser estimados por valores de percentiles (ejemplo: percentil 10 y 90 para temperaturas; y percentil 95 y 99 para precipitación). El SENAMHI cuenta con información de percentiles para precipitación²⁶ así como de temperaturas²⁷. Otras aplicaciones sobre determinación de umbrales y caracterización de eventos extremos diarios mediante percentiles pueden encontrarse en SENAMHI (2013b) y SENAMHI (2014a).

Entre los eventos meteorológicos extremos más relevantes, asociados a temperaturas y precipitación, y que forman parte de la variabilidad natural son:

- **Lluvias intensas:** De acuerdo a la RM N° 049-2020-PCM²⁸, si el evento de lluvia supera el percentil 95 es catalogada como “fuerte”, y si supera el percentil 99 es considerada como “extrema”.
- **Inundaciones:** Se producen cuando las lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de campo de suelo, el volumen máximo de transporte del río es superado y el cauce principal se desborda e inunda terrenos circundantes (SENAMHI, 2019b).
- **Friaje:** Es un evento extremo asociado a la disminución brusca de la temperatura del aire en la Amazonía, asociado al ingreso de una masa de aire frío procedente del sur del

²² <http://apusiari.regionapurimac.gob.pe/admDocumento.php?accion=bajar&docadjunto=703>

²³ <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/268>

²⁴ <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-38.pdf>

²⁵ <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-49.pdf>

²⁶ Información de umbrales de precipitación para un grupo de estaciones puede encontrarse en <https://www.senamhi.gob.pe/pdf/clim/umbrales-recipientes-absol.pdf>. En caso se requiera mayor información, esta puede ser solicitada a SENAMHI.

²⁷ Disponible en portal IDESEP, ejemplo: <http://idesep.senamhi.gob.pe/geovisoridesep/go?accion=01.01.007.03.001.512.0000.00.00> Información de otros percentiles tanto para temperatura máxima como mínima puede ser solicitado a SENAMHI.

²⁸ <https://senamhi.gob.pe/pdf/comunicados/resolucion-protocolo-aviso.pdf>

continente. Una vez que el aire frío ingresa a la selva sur (Madre de Dios), se desplaza progresivamente hacia la selva central y selva norte generando a su paso incrementos de la velocidad del viento y lluvias, pero sobre todo descensos repentinos y significativos de la temperatura del aire. Por otro lado, los friajes suelen presentarse con mayor frecuencia entre los meses de mayo a octubre; sin embargo, se han registrado casos aislados durante el verano (SENAMHI, 2019a).

- **Helada meteorológica:** Eventos en los cuales la temperatura del aire posee valores iguales o menores a los 0°C. Son frecuentes sobre 3000 msnm principalmente entre los meses de mayo a octubre (SENAMHI, 2019a).

b) Eventos climáticos extremos

Según el IPCC (2001) un evento climático extremo es un promedio del número de eventos meteorológicos sobre un cierto periodo de tiempo, un promedio el cual es extremo por sí mismo (ejemplo: lluvia en una estación del año). Complementando esta información, IPCC (2012) además señala que algunos de estos eventos pueden ser el resultado de la acumulación de un evento meteorológico que no es extremo cuando son considerados de manera independiente, como por ejemplo las sequías.

La caracterización de los eventos extremos puede realizarse también en base a percentiles o umbrales fijos establecidos. En el Perú, algunos eventos climáticos extremos que forman parte de la variabilidad natural del clima, son:

- **Eventos climáticos extremos asociados a El Niño:** Durante el desarrollo de un episodio El Niño, dependiendo de su temporalidad e intensidad, el comportamiento de las condiciones meteorológicas en el territorio nacional se alteran, provocando anomalías en el comportamiento de las lluvias y temperaturas del aire principalmente en la vertiente occidental y el Altiplano. Así, acorde a los episodios extraordinarios de El Niño en el Perú 1982-1983 y 1997-1998, se registraron lluvias intensas e incrementos de temperaturas del aire en la costa norte y déficits de precipitación en la sierra sur (SENAMHI, 2014b).
- **Eventos climáticos extremos asociados a La Niña:** Durante eventos La Niña fuerte, tanto en la región sur andina de la vertiente del Pacífico como en la vertiente del Amazonas se evidencian incrementos de lluvias importantes (Lavado y Espinoza, 2014).
- **Sequía:** Es un evento climático extremo de origen natural, que resulta de la deficiencia de lluvias considerablemente inferiores a los normales registrados, generando impactos negativos asociados a la vulnerabilidad de los sistemas expuestos. Cuando este evento se prolonga en el tiempo (meses y años), la disponibilidad de agua llega a ser insuficiente para satisfacer la demanda habitual de la sociedad y del ambiente; es así que, las sequías pueden clasificarse en meteorológica, agrícola, hidrológica, socioeconómica y ecológica (SENAMHI, 2018).

c) Descripción de datos para la caracterización de eventos extremos y estimación de tendencias

Para el análisis histórico y variabilidad de los eventos extremos se requieren datos diarios de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima con control de calidad, continua, reciente y con al menos 30 años de registros. En caso que se presentara datos faltantes, se recomienda que la información disponible sea la más reciente posible (correspondiente a las últimas décadas) y no menor a 30 años. Es importante resaltar que la información debe pasar por un proceso de control de calidad a nivel diario, ya que la confiabilidad de la información de eventos extremos así como el análisis de su variabilidad, va a depender mucho de la calidad y cantidad de los datos disponibles.

d) Orientaciones para la estimación y expresión de tendencias de eventos extremos

La definición de eventos extremos meteorológicos y climáticos puede depender de diferentes umbrales y variar de una región a otra. Un enfoque estándar para la caracterización e identificación de extremos de temperatura y precipitación en estudios e investigación de cambio climático es mediante los índices establecidos por el Grupo de Expertos en Detección del Cambio Climático e Índices (ETCCDI por sus siglas en inglés)²⁹, los cuales tienen como ventaja que son rápidos de estimar y comparar. Dichos índices son recomendados por la OMM (2009) para obtener una perspectiva uniforme en cambios observados en extremos meteorológicos y climáticos. Asimismo son empleados por el IPCC para el análisis de extremos en sus Reportes de Evaluación (ejemplo IPCC AR5, 2013). Algunos de estos índices están basados en umbrales que pueden ser fijos para cualquier estación o localidad y otros cuyos umbrales varían en distintas localidades y que son estimados a través de los percentiles de la serie de datos. La selección de los índices va a depender de la zona de estudio; sin embargo, en el cuadro 3 se resumen los principales índices de extremos que deben ser considerados en estudios relacionados a cambio climático para el país. Dichos índices pueden ser estimados a nivel anual u en otras agregaciones temporales complementarias (trimestral, semestral, etc.).

El cálculo de estos índices puede realizarse mediante paquetes estadísticos especializados tales como Rclimdex³⁰ o ClimIndVis³¹, los cuales son ejecutados a través de lenguaje de programación libre R.

La estimación de los cambios observados en las series temporales de los índices de eventos extremos se debe hacer a través del análisis de tendencias (véase sección 7.1.1c) y puede realizarse en diferentes agregaciones temporales tales como anual, DEF, MAM, JJA, SON, entre otras.

²⁹ Información más completa relacionada a la descripción y cálculo de estos índices se puede encontrar en: <http://etccdi.pacificclimate.org/>

³⁰ <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>

³¹ El paquete ClimIndVis proporciona un conjunto de funciones sencillas de usar para la generación de productos de índices climáticos para datos observados, reanálisis y pronóstico estacional. <https://rdrr.io/github/Climandes/ClimIndVis/man/ClimIndVis.html>

Cuadro 3. Descripción de principales índices de extremos climáticos (establecidos por el ETCCDI) de temperatura y precipitación para su aplicación en el país. Fuente: elaboración propia.

Variable	Siglas de índice	Nombre del índice	Definición	Unidades
Temperatura	FDO	Días con heladas	Conteo anual de días en los que TN (temperatura mínima diaria) < 0°C	días
	TXx	Valor máximo mensual de la temperatura máxima diaria	Valor máximo mensual de la temperatura máxima diaria	°C
	TNn	Valor mínimo mensual de la temperatura mínima diaria	Valor mínimo mensual de la temperatura mínima diaria	°C
	TN10p	Noches frías	Porcentaje de días en los que TN < 10 ^{mo} percentil	días
	TX10p	Días fríos	Porcentaje de días en los que TX < 10 ^{mo} percentil	días
	TN90p	Noches cálidas	Porcentaje de días en los que TN > 90 ^{avo} percentil	días
	TX90p	Días cálidos	Porcentaje de días en los que TX > 90 ^{avo} percentil	días
	DTR	Rango diurno de temperatura	Diferencia entre TX y TN promedio mensual	°C
Precipitación	SDII	Índice simple de intensidad diaria	Precipitación total anual dividida entre el número de días húmedos (definidos como PRCP ≥ 1 mm) en un año	mm/día
	CDD	Días secos consecutivos	Máximo número de días consecutivos donde RR < 1 mm	días
	CWD	Días húmedos consecutivos	Máximo número de días consecutivos con RR ≥ 1 mm	días
	R95p	Días muy húmedos	Total anual de PRCP cuando RR > 95 ^{avo} percentil	mm
	R99p	Días extremadamente húmedos	Total anual de PRCP cuando RR > 99 ^{avo} percentil	mm
	PRCPTOT	Precipitación total de los días húmedos en un año	Total anual de PRCP en días húmedos (RR ≥ 1 mm)	mm

e) Disponibilidad de tendencias de eventos extremos.

