



RESOLUCIÓN DE PRESIDENCIA EJECUTIVA N°038-2020-SENAMHI/PREJ

Lima, 28 de mayo del 2020

VISTA:

La Nota de Elevación N° D000086-2020-SENAMHI-DMA de fecha 25 de mayo del 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, 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;

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 dispone 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;

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, 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.- Disponer 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, el mismo que forma parte integrante de la presente Resolución.

Artículo 2.- La prepublicación se realizará en el Portal Web Institucional del SENAMHI (www.senamhi.gob.pe), a fin de conocer las opiniones y/o sugerencias de los interesados, por un plazo de diez (10) días calendarios contados a partir de la fecha de publicación de la presente Resolución.

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.	DEFINICIONES	6
VII.	PROCEDIMIENTOS PARA EL ANÁLISIS DE TENDENCIAS HISTÓRICAS, EVENTOS EXTREMOS Y ESCENARIOS CLIMÁTICOS	9
7.1.	Análisis de tendencias históricas	9
7.1.1.	Aspectos generales sobre información de tendencias históricas.....	9
7.1.2.	Interpretación de las tendencias históricas.....	10
7.1.3.	Orientaciones para la aplicación de las tendencias históricas	12
7.2.	Análisis de eventos extremos	13
7.2.1.	Aspectos generales sobre información relacionada a eventos extremos	13
7.2.2.	Interpretación de índices de extremos climáticos.....	15
7.2.3.	Orientaciones para la aplicación de información relacionada a eventos extremos.....	17
7.3.	Análisis de escenarios climáticos	18
7.3.1.	Aspectos generales sobre escenarios climáticos.....	18
7.3.2.	Interpretación de escenarios climáticos	20
7.3.3.	Orientaciones para la aplicación de escenarios climáticos	23
VIII.	TABLA HISTÓRICA DE CAMBIOS	25
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

X.	ANEXOS	29
10.1.	Información de referencia complementaria	29
10.2.	Catálogo de Información climática disponible en la Infraestructura de Datos Espaciales del SENAMHI (IDSEEP)	29
10.3.	Productos y aplicaciones de la información	29

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Definiciones generales.....	6
Cuadro 2. Descripción de principales Índices de extremos climáticos (establecidos por el ETCCDI) de temperatura y precipitación para su aplicación en el país. Fuente: elaboración propia.....	15
Cuadro 3. Ejemplo de promedios y rango de cambios anuales de las series mostradas en la figura 9. Fuente: elaboración propia.....	23
Cuadro 4. Tabla histórica de cambios	25
Cuadro 5. Propuestas de productos climáticos y aplicaciones orientados a cada sector. Fuente: elaboración propia.....	30
Cuadro 6. Ejemplos de productos y servicios disponibles para aplicaciones en estudios de cambio climático. Fuente: elaboración propia.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Serie de precipitación total anual y tendencia para la estación Augusto Weberbauer (Cajamarca). Fuente: elaboración propia.....	11
Figura 2. Serie de temperatura máxima media anual y tendencia para la estación La Esperanza (Piura). Fuente: elaboración propia.....	11
Figura 3. Serie de temperatura máxima media anual y tendencias para dos periodos distintos (1965-2018 y 1989-2018) para la estación Arapa (Puno). Fuente: elaboración propia.....	12
Figura 4. Serie y tendencia de índice días secos consecutivo (CDD) para la estación Cabanaconde (Arequipa). Fuente: elaboración propia.....	16
Figura 5. Serie y tendencia de índice días cálidos (tx90p) para la estación Calana (Tacna). Fuente: elaboración propia.....	16
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.....	17
Figura 7. Aspectos generales para la regionalización de escenarios climáticos. Fuente: elaboración propia.....	18
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).	21
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.....	22

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. 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 Paris (2015) y su ratificación ante las Naciones Unidas (2016) se instala en el Perú el Grupo de Trabajo Multisectorial encargado de la coordinación y elaboración de las hojas de ruta de las medidas de adaptación y mitigación cuyo informe plantea 153 medidas definidas frente al cambio climático.

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 de Cambio Climático, las Estrategias Regionales de Cambio Climático, las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC) y al Reglamento de la Ley Marco del Cambio Climático.

En diciembre 2019 se promulga el Reglamento de la Ley N° 30754, Ley Marco del 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 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 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.

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.

V. RESPONSABILIDAD

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

VI. DEFINICIONES

En el cuadro 1 se presentan las definiciones de los términos que se utilizarán en los presentes lineamientos.