El SENAMHI pone a disposición tendencias de índices de extremos climáticos para diversas estaciones a nivel nacional, las cuales se encuentran disponibles en el siguiente enlace: <http://idesep.senamhi.gob.pe/indicadores/>. Adicionalmente, en estudios realizados por SENAMHI (ver sección 7.2.3 y Anexo 10.2) se cuenta con resultados de tendencias de extremos a nivel nacional y para diferentes regiones del país.

7.2.2. Interpretación de índices de extremos climáticos

La aplicación de las tendencias a los índices señalados permite comprender de manera simple y rápida la señal de aumento o disminución de los eventos extremos de temperatura y precipitación a través de las series históricas. Asimismo, permiten evaluar cambios en la frecuencia, intensidad y distribución espacial de estos eventos.

Si como resultado de la prueba de Mann-Kendall se obtiene un p-valor menor de 0.05 se puede afirmar que la tendencia es estadísticamente significativa al 95% de confianza. Del mismo modo, la señal y magnitud de la tendencia se puede obtener como resultado de la pendiente de Sen el cual si es positivo, se considera que la tendencia es de aumento; mientras que un resultado negativo implica disminución histórica del evento extremo.

Por ejemplo, la figura 4 muestra la serie anual del índice máximo número de días secos consecutivos (CDD) para la estación de Cabanaconde (Arequipa). El p-valor de la tendencia es de 0.02 el cual es menor a $\alpha = 0.05$; y además, su valor de tendencia es de aproximadamente -9 días/década, que se interpreta como una reducción de 9 días por década del máximo número de días secos consecutivos a nivel anual.

En la figura 5 se muestra la serie anual del índice de días cálidos (tx90p) para la estación Calana (Tacna). El p-valor asociada a la tendencia es de 0.01 siendo estadísticamente significativo; y además, su valor de tendencia es de aproximadamente +5 días/década el cual indica aumento progresivo.

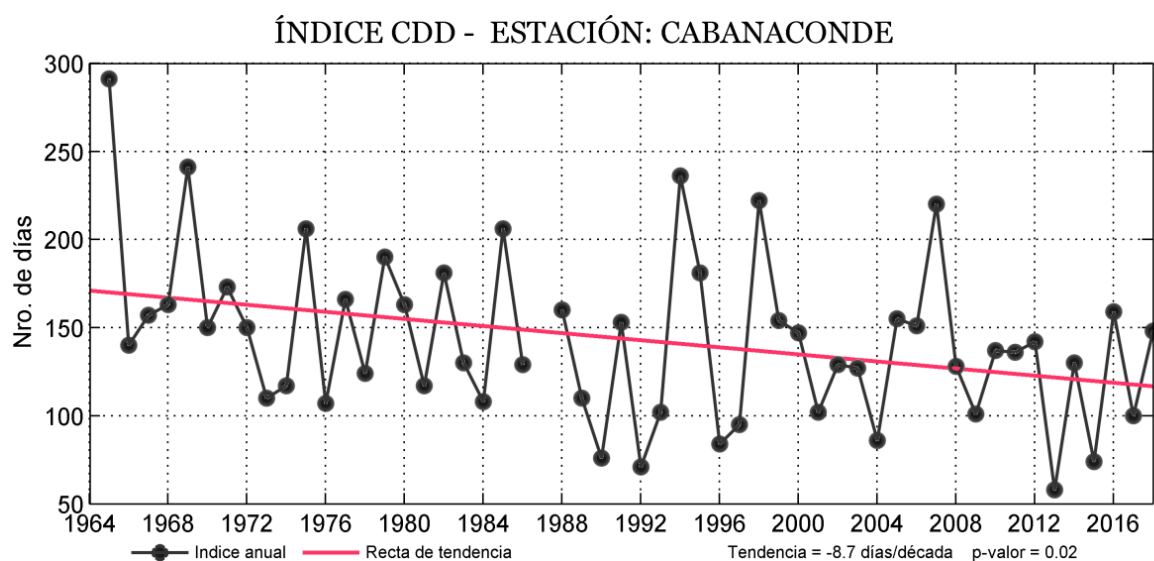


Figura 4. Serie y tendencia de índice días secos consecutivo (CDD) para la estación Cabanaconde (Arequipa). Fuente: elaboración propia.

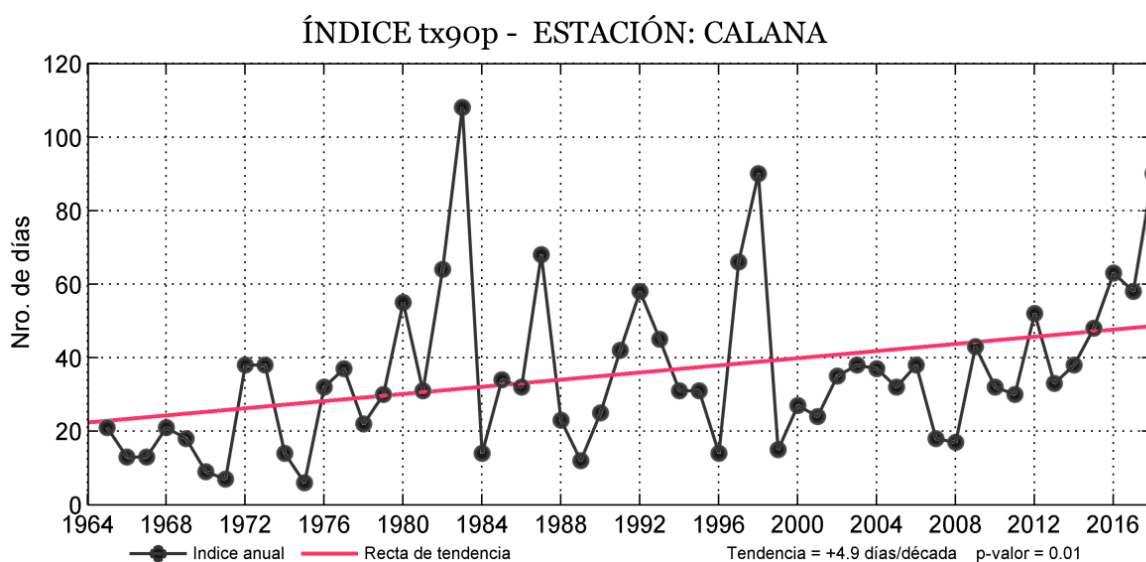


Figura 5. Serie y tendencia de índice días cálidos (tx90p) para la estación Calana (Tacna). Fuente: elaboración propia.

Similar como se vio en la sección 7.1.2, dependiendo del periodo de análisis las tendencias de los índices de extremos pueden también estar influenciadas por la variabilidad natural del

clima (interanual y/o decadal) y no directamente por el cambio climático. Un ejemplo de esto podemos observar en la figura 6 en el que se muestran dos tendencias en dos periodos distintos (1965-2018 y 1989-2018) del índice de máximo número de días secos consecutivos (CDD) para la estación de Pilluana (San Martín). En el periodo 1989-2018 se aprecia una disminución más acentuada y la tendencia podría ser estadísticamente significativa al 90% de confianza (dado que su p-valor es de 0.09); sin embargo, no se puede afirmar con seguridad que esta tendencia significativa sea atribuida principalmente al cambio climático, ya que al ser un periodo más corto puede estar influenciada por la variabilidad natural del clima. Si consideramos la serie completa (1965-2018) notamos que existe una tendencia de disminución pero que no es estadísticamente significativa (p-valor de 0.43), por lo que en realidad no se puede afirmar que los días secos consecutivos estén variando a largo plazo en esta región. Por ello, mientras mayor sea el periodo de análisis, tendremos más evidencia para conocer el efecto del cambio climático en los extremos climáticos.