Cuadro 1. Definiciones generales

TÉRMINOS	DEFINICIONES
Cambio climático	Variación del estado medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante períodos prolongados, generalmente décadas o períodos más largos, y el cual es atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (IPCC, 2018).
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 (SENAMHI, 2019)
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 ³ , para lo cual se estiman las “normales climatológicas reglamentarias” ⁴ cuyo periodo vigente es 1981-2010 (OMM-N°1203, 2017; OMM-N°49, 2017) ⁵ . Por otro lado, para el propósito específico de la Vigilancia

¹ <http://idsep.senamhi.gob.pe/portalidsep/>

² <https://sinia.minam.gob.pe/>

³ Por ejemplo, para la elaboración de mapas climáticos mensuales y estacionales, así como la predicción climática estacional.

⁴ las cuales se definen como los valores medios de los datos climatológicos calculados para periodos consecutivos de 30 años actualizables cada 10 años.

⁵ Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas. Disponible en: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4167

	del Cambio Climático y Variabilidad Climática el período de referencia fijo es 1961-1990 (OMM-Nº1137, 2014; OMM – N°49, 2019) ⁶ ; sin embargo, debido al limitado registro de datos en las estaciones meteorológicas del Perú durante la década de los años sesenta, los estudios sobre cambios de largo plazo del clima desarrollados por el SENAMHI consideran como periodo de referencia 1971-2000 ⁷ .
Clima futuro	Se acota al concepto de cambio climático, el mismo que hace referencia a las condiciones del clima en los próximos años (30, 50, etc.) considerando diferentes escenarios de concentraciones atmosféricas de los Gases de Efecto Invernadero (Ejemplo: Escenarios de Cambio Climático al 2050).
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 ⁸ . (OMM, 2011)
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).
Escenarios climático	Representación plausible y en ocasiones simplificadas del clima futuro, en base a proyecciones climáticas e información adicional como el clima actual observado (IPCC, 2013).
Eventos extremos	Los eventos extremos del tiempo y clima 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). Son parte del sistema climático y resultado de la variabilidad natural relacionado a interacciones dinámicas y proceso termodinámicos en un amplio rango de escalas temporales y espaciales (IPCC, 2012).
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.
Información climática	Comprende a los datos climáticos, productos climáticos y/o al conocimiento del clima (OMM, 2011).
Lámina de agua escurrida	Se define como la lámina de agua que circula sobre una superficie.
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

⁶Comisión 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

⁷ 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 Charron, I. (2016). <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Guidebook-2016.pdf>

⁸ Se refieren a la historia de la estación y de los datos cuando se aplican a mediciones y observaciones-OMM N°488.

	propiedades conocidas (IPCC 2018).
Periodo de referencia	Es el periodo relativo del cual se miden los cambios o variaciones del clima futuro. Se define también como el período de tiempo del pasado reciente utilizado en la generación de escenarios climáticos (Charron, 2016) ⁹
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).
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 períodos 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 ¹⁰ (10 a 100 km) desde modelos que simulan el clima a mayor escala (IPCC, 2018).
Tendencia climática	Cambio en el valor de una variable, generalmente uniforme, a lo largo del tiempo (IPCC, 2013).
Trayectorias de concentración representativas (RCP)	<p>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 CMIP5¹¹ trabaja con cuatro RCP cuyos nombres están en función del forzamiento radiativo¹² 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.</p> <p>Para la próxima generación de modelos climáticos globales (CMIP6) se incorporarán las Vías Socioeconómicas Compartidas¹³ (SSP, por sus siglas en inglés) las cuales, en conjunto con los RCPs, permitirán analizar el cambio climático considerando los factores socioeconómicos.</p>
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).

⁹ Charron, I. (2016). A Guidebook on Climate Scenarios: Using Climate Information to Guide Adaptation Research and Decisions, 2016 Editon. Ouranos, citado en página 29, 94 p.

¹⁰ Adaptado para la geografía peruana: desde punto de estación meteorológica (SENAMHI, 2014b) hasta 100 km de resolución espacial.

¹¹ Quinta fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados. Mayor información en: <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip5>

¹² De acuerdo al IPCC (2013) el forzamiento radiativo es la variación expresada en W/m² del flujo radiativo en la parte superior de la atmósfera debido a una variación del causante externo del cambio climático; por ejemplo, variación de CO₂ o de la radiación solar.