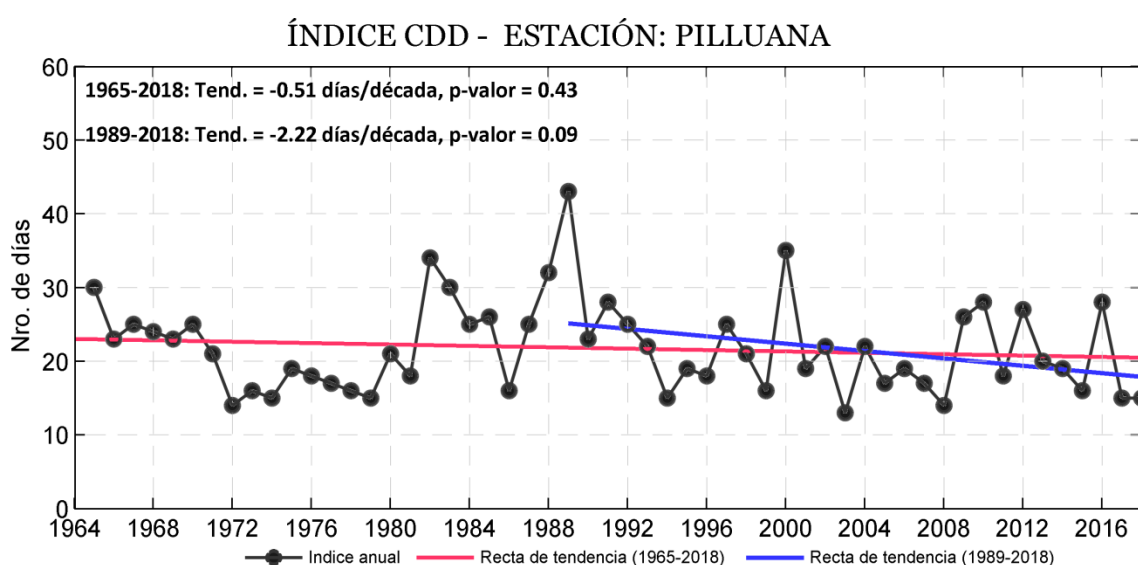


Figura 6. Serie de índice días secos consecutivos (CDD) y tendencias para dos periodos distintos (1965-2018 y 1989-2018) para la estación Pilluana (San Martín). Fuente: elaboración propia.

7.2.3. Orientaciones para la aplicación de información relacionada a eventos extremos

Las orientaciones señaladas para las tendencias históricas de precipitación y temperaturas (sección 7.1.3) deben ser consideradas también en el análisis de tendencias de eventos extremos. A medida que se cuentan con datos en gran periodo de tiempo, continuos (un ejemplo puede ser el periodo 1965-2019) y que sean de buena calidad, las tendencias de extremos climáticos van a permitir identificar señales generales de cambios en los extremos y podrían servir de insumos para estudios de peligros, vulnerabilidad y riesgos asociados al cambio climático. A continuación se indican algunos posibles ejemplos de aplicación de información de eventos extremos en sectores o áreas temáticas:

- **Agricultura:** En la componente de sistemas productivos agropecuarios, la tendencia de índices de extremos climáticos puede ser considerada en estudios que permitan el fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana ante eventos climáticos extremos asociados a la variabilidad y al cambio climático. Dado que permite identificar zonas

donde existen tendencias históricas de incrementos en eventos extremos de precipitación y temperaturas, puede aportar también al análisis de vulnerabilidad y riesgo asociado al cambio climático.

- **Agua:** En el sector hidrológico la aplicación de las tendencias históricas de extremos podría contribuir en los estudios de impacto y alerta frente a la incidencia de eventos extremos, así como por ejemplo, en el diseño e implementación de infraestructura de protección en los sectores hidráulicos para uso agrario ante impactos de eventos extremos asociados al cambio climático.
- **Bosque:** Para la componente de ecosistemas, el conocimiento de las tendencias de eventos extremos puede ser parte en las investigaciones y análisis de riesgos en los bosques secos, bosque de montañas y bosques amazónicos ante eventos climáticos extremos. Dichos estudios serían insumo para la restauración y conservación de ecosistemas en el ámbito del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- **Pesca y acuicultura:** En la componente de pesca artesanal es importante el análisis de la variabilidad climática actual, dentro del cual el estudio de extremos climáticos así como sus tendencias pueden ser consideradas parte del análisis de riesgos asociados al cambio climático sobre los Desembarcaderos de la Pesca Artesanal. En la componente de pesca industrial, la información de extremos climáticos puede ser de insumo en estudios que contribuyan a la reducción de riesgos asociados a la productividad de la actividad pesquera y acuícola.
- **Salud:** Dentro de la componente poblacional del sector salud, las tendencias de eventos extremos relacionados a temperaturas y precipitación permiten detectar las regiones donde la población vulnerable podría estar expuesta a mayores eventos de altas o bajas temperaturas así como de precipitaciones más intensas.

Algunos estudios realizados sobre análisis de tendencias de extremos climáticos pueden encontrarse en SENAMHI (2010a) en el cual se estudian los cambios de extremos climáticos sobre la cuenca del río Mantaro. De igual forma, en SENAMHI (2012a), se analizan tendencias de índices de extremos en las regiones de Cusco y Apurímac, se evidenciaron incrementos en las intensidades diarias de precipitación y temperaturas máximas y mínimas.

7.3. Análisis de escenarios climáticos

7.3.1. Aspectos generales sobre escenarios climáticos

Para el análisis del clima futuro se utiliza información proveniente de los modelos climáticos globales; sin embargo, estos presentan resoluciones espaciales que pueden abarcar cientos de kilómetros lo cual limita el análisis a nivel regional y local. Mediante el proceso de regionalización³² se puede aumentar la resolución espacial, es por ello que para el análisis a nivel nacional y regional se utilizan escenarios climáticos regionalizados, los cuales son

³² En inglés Downscaling

estimados a partir de dos grupos de metodologías principales: regionalización dinámica y regionalización estadística.

La regionalización dinámica está basada en el uso de modelos climáticos regionales forzados por datos de modelos climáticos globales con el fin de generar información más detallada. Debido a que en este método se emplean ecuaciones físicas de la dinámica atmosférica los resultados son consistentes físicamente; sin embargo es costoso en términos computacionales y permite generar un limitado número de escenarios climáticos de alta resolución espacial.

En contraste, la regionalización estadística se basa en relaciones estadísticas que vinculan variables atmosféricas a escala local (predictandos) y variables a largas escala (predictores). Son menos costosos computacionalmente lo cual permite el análisis sobre un rango de modelos climáticos globales y escenarios de emisión; sin embargo, asume que la relación entre predictandos y predictores permanece constante en el tiempo.

Los aspectos generales para la generación y análisis de los escenarios climáticos regionalizados se encuentran resumidos en la figura 7.

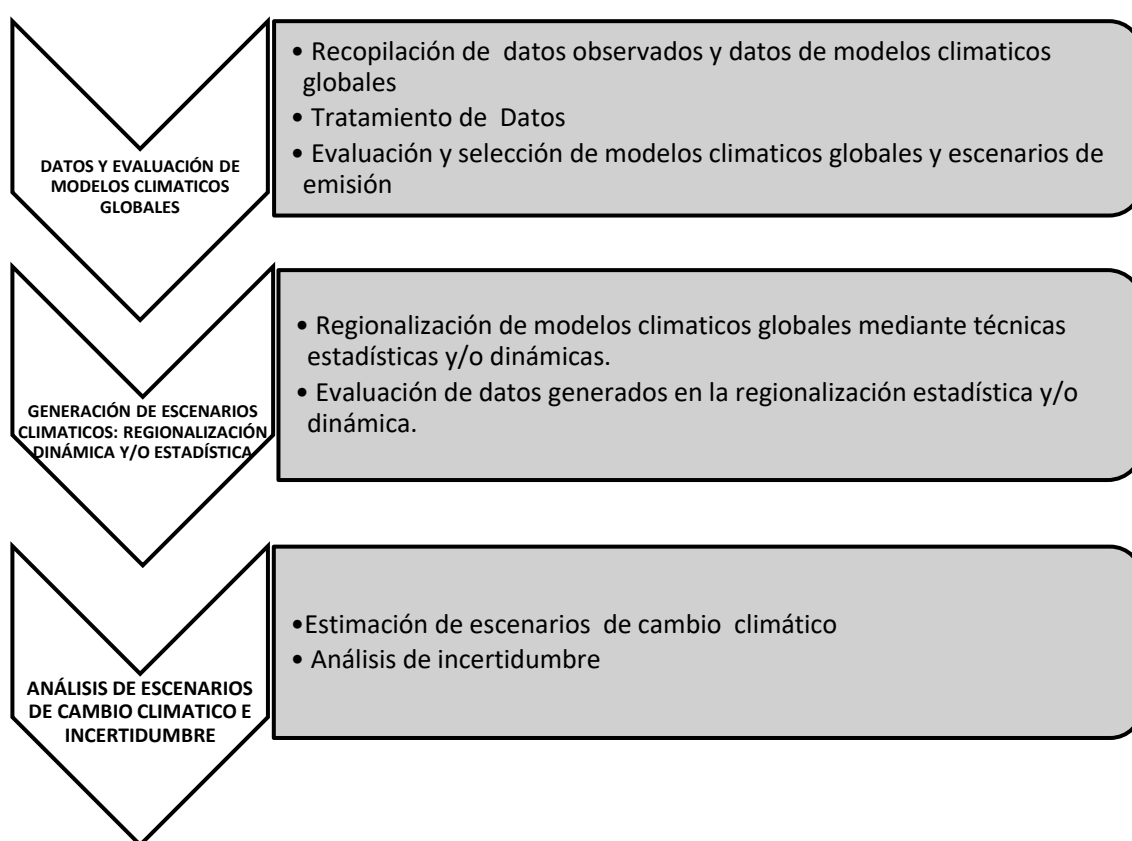


Figura 7. Aspectos generales para la regionalización de escenarios climáticos. Fuente: elaboración propia.

a) Datos y evaluación de modelos globales.

En la generación de escenarios climáticos regionalizados se debe considerar como base los datos de modelos climáticos globales disponible por el IPCC y pertenecientes al Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP, por sus siglas en inglés). Estos modelos son actualizables y de mejora continua.