¹³ 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

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.

Para su estimación se utiliza información diaria de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima los cuales debieron haber pasado por un control de calidad y deben contar con al menos 30 años de información continua en la medida de lo posible, y correspondientes a las décadas más recientes. En ese sentido, el SENAMHI cuenta con una base de datos diaria de temperaturas y precipitaciones con control de calidad, y que están disponibles en 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 de la climatología 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, 2019).

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 puede revisarse en SENAMHI (2015a), así como en Gubler *et al.* (2017) y Hunziker *et al.* (2018).

Es frecuente que la región de interés no cuente con estaciones cuyos registros sean largos y continuos, por lo que se puede optar por utilizar datos grillados de precipitación y temperaturas provenientes de PISCO (Aybar *et al.*, 2019). Este tipo de información grillada son los que más se aproximan a la realidad, debido a que incorporan datos observados y de satélite para su generación¹⁴. Sin embargo, en regiones donde no existen estaciones, 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.

¹⁴ 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.

Para la identificación de tendencias estadísticamente significativas generalmente se utilizan 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, 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-noviembre), verano (diciembre-febrero), otoño (marzo-mayo) e invierno (junio-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 (Ej. EFM, FMA, MAM, 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, 2019).

Las tendencias de temperaturas 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 promedio¹⁵ del periodo en estudio.

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 cuencas (ver anexo 10.3).

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

¹⁵ Mayor información del cálculo de tendencia porcentual para precipitación se puede encontrar en SENAMHI (2009).

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 incremento progresivo de la temperatura máxima.

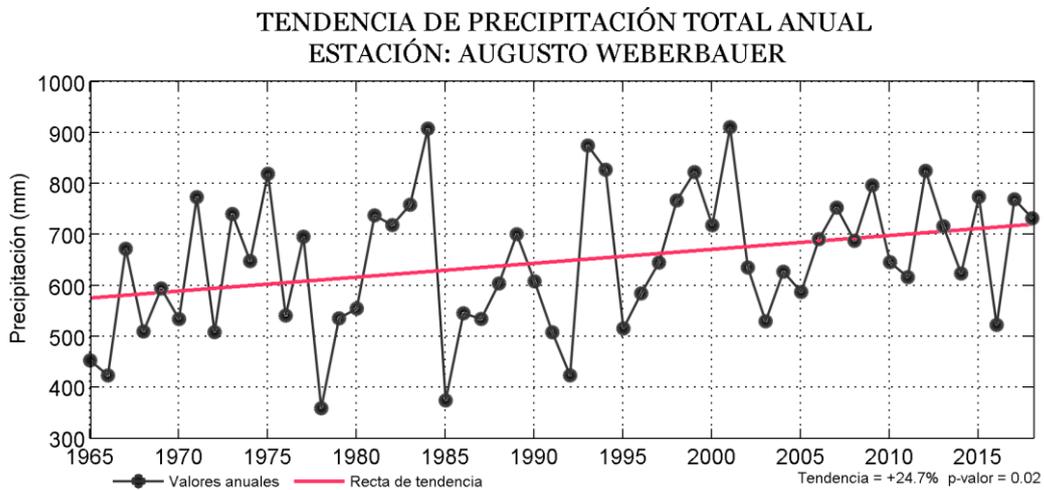


Figura 1. Serie de precipitación total anual y tendencia para la estación Augusto Weberbauer (Cajamarca). Fuente: elaboración propia.