La eficiencia de estos modelos puede ser evaluada mediante sus simulaciones del clima actual³³, a través de un análisis físico de los campos promedios de humedad y vientos en distintos niveles de la atmósfera versus los reanálisis, y de un análisis estadístico de los errores de temperatura y precipitación en superficie (usando datos observados como referencia).

Una reciente evaluación de los campos atmosféricos que influyen en el clima de Perú desde modelos climáticos globales pertenecientes al Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados 5 (CMIP5), son HadGEM2-ES, MPI-ESM-LR y ACCESS1-0 citado en SENAMHI, 2015³⁴.

Por otra parte, la selección y validación de modelos climáticos globales son actualizables y puede variar para otras aplicaciones. A manera de ejemplo, Cai *et al.* (2018) encontró 17 modelos óptimos basado en la representación de eventos El Niño.

b) Generación de escenarios de cambio climático: Regionalización de modelos climáticos globales

En el proceso de regionalización y generación de escenarios de cambio climático, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ Los escenarios climáticos regionalizados a escala de interés (nacional, región, cuenca, subcuenca, local, entre otros) pueden ser resultado de regionalización dinámica³⁵ y/o estadística³⁶. Dichos resultados deben pasar por un proceso de validación y corrección en el periodo de referencia para las variables de superficie (precipitación y temperatura a 2m) y variables dinámicas en niveles verticales (presión).
- ✓ Es importante destacar que los escenarios climáticos regionalizados deben contar con un periodo de al menos 30 años continuos centrado en el año de requerimiento. Por ejemplo, para obtener escenarios para mitad de siglo (hacia el año 2050) bajo un contexto de altas emisiones RCP8.5, se debe considerar el periodo comprendido entre el año 2036 al 2065.
- ✓ El análisis de los resultados se puede realizar mediante los escenarios de cambio climático; es decir, la diferencia ente los escenarios climáticos y el clima actual³⁷. Para ello se puede usar el método Delta, que consiste en estimar la diferencia del clima

³³ Puede considerarse para validación el periodo de las normales climatológicas reglamentarias vigente (1981-2010) o el periodo de referencia de los modelos climáticos

³⁴ <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-38.pdf>

³⁵ Aplicado en estudio de SENAMHI (2009): <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/141> y SENAMHI (2015b): <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/124>

³⁶ Aplicado en estudio de SENAMHI (2014c): <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/280>

futuro (promedio de 30 años futuro, ejemplo 2036-2065) menos el clima actual (en el periodo de referencia).

- ✓ Los escenarios de cambio climático pueden estimarse a nivel anual, para los trimestres asociados a las estaciones del año (verano, otoño, invierno y primavera) u otras agregaciones temporales de interés (mensual, semestral).
- ✓ En lo que respecta a las unidades, los valores de cambios para temperaturas deben ser expresados en unidades de °C; mientras que los de precipitación pueden ser expresados en milímetro o en porcentaje³⁸.
- ✓ Los escenarios de cambio climático pueden ser presentados como mapas en formato digital Shapefile o Tiff, y disponibles a través de plataformas interoperables o infraestructuras de datos espaciales, también están contenidos en estudios e investigaciones sobre escenarios de cambio climático generados por SENAMHI desde el 2005³⁹.

c) Análisis de los escenarios de cambio climático e Incertidumbre

Un conjunto de simulaciones para representar el clima futuro brinda un rango de futuros probables el cual es definido como la incertidumbre en escenarios climáticos y cuenta con tres principales fuentes como se detalla en el cuadro de definiciones (cuadro 2). El tratamiento de incertidumbres es un proceso fundamental para obtener escenarios más robustos, el cual consiste en reducir, cuantificar y analizar el nivel de incertidumbre de los escenarios climáticos. Las siguientes consideraciones pueden tomarse para el tratamiento de incertidumbres:

- Una forma de **reducir** la incertidumbre asociada a la respuesta de distintos modelos climáticos globales es mediante la evaluación y selección de modelos (explicados en la sección 7.3.1a) que representen de manera más exacta el clima de una región.
- La incertidumbre total puede **cuantificarse**, posterior a la selección de modelos climáticos regionalizados y del periodo futuro analizado, mediante la estimación de rangos de los valores de cambios del ensamble multimodelo. Un ejemplo de la estimación de dicho rango puede realizarse mediante la diferencia del percentil 90 menos el percentil 10 de todas las simulaciones (Charron, 2016). Adicionalmente, se puede trabajar con el promedio de los miembros del ensamble multimodelo para obtener un escenario futuro representativo del conjunto (IPCC, 2010).
- El **análisis** de la incertidumbre puede realizarse a través de los ensambles multimodelo⁴⁰, que consiste en contar con escenarios provenientes de más de un modelo climático global. Según Tebaldi & Arblaster (2014) la principal fuente de incertidumbre en los patrones de cambio son los modelos globales más que la diferencias en los escenarios. Es por ello que al contar con un mayor número de

³⁸ Se considera el valor promedio en el periodo de referencia considerado

³⁹ https://www.senamhi.gob.pe/usr/cmn/pdf/PROCLIM_01.pdf

⁴⁰ Aplicados en estudio de SENAMHI (2015b): <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/124>

modelos bajo un escenario de emisión⁴¹ se puede estimar mejor el rango de incertidumbre en los patrones de cambios. Asimismo, al aplicar el método delta se puede realizar pruebas estadísticas (ejemplo prueba t de diferencias de medias) que permite encontrar diferencias significativas entre dos muestras (datos de clima futuro del ensamble vs. clima simulado en el periodo de referencia). El contar con ensambles permite la reducción de la incertidumbre y facilita su manejo y análisis.

- Otro aspecto importante a considerar para el análisis de la incertidumbre es la **escala temporal futura**. En un horizonte cercano (menor a 30 años), la variabilidad natural del clima va a ser la principal fuente de incertidumbre y puede esconder la señal de cambio climático (Charron, 2016). En ese sentido, se sugiere considerar horizontes lejanos (mayores a 30 años) para que la fuente de incertidumbre asociada a la variabilidad natural del clima pierda peso y la señal de cambio climático sea más fuerte.

d) Disponibilidad de los escenarios climáticos y escenarios de cambio climático.

Una vez culminados y publicados los estudios en el que se hayan generado escenarios, la información a escala espacial nacional de escenarios climáticos y de cambio climático⁴², así como también los mapas de caracterización climática⁴³, serán generados y puestos disponibles por el SENAMHI a través de su Infraestructura de Datos Espaciales (IDSEP⁴⁴), para su aplicación de acuerdo a lo señalado en el Reglamento de la Ley del Cambio Climático (ver Anexo 10.1). Asimismo, a través de los estudios e investigaciones realizados por SENAMHI (ver sección 7.3.3 y Anexo 10.2) se cuentan con escenarios a nivel nacional, regional y de cuencas.

Estos escenarios climáticos serán actualizados con una periodicidad entre 6 y 8 años, alineados a la actualización, mejora continua y disponibilidad de datos de simulaciones históricas y futuras del clima global y a los Reportes de Evaluación de Escenarios de Cambio Climático del IPCC.

7.3.2. Interpretación de escenarios climáticos.

Para la interpretación de los escenarios climáticos se debe tener presente que la incertidumbre es inherente en esta información y que es representada por un rango de climas plausibles⁴⁵ futuros. Por lo tanto, es importante considerar los distintos escenarios climáticos basados en diferentes modelos climáticos globales validados y escenarios de emisión que se dispongan.

Una adecuada interpretación de los resultados se puede realizar a través del análisis de los escenarios de cambio climático (cambios en el clima futuro). Dichos escenarios pueden presentarse por medio de mapas como se muestra en la figura 8, en el cual se presentan

⁴¹ Se puede considerar varios escenarios de emisión: alta, bajas y medianas emisiones, que permiten mejorar el rango de posibles cambios futuros en el clima.

⁴² Generalmente obtenido desde datos de modelos (diferencia del Clima futuro promedio relativo al clima actual promedio en el periodo de referencia)

⁴³ Obtenidos desde datos observados en el periodo de las normales climatológicas reglamentarias vigente (actual 1981-2010)

⁴⁴ <http://idesep.senamhi.gob.pe/portaledgep/>

⁴⁵ El término plausible en este contexto se refiere que estas representaciones del clima no solo son posibles sino que también pueden resultar admisibles o aceptables

cambios de la temperatura media en superficie generados por el IPCC (2014), para fines del siglo XXI (periodo 2081-2100), considerando como periodo de referencia del clima actual 1986-2005. Se puede observar incrementos consistentes de las temperaturas en ambos escenarios de emisión. En el escenario de bajas emisiones RCP 2.6, se aprecian cambios mayormente en el rango de 0 a +3°C, siendo estos más altos en continente y en la región del ártico. En lo que respecta al escenario de altas emisiones RCP 8.5, los cambios se encuentran principalmente en el orden de +2°C a +7°C, manteniéndose el mayor calentamiento sobre continente y la región del ártico.

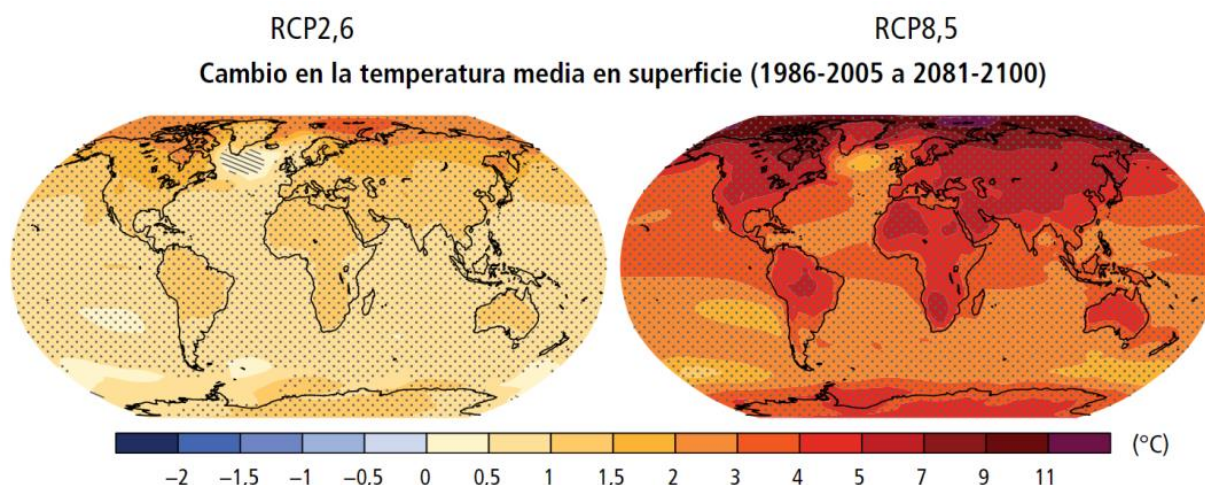


Figura 8. Cambios en la temperatura media en superficie para el periodo 2081-2100 forzado con un escenario de bajas emisiones RCP2.6 (izquierda), y un escenario de altas emisiones RCP 8.5 (derecha). Fuente: IPCC (2014).

La figura 9 muestra ejemplos de series temporales del rango de cambios de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima considerando un ensamble de modelos globales regionalizados y dos escenarios de emisión (moderado RCP 4.5 y de altas emisiones RCP 8.5). Se aprecia una señal de incremento en la precipitación a largo plazo, encontrándose los promedios de dichos cambios en el rango de -5% a +50% con respecto al periodo de referencia. En lo que respecta a la temperatura máxima y mínima la señal de incremento es más evidente respecto de las precipitaciones, siendo mayor en el escenario de altas emisiones. Los rangos de incertidumbre deben ser estimados considerando el promedio de un clima futuro (ejemplo 2036-2065), para una región o localidad y además complementarse con el valor promedio.

El cuadro 4 presenta un ejemplo de rangos de incertidumbres así como también de los promedios de dichos rangos de tal manera que contribuya a la interpretación. La información del rango está asociada a la incertidumbre del escenario, mientras que el promedio permite obtener un resumen de la información contenida en dicho rango. Es importante recordar que estos cambios son progresivos y no deben ser interpretados como el cambio para el año 2050, sino más bien, para un clima futuro que comprende un periodo de 30 años centrado en el 2050 (periodo 2036-2065).

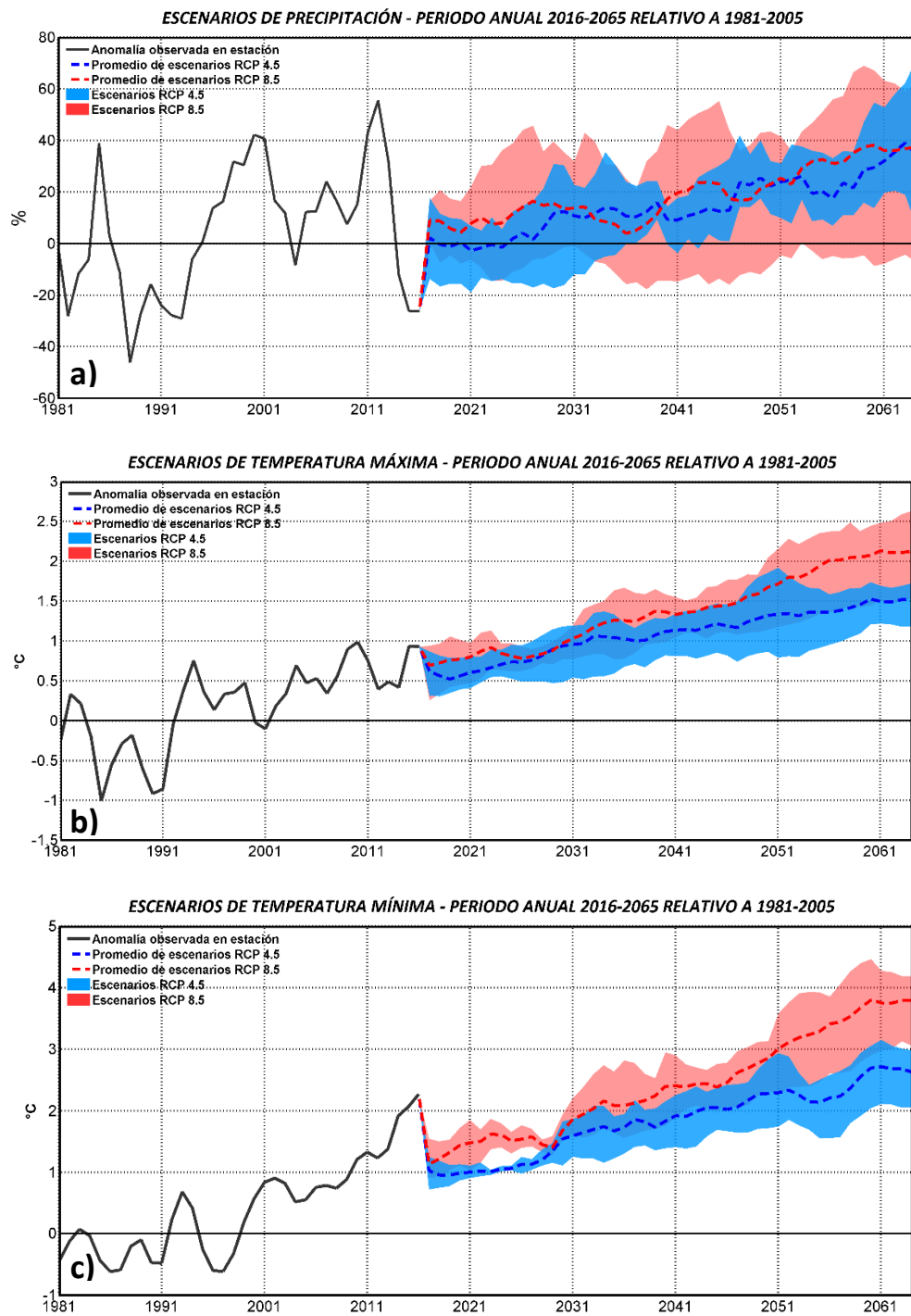


Figura 9. Ejemplo de series temporales de **cambios** de a) precipitación, b) temperatura máxima y c) temperatura mínima en el periodo de 2016 al 2065, usando un ensamble de modelos climáticos globales regionalizados y dos escenarios de emisión. La incertidumbre es representada por las regiones sombreadas para el escenario de moderada emisiones RCP 4.5 (en rojo) y altas emisiones RCP 8.5 (en plomo) y las líneas punteadas corresponden al promedio de cambios de dichos escenarios. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4. Ejemplo de promedios y rango de cambios anuales de las series mostradas en la figura 9.
Fuente: elaboración propia.

Variable climática	Cambios al 2050	
	Promedio de ensamble	Rango
Precipitación	+23%	-5% a +50%
Temperatura máxima	+1.3°C	+0.6°C a +2°C
Temperatura mínima	+2.5°C	+1.5°C a +3.5°C

7.3.3. Orientaciones para la aplicación de escenarios climáticos

Los escenarios climáticos representan posibles condiciones climáticas futuras por lo cual son herramientas necesarias para el estudio de los efectos potenciales del cambio climático y el establecimiento de medidas y estrategias de adaptación a largo plazo. Cabe resaltar que estos escenarios no son pronóstico ni predicciones, sino más bien representaciones posibles⁴⁶ del clima en distintos escenarios de emisiones a futuro.

Asimismo, no se recomienda aplicar la información de escenarios climáticos para el establecimiento de medidas a corto plazo (menores a 30 años según Charron, 2016) ya que los cambios pueden estar influenciado principalmente por la variabilidad natural del clima y no necesariamente por el cambio climático.

Es importante mencionar también que los escenarios climáticos regionalizados son utilizados directamente en la implementación y/o actualización de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional.

Teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas anteriormente, se sugiere seguir las siguientes orientaciones para la aplicación de escenarios climáticos regionalizados:

- Primero se debe definir los objetivos del uso de esta información (por ejemplos, analizar el impacto del cambio climático sobre el rendimiento de una especie de cultivo, cambios potenciales de la aptitud agroclimática del cultivo de café en el futuro).
- De igual modo, se debe definir el área de análisis (el cual puede ser una región, departamento, cuenca, local u otros) teniendo presente que los escenarios estén regionalizados⁴⁷ adecuadamente y sean representativos para el área de interés a fin de ser aplicados.
- Por otro lado, se debe definir un periodo de tiempo de la información futura en el cual se va a enfocar el análisis, y que debe estar comprendido en un rango de al menos 30 años futuro (por ejemplo el periodo 2036-2065) para obtener una estimación consistente de cambio en las condiciones medias de precipitación y temperaturas. Si bien es cierto, el análisis de los escenarios puede enfocarse en un periodo futuro de 30

⁴⁶ Proyecciones

⁴⁷ Ver Definiciones en Sección VI

años con el fin de estimar los escenarios de cambio climático, es importante considerar la información a nivel anual o mensual de mayor cantidad de años (como el periodo 2010-2100) para el análisis de impactos, por ejemplo en la disponibilidad de recursos hídricos.

- Posteriormente, la información de escenarios climáticos regionalizados (datos anuales, mensuales o cambios en clima futuro) debe utilizarse como datos de entrada a modelos de impacto con el fin de estimar efectos potenciales del clima en los sectores tales como agricultura, salud, energía, turismo, agua, entre otros.
- En la estimación de la disponibilidad de recursos hídricos, se debe considerar datos de un modelo hidrológico ya sea global o distribuido basado en balance hídrico. En el caso que la variable requerida de entrada para dicho modelo sea la temperatura media esta se puede estimar promediando la temperatura máxima y mínima. Las escorrentías generadas dentro de lo posible deben ser validadas durante el periodo de referencia con información (en caso existan) de caudal o lámina escurrida. Los caudales o escorrentía generados para periodos futuros deben ser analizados a través de los cambios e incertidumbre asociada.
- Finalmente, una vez estimado los posibles impactos en la región y sector de interés, lo siguiente es usar estos resultados para identificar estrategias aplicables y realistas que permitan reducir la vulnerabilidad, así como también detectar las posibles oportunidades que pueda presentarse.

La información de escenarios climáticos es importante en los distintos sectores y puede tener diferentes aplicaciones. A continuación se mencionan algunos ejemplos de su aplicación en áreas temáticas:

- **Agricultura:** Los datos de precipitación y temperaturas provenientes de escenarios climáticos pueden ser usados como insumos para la estimación de cambios futuros en la productividad agrícola, salud en el ganado, brotes de insectos. A modo de ejemplo, en SENAMHI (2017b)⁴⁸ se hace uso de información de escenarios climáticos regionalizados para evaluar el impacto del cambio climático en la producción de maíz amarillo de la costa central del país. Otro ejemplo de información de escenarios climáticos orientados al análisis de impactos en los rendimientos de cultivos y recursos hídricos puede revisar en SENAMHI (2012b)⁴⁹ en el cual se generaron escenarios hacia el 2030 para evaluar los cambios en la estacionalidad y magnitudes de las precipitaciones y temperaturas sobre Cusco y Apurímac.
- **Agua:** Los escenarios climáticos puede ser utilizados para la evaluación en la cantidad de agua disponible futura, en el ordenamiento territorial, así como en la evaluación de la disponibilidad para las componentes de uso poblacional, agrario y energético. Algunos ejemplos de evaluación de impactos en recursos hídricos son los estudios de

⁴⁸ <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/242>.

⁴⁹ <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/265>.

SENAMHI (2015d)⁵⁰ y FAO (2017)⁵¹; en dichos estudios se usaron como insumos escenarios climáticos para evaluar impactos en la disponibilidad hídrica a nivel de cuencas. Asimismo, el SENAMHI ha generado escenarios climáticos para las cuencas de los ríos Piura, Santa, Mantaro, Mayo y Urubamba (revisar Anexo 10.2) los cuales sirvieron de insumo para el análisis de vulnerabilidad frente al cambio climático.

- **Salud:** Una medida de adaptación dentro de la componente de población es el fortalecimiento del sistema de monitoreo y vigilancia epidemiológica y ambiental, y este debe incorporar los escenarios climáticos para la gestión del riesgo en un contexto de cambio climático en la salud pública. En ese sentido, se espera que los establecimientos del sector salud accedan, utilicen información relacionada a escenarios climáticos a diferentes escalas en la salud pública para que la asocien con la vigilancia epidemiológica y sanitaria, lo cual insumirá en el análisis de los potenciales impactos sobre la salud de la población, así como sus efectos en la mortalidad y la morbilidad. (MINAM, 2018).
- **Bosques:** Los escenarios climáticos pueden ser de insumo para la identificación de riesgos futuros ante los efectos del cambio climático en los bosques y población; así como en el análisis de vulnerabilidad en los ecosistemas con el fin de priorizar áreas, paisajes y ecosistemas para restauración y conservación.
- **Pesca y Acuicultura:** Una medida de adaptación dentro de la componente de pesca artesanal es el fortalecimiento de capacidades en buenas prácticas orientadas a diversificación económica y actividades complementarias para la pesca artesanal bajo escenarios de cambio climático (MINAM, 2018). De igual forma, los escenarios a mediano y largo plazo van a permitir identificar los peligros futuros que podrían afectar a los Desembarcaderos de la Pesca Artesanal y contribuir al análisis de exposición y vulnerabilidad frente a estos peligros asociados al cambio climático.

Es importante recordar que **los escenarios climáticos no proporcionan información exacta de cuándo y cómo ocurrirán los impactos ya que estos están sujetos a incertidumbre**. Por lo tanto, para la aplicación de los escenarios climáticos se debe considerar el rango de los distintos escenarios disponibles (teniendo en cuenta toda la información de los modelos regionalizados disponibles bajo distintos escenarios de emisión) en conjunto con otros factores no climáticos (ejemplo: población, factores socioeconómicos, infraestructuras, mercados, etc.) para evaluar los riesgos y la efectividad de las estrategias de adaptación.

Por otro lado, la información climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales pueden ser utilizados en la caracterización y gestión de riesgos climáticos actuales y futuros. Considerando un diagnóstico socioeconómico y ambiental, se puede evaluar la vulnerabilidad frente a riesgos climáticos actuales y riesgos climáticos futuros asociados al cambio climático, y de esta forma, tomar decisiones informadas para reducir la vulnerabilidad (MINAM, 2013). En el caso de riesgos climáticos futuros,

⁵⁰ <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/124>

⁵¹ <http://www.fao.org/3/a-i7420s.pdf>.

mediante el análisis de incertidumbre es posible determinar los riesgos potenciales, ya que teniendo un amplio rango de escenarios climáticos se pueden identificar y estudiar distintas opciones de planes y estrategias para adaptación y mitigación.

VIII. TABLA HISTÓRICA DE CAMBIOS

En el cuadro 5 se detallan los cambios del presente lineamiento respecto a las versiones anteriores.

Cuadro 5. Tabla histórica de cambios

versión	Fecha de emisión	Fecha de cambio	Cambios		
			Título	Ítem	
V1.0	22.05.2020	----			Versión cero de lineamientos
V1.1		15.06.2020	-	-	Se han realizado cambios generales en el documento de acuerdo a las contribuciones, opiniones y sugerencias recibidas de interesados durante la etapa de prepublicación según Resolución N°038-2020-SENAMHI/PREJ
V1.2		14.07.2020			Se realiza cambios generales en el documento con aportes recibidos de las Direcciones de línea del SENAMHI.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, D. (2015). Análisis multivariado para la generación de escenarios climáticos 2040-2050 en el Perú. Tesis para optar el grado de Magister. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2171>
- Ahmad, W., Fatima, A., Awan, U. K. & Anwar, A. (2014). Analysis of long term meteorological trends in the middle and lower Indus basin of Pakistan – a non-parametric statistical approach. *Global Planet. Change* 122, 282–291.
- Aybar C., Fernández C., Huerta A., Lavado W., Vega F. & Felipe-Obando O. (2019). Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day, *Hydrological Sciences Journal*.
- Cai, W., Wang, G., Dewitte, B. et al. (2018). Increased variability of eastern Pacific El Niño under greenhouse warming. *Nature* 564, 201–206. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0776-9>.
- Charron, I. (2016). A Guidebook on Climate Scenarios: Using Climate Information to Guide Adaptation Research and Decisions, 2016 Edition. Ouranos, 94p. <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Guidebook-2016.pdf>
- Conrad, V. & Pollak, L. W. (1950): *Methods in Climatology*. Harvard University Press, 1950. 8 vo. 459 pp.

- FAO (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. Boletín de suelos, 128 pp.
- FAO (2017). Recomendaciones de política pública para enfrentar el cambio climático y la vulnerabilidad de la seguridad alimentaria. Ciudad de Lima: FAO. 16 pp.
- Gilbert, R.O. (1987). Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring, Wiley, NY.
- Giorgi, F. & Mearns, L.O. (2002): Calculation of average, uncertainty range and reliability of regional climate changes from AOGCM simulations via the 'Reliability Ensemble Averaging' (REA) method. Journal of Climate 15, 1141-1158.
- Gubler, S., Hunziker, S., Begert, M., Croci-Maspoli, M., Konzelmann, T., Brönnimann, S., Schwierz, C., Oria, C. & Rosas, G. (2017). The influence of station density on climate data homogenization. International Journal of Climatology, 37, pp. 4670–4683.
- Hunziker, S., Brönnimann, S., Calle, J., Moreno, I., Ticona, L., Huerta, A. & Lavado, W. (2018). Effects of undetected data quality issues on climatological analyses. Climate of the Past. 14. 1-20.
- IPCC (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K.Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- IPCC (2010). Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland, pp. 117.
- IPCC (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC (2014). 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, 157 págs.