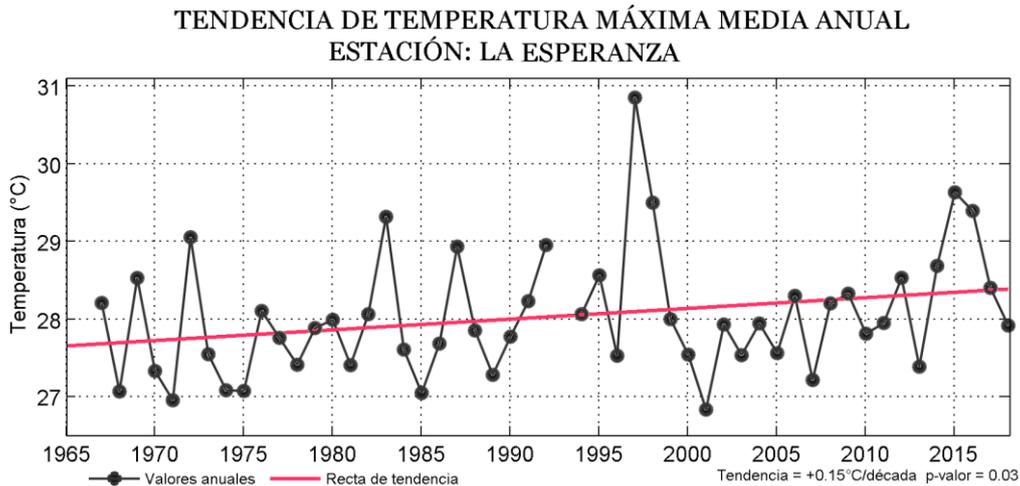


Figura 2. Serie de temperatura máxima media anual y tendencia para la estación La Esperanza (Piura). Fuente: elaboración propia.

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 ese sentido, el periodo para la estimación tiene una gran importancia en los resultados e interpretación.

Si trabajamos con un periodo corto (30 años o menos) entonces el valor de la tendencia puede estar influenciado principalmente otros tipos de variabilidad tales como la variabilidad interanual y la decadal¹⁶ 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 mayor cantidad de valores máximos (años 1998, 2010 y 2016) del periodo total. La tendencia en dicho periodo es de $+0.5^{\circ}\text{C}/\text{década}$ el cual no reflejaría una tendencia necesariamente atribuida directamente al cambio climático, sino más bien a la variabilidad natural del clima. Por otro lado, si consideramos todo el periodo (1965-2018) y su tendencia ($+0.27^{\circ}\text{C}/\text{década}$), notamos un calentamiento progresivo a lo largo del tiempo y que podría estar asociado al cambio climático. Es por eso que mientras más largo sea el periodo de análisis, hay mayores probabilidades de que la tendencia sea representativa del cambio climático, por lo que es importante considerar la mayor cantidad de información que se tenga disponible.

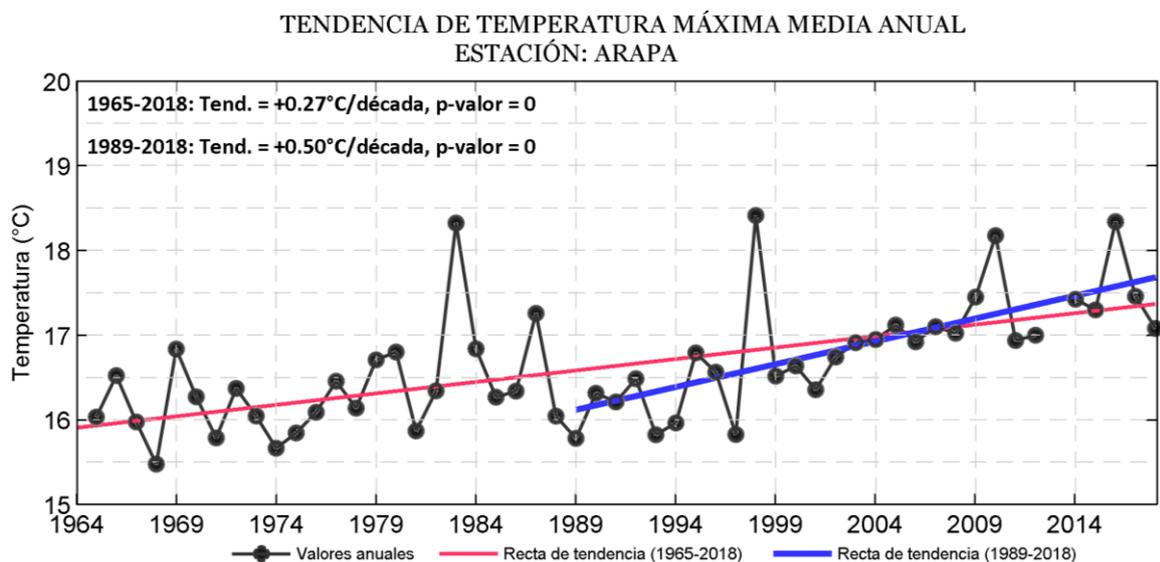


Figura 3. Serie de temperatura máxima media anual y tendencias para dos periodos distintos (1965-2018 y 1989-2018) para la estación Arapa (Puno). Fuente: elaboración propia.

7.1.3. Orientaciones para la aplicación de las tendencias históricas

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 influenciadas por otros tipos de variabilidad natural del clima y esto va a depender del periodo de los datos con los que se cuente. Asimismo, no se debe utilizar las tendencias históricas para extrapolar o proyectar datos a futuro.