- IPCC (2018). Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.
- Lavado, W., & Espinoza J. C. (2014). Impact of El Niño and La Niña events on Rainfall in Peru, *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29, 171-182.
- Mann, H.B. (1945). Non-parametric tests against trend, *Econometrica* 13:163-171.
- Kendall, M. G. (1975). Rank Correlation Methods. Griffin, London, UK.
- Mahmood, R. & Jia, S. (2017). Spatial and temporal hydro-climatic trends in the transboundary Jhelum River basin. *Journal of Water and Climate Change* 8, 423–440.
- Mamani (2019). Regionalización espacial de precipitaciones mensuales en la cuenca de la vertiente del lago Titicaca-lado peruano. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional del Altiplano.
- Mestre, O., Domonkos, P., Picard, F., Auer, I., Robin, S., Lebarbier, E., Böhm, R., Aguilar, E., Guijarro, J., Vertacnik, G., Klancar, M., Dubuisson, B.,Stepanek, P. (2013). HOMER: a homogenization software – methods and applications. *Q. J. Hung. Meteor. Serv.* 117: 47–67.
- MINAM (2013). Avances, Retos, Prioridades y Orientaciones para la Gestión del Riesgo Climático en el Perú. Lima: Ministerio del Ambiente.
- MINAM (2018). Grupo de Trabajo Multisectorial de naturaleza temporal encargado de generar información técnica para orientar la implementación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (GTM-NDC) – Informe Final. Lima: Ministerio del Ambiente.
- OMM & UNESCO (2012). International Glossary of Hydrology. WMO-No. 385. Disponible en: http://www.wmo.int/pages/prog/hwarp/publications/international_glossary/385_IGH_2012.pdf
- OMM (2009). Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation (WMO/TD- No. 1500; WCDMP- No. 72). Disponible en: https://www.ecad.eu/documents/WCDMP_72_TD_1500_en_1.pdf
- OMM (2011). Climate Knowledge for Action: A Global Framework for Climate Services – Empowering the Most Vulnerable (WMO-No. 1065). The Report of the High-level Taskforce for the Global framework for Climate Services. Geneva.
- OMM (2014). Comisión de Climatología: Decimosexta reunión. Edición 2014. WMO-No. 1137

- OMM (2017). Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas. Edición 2017. OMM-N° 1203
- OMM (2019). Reglamento Técnico Documentos fundamentales N°2, Vol. I –Normas meteorológicas de carácter general y prácticas recomendadas. Edición 2019. OMM-N°49. Disponible en: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10115
- O'Neill, B. C., Tebaldi, C., van Vuuren, D.P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.-F., Lowe, J., Meehl, G.A., Moss, R., Riahi, K., & Sanderson, B. M. (2016). The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geosci. Model Dev.*, 9, 3461-3482.
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63 (324): 1379–1389.
- SENAMHI (2009). Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030 Autores Díaz A., Rosas G., Avalos G., Oria C., Acuña D., Llacza, A., Miguel R. Proyecto SCNCC, Segunda Comunicación Nacional del Cambio Climático. Editor Ministerio del Ambiente.
- SENAMHI (2010a). Escenarios de cambio climático en la cuenca del río Mantaro para el año 2100. Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales (PRAA). Ediciones SENAMHI, Lima, Perú, 56 pp.
- SENAMHI (2010b). Atlas de heladas del Perú. Ediciones SENAMHI, Lima, Perú, 50 pp.
- SENAMHI (2012a). Caracterización climática de las regiones Apurímac y Cusco". Serie de investigación regional # 1. Programa de Adaptación al Cambio Climático PACC - Perú.
- SENAMHI (2012b). Escenarios de cambio climático al 2030 y 2050 de las regiones Apurímac y Cusco. Serie de investigación regional # 2. Programa de Adaptación al Cambio Climático PACC – Perú.
- SENAMHI (2013a). Protocolo para la instalación y operación de estaciones meteorológicas, agrometeorológicas e hidrológicas. Ediciones SENAMHI, Lima, Perú, 51 pp.
- SENAMHI (2013b). Estudio de determinación de umbrales de temperatura y precipitación pluvial para las cuencas de los ríos Coata e Ilave-región Puno. Ediciones SENAMHI, Lima, Perú, 32 pp.
- SENAMHI (2014a). Nota técnica 001 SENAMHI-DGM-2014. Estimación de umbrales de precipitaciones extremas para la emisión de avisos meteorológicos. Ediciones SENAMHI, Lima, Perú, 11 pp.

- SENAMHI (2014b). El Fenómeno El Niño en el Perú. Ediciones SENAMHI, Lima, Perú, 36 pp.
- SENAMHI (2014c). Regionalización estadística de escenarios climáticos en Perú. Ediciones SENAMHI, Lima, Perú, 24 pp.
- SENAMHI. (2015a). Control de calidad y homogenización de datos climáticos para la implementación de Servicios Climáticos en la región costera del Perú". Ediciones SENAMHI, Lima, Perú.
- SENAMHI. (2015b). Nota Técnica N°001-2015/SENAMHI-DGM "Identificación de eventos de olas de calor en la Amazonía peruana". Ediciones SENAMHI, Lima, Perú.
- SENAMHI. (2015c). Nota Técnica N°002-2015/SENAMHI-DGM: "Identificación de eventos de olas de frío extremo en la Amazonía peruana". Ediciones SENAMHI, Lima, Perú
- SENAMHI (2015d). Vulnerabilidad Climática De Los Recursos Hídricos En Las Cuencas De Los Ríos Chillón, Rímac, Lurín Y Parte Alta Del Mantaro. Ediciones SENAMHI, Lima, Perú, 250 pp.
- SENAMHI (2016). Análisis de riesgo de sequías en el sur del Perú. Ediciones SENAMHI, Lima, Perú, 59 pp.
- SENAMHI (2017a). Escenarios climáticos y caracterización de la oferta hídrica presente y futura en las cuencas de los ríos Ocoña y Camaná Majes – de la región Arequipa. Ediciones SENAMHI, Lima, Perú.
- SENAMHI (2017b). Impacto de la variabilidad y cambio climático en el cultivo de maíz amarillo duro en condiciones de costa central. Ediciones SENAMHI, Lima, Perú, 121 pp.
- SENAMHI (2018). Un buen clima- Glosario de Términos Meteorológicos. Disponible en: https://issuu.com/senamhi_peru/docs/glosario
- SENAMHI (2019a). Nota Técnica N°001-2019/SENAMHI-DMA "Orientaciones para el análisis del clima y determinación de los peligros asociados al cambio climático". Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01402SENA-12.pdf>
- SENAMHI (2019b). Evaluación de zonas de inundación utilizando un modelo hidrológico-hidráulico en Tumbes. Ediciones SENAMHI, Lima, Perú, 46 pp.
- Task Team on the Definition of Extreme Weather and Climate Events. (2015). Guidelines on the Defintion and Monitoring of Extreme Weather and Climate Events. <https://doi.org/10.1109/CSCI.2015.171>
- Tebaldi, C., & Arblaster, J. (2014). Pattern scaling: Its strengths and limitations, and an update on the latest model simulations. Climatic Change, 122, 459-471. doi:10.1007/s10584-013-1032-9

- Vega-Jácome, F., Lavado-Casimiro, W. & Felipe-Obando, O (2018). Assessing hydrological changes in a regulated river system over the last 90 years in Rimac Basin (Peru). *Theor. Appl. Climatol.* 132, 347–362.
- Vicente-Serrano S., López-Moreno J., Correa K., Avalos G., Bazo J., Azorin-Molina C., Domínguez-Castro F., El Kenawy A., Gimeno L., Nieto R. (2017). Recent changes in monthly surface air temperature over Peru, 1964–2014. *Int J Climatol.* <https://doi.org/10.1002/joc.5176>
- Wilks, D.S. (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2nd Edition, Academic Press, London.

X. ANEXOS

10.1. Catálogo de Información climática disponible en la Infraestructura de Datos Espaciales del SENAMHI (IDSEEP)

En la Infraestructura de Datos Espaciales del SENAMHI (IDSEEP) se encuentran integrados los datos, servicios y aplicaciones geoespaciales relacionados a tendencias históricas, eventos extremos y escenarios climáticos. El enlace para su acceso es el siguiente:

<http://idsep.senamhi.gob.pe/portaledge/>.

10.2. Productos y aplicaciones de la información

El SENAMHI genera y actualiza la información climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales que sirven de insumos para los estudios integrados de impacto, vulnerabilidad, riesgo y adaptación al cambio climático en los distintos sectores del país. Sin embargo, las necesidades y prioridades de información climática para el planeamiento y toma de decisiones pueden ser distintos dependiendo del sector que requiera la información.

En ese sentido, y tomando como referencia los sectores establecidos para las aplicaciones de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC) de Adaptación, el cuadro 6 presenta algunas propuestas de información y productos relacionados a cambio climático que podrían generarse de manera orientada hacia cada sector. Adicionalmente, se incluyó también el sector turismo como sector servicios que también sensible a los impactos del cambio climático.

Cabe mencionar que en general, los productos relacionados a tendencias climáticas, eventos extremos, así como los escenarios climáticos son productos base que pueden ser aplicados en todos los sectores. Complementariamente, el cuadro 7 detalla algunos ejemplos de productos y servicios relacionados a tendencias históricas, eventos extremos y escenarios climáticos que se encuentran actualmente disponibles.

Cuadro 6. Propuestas de productos climáticos y aplicaciones orientados a cada sector. Fuente: elaboración propia.

TIPO DE PRODUCTOS	PROPUESTAS DE PRODUCTOS	SECTORES					
		AGRICULTURA	SALUD	AGUA	PESCA Y ACUICULTURA	BOSQUE	TURISMO
Clima actual	Caracterización climática de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Caracterización de distribución, frecuencia e intensidad de sequías	✓	✓	✓	✓	✓	
	Caracterización de distribución, frecuencia e intensidad de heladas, friajes y/o nevadas	✓	✓	✓			✓
	Caracterización de distribución, frecuencia e intensidad de olas de calor		✓	✓		✓	✓
	Caracterización de eventos extremos asociados a El Niño	✓	✓	✓	✓		✓
	Estudios de inundaciones		✓	✓			✓
	Tendencias climáticas de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima.	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Tendencias de índices de extremos climáticos	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Tendencias de sequías	✓	✓	✓	✓	✓	
	Mapeo y zonificación de inundaciones durante eventos extremos.	✓	✓	✓			✓
Clima futuro	Cambios a futuro regionalizados de las condiciones promedios de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, considerando incertidumbre.	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Cambios a futuro regionalizados de evapotranspiración considerando la incertidumbre.	✓		✓	✓	✓	
	Cambios futuros en disponibilidad hídrica futura y caudal.	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ejemplo de posibles aplicaciones		Impacto del cambio climático en cultivos anuales sobre regiones priorizadas	Efectos potenciales del cambio climático en la transmisión de dengue	Gestión de los recursos hídricos y adaptación a las consecuencias del cambio climático.	Análisis de la vulnerabilidad y riesgo de la pesca artesanal	Cambios en cobertura vegetal y biomas en Áreas Naturales Protegidas.	Impactos del cambio climático en la biodiversidad y servicios ecosistémicos de los recursos turísticos.

Cuadro 7. Ejemplos de productos y servicios disponibles para aplicaciones en estudios de cambio climático. Fuente: elaboración propia.

TIPO	PRODUCTOS Y SERVICIOS	ALCANCE ESPACIAL	ESCENARIO DE EMISIÓN UTILIZADO	PERIODO ANALIZADO	FORMATO DISPONIBLE	RESOLUCIÓN ESPACIAL	TIPO DE USUARIOS	DISPONIBILIDAD
Tendencias históricas, extremos climáticos y escenarios de cambio climático	Escenarios climáticos de precipitación, temperatura máxima y mínima al 2030	Nacional, regional y local	Escenario de alta emisión A2	1983-2035	Shapefile	Tendencias a nivel de estación y escenarios a 60 km x 60 km	Sectores, gobiernos regionales y público en general.	IDESEP: http://idesep.senamhi.gob.pe/geovisordesepe/go?accion=INICIO Solicitud de requerimiento a SENAMHI
	Tendencias e índices de extremos climáticos	Nacional, regional y local	-	1964-2016	pdf, csv, txt	A nivel de estación meteorológica	Instituciones públicas y privadas, y público en general	Página Web de SENAMHI: http://idesep.senamhi.gob.pe/indicadores/ Solicitud de requerimiento a SENAMHI
	Estudio: Regionalización estadística de escenarios climáticos	Nacional, regional y local	Escenario de emisión moderada RCP 4.5 Escenario de alta emisión RCP 8.5	1971-2065	pdf	A nivel de estación meteorológica	Sectores, gobiernos regionales y público en general.	Repositorio de SENAMHI: http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/280
	Estudio: Escenarios climáticos en el Perú para el año 2030	Nacional, regional y local	Escenario de alta emisión A2	1983-2035	pdf	60 km x 60 km	Sectores, gobiernos regionales y público en general.	Repositorio de SENAMHI: http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/141
	Estudio: Escenarios de cambio climático de las regiones Apurímac y Cusco : precipitación y temperatura 2030 y 2050	Regional y local	Escenario de emisión A1B	1971-2064	pdf	Tendencias a nivel de estación y escenarios a 20 km x 20km	Sectores, gobiernos regionales y público en general.	Repositorio de SENAMHI: http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/265
	Mapas de tendencias de temperaturas máximas, mínimas y media a nivel mensual	Nacional, regional y local	-	1964-2014	Shapefile y jpg	Escala 1,000,000	Sectores, gobiernos regionales y público en general.	IDESEP: http://idesep.senamhi.gob.pe/geovisordesepe/go?accion=INICIO
	Mapas de eventos El Niño	Nacional, regional y local	-	1982-1983 1997-1998 2017	Shapefile y jpg	Escala 1,000,000	Sectores, gobiernos regionales y público en general.	IDESEP: http://idesep.senamhi.gob.pe/geovisordesepe/go?accion=INICIO
	Mapas de percentil 10 de temperatura mínima	Nacional, regional y local	-	1971-2000	Shapefile y jpg	Escala 1,000,000	Sectores, gobiernos regionales y público en general.	IDESEP: http://idesep.senamhi.gob.pe/geovisordesepe/go?accion=INICIO

	Mapas de caracterización climática de precipitación y temperatura máxima y temperatura mínima	Nacional, regional y local	-	1971-2000	Shapefile y jpg	Escala 1,000,000	Sectores, gobiernos regionales y público en general.	IDESEP: http://idesep.senamhi.gob.pe/geovisio ridesep/go?accion=INICIO
	Estudio: Escenarios del cambio climático en el Perú al 2050. Cuenca del Río Piura	Cuenca	Escenarios de alta emisión A2 y de baja emisión B2	1950-2050	pdf	20 km x 20 km	Sectores, gobiernos regionales y público en general.	Repositorio de SENAMHI: http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/281
Recursos hídricos y su disponibilidad futura	Escenario de disponibilidad hídrica para el año 2030	Nacional, regional y local	Escenario de alta emisión A2	1983-2035	Shapefile	60 km x 60 km	Sector Agua, Agricultura y Energía.	IDESEP: http://idesep.senamhi.gob.pe/geovisio ridesep/go?accion=INICIO Solicitud de requerimiento a SENAMHI
	Oferta Hídrica superficial del río Cota-Puno bajo escenarios de cambio climático	Cuenca	Escenario de alta emisión RCP 8.5	1964-2075	pdf	A nivel de cuenca	Sector Agua, Agricultura y Energía.	Repositorio de SENAMHI: http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/267
	Estudio: Escenarios climáticos del río Santa para el año 2030	Cuenca	Escenario de alta emisión A2	1983-2035	pdf	Tendencias a nivel de estación y escenarios a 20 km x 20 km	Sector Agua y Agricultura	Repositorio de SENAMHI: http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/123
	Estudio: Escenarios climáticos del río Mayo para el año 2030	Cuenca	Escenario de alta emisión A2	1983-2035	pdf	Tendencias a nivel de estación y escenarios a 20 km x 20 km	Sector Agua y Bosque	Repositorio de SENAMHI: http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/122
	Estudio: Escenarios de cambio climático en la cuenca del río Urubamba para el año 2100	Cuenca	Escenario de alta emisión A1B	1982-2100	pdf	Tendencias a nivel de estación y escenarios a 20 km x 20 km	Sector Agua y Agricultura	Repositorio de SENAMHI: http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/269
	Estudio: Escenarios de cambio climático en la cuenca del río Mantaro para el año 2100	Cuenca	Escenario de alta emisión A1B	1982-2100	pdf	Tendencias a nivel de estación y escenarios a 20 km x 20 km	Sector Agua y Agricultura	Repositorio de SENAMHI: http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/268

	Estudio de vulnerabilidad climática de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Chillón, Rímac, Lurín y parte alta del Mantaro	Cuenca	Escenario de alta emisión RCP 8.5	1981-2045	pdf	Tendencias a nivel de estación y escenarios a 16kmx16km	Sector Agua, Agricultura y Energía	Repositorio de SENAMHI: http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/124
Impacto en cultivos	Estudio: Impacto de la variabilidad y cambio climático en el cultivo de maíz amarillo duro en condiciones de costa central	Local	Escenario de emisión moderada RCP 4.5 Escenario de alta emisión RCP 8.5	1980-2099	pdf	A nivel de estación meteorológica	Sector Agricultura	Repositorio de SENAMHI: http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/242
	Estudio: Impacto de la variabilidad y Cambio Climático en el cultivo del frijol	Local	Escenario de emisión moderada RCP 4.5 Escenario de alta emisión RCP 8.5	1980-2099	pdf	A nivel de estación meteorológica	Sector Agricultura	Repositorio de SENAMHI: http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/243