¹⁶ 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).

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.

Por ejemplo, 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 que puede propiciar el desplazamiento de cultivo, cambios en la frontera agrícola y aparición de plagas o enfermedades.

Por otro lado, un buen conocimiento de las tendencias en temperatura del aire y precipitación ayudaría a la identificación de cuencas hidrográficas vulnerables al cambio climático y manejo adecuado de recursos hídricos en una cuenca¹⁷.

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 encontrar en SENAMHI (2012a)¹⁸, en el cual se han identificado tendencias en el comportamiento climático de dichas regiones. De igual manera, en SENAMHI (2010)¹⁹ se muestra el análisis de tendencias de precipitaciones y temperaturas en la Cuenca del Mantaro. Un estudio más reciente fue realizado por Vicente-Serrano et al. (2017)²⁰ en el cual se estimaron tendencias de temperaturas máximas, mínimas y medias del aire, encontrándose un calentamiento general en el país.

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 ésta es dependiente del periodo de análisis. Por ejemplo, un periodo recomendado es de 1965 a 2019. Adicionalmente, no debe ser asumido que las tendencias históricas sean una indicación del futuro y las decisiones basadas en una tendencia histórica deben tomarse con precaución. (Charron, 2016).

7.2. Análisis de eventos extremos

7.2.1. Aspectos generales sobre información relacionada a eventos extremos

Para caracterizar eventos extremos a nivel diario se debe identificar aquellos días en el que la temperatura o precipitación estén por debajo o encima de un umbral los cuales pueden ser estimados por un valor de percentil (ejemplo: percentil 10 y 90 para temperaturas; y percentil 90, 95 y 99 para precipitación). Algunos ejemplos sobre determinación de umbrales y caracterización de eventos extremos diarios mediante percentiles puede encontrarse en

¹⁷ Ejemplo de aplicación de tendencias para el análisis de cambios hidrológicos se puede encontrar en: Vega-Jácome *et al.* (2018).

¹⁸ <http://apusiar.regionapurimac.gob.pe/admDocumento.php?accion=bajar&docadjunto=703>

¹⁹ <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/268>

²⁰ <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-49.pdf>

SENAMHI (2013) y SENAMHI (2014a). Asimismo, el SENAMHI cuenta con información de percentiles para precipitación²¹ así como de temperaturas²².

Para el análisis histórico y variabilidad de estos eventos se requieren datos de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima a escala diaria con información continua, reciente y con al menos 30 años de registros. En caso dicha información 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 haber pasado por un proceso de control de calidad a nivel diario, ya que la confiabilidad de la información de extremos así como el análisis de su variabilidad, va a depender mucho de la calidad y cantidad de los datos disponibles.

Un enfoque estándar para la identificación de extremos de temperatura y precipitación es mediante los índices establecidos por el Grupo de Experto en Detección del Cambio Climático e Índices (ETCCDI por sus siglas en inglés)²³ los cuales tienen como ventaja que son sencillos en estimar y comparar. 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 2 se resumen los principales índices de extremos que deben ser considerados en estudios relacionados a cambio climático para el país.

El cálculo de estos índices puede realizarse mediante paquetes estadísticos especializados tales como Rclimindex²⁴ y ClimIndVis²⁵, los cuales son ejecutados a través de lenguaje de programación libre R.

La estimación de los cambios observados en las series temporales de los eventos extremos se debe hacer a través del análisis de tendencias (véase sección 7.1.1.).

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 10.3) se cuenta con resultados de tendencias de extremos a nivel nacional y para diferentes regiones del país.

²¹ Información de umbrales de precipitación para un grupo de estaciones puede encontrarse en <https://www.senamhi.gob.pe/pdf/clim/umbrales-precipitaciones-absol.pdf>. En caso se requiera mayor información, esta puede ser solicitada a SENAMHI.

²² 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.

²³ Información más completa relacionada a la descripción y cálculo de estos índices se puede encontrar en: <http://etccdi.pacificclimate.org/>

²⁴ <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>

²⁵ <https://rdr.io/github/Climandes/ClimIndVis/>

Cuadro 2. 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	FD0	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 promedia 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 donde 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 ≥ 1mm)	mm

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 reducción 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. Asimismo, 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 incremento; mientras que un resultado negativo implica disminución 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, el cual se interpreta como una disminución 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 incremento progresivo.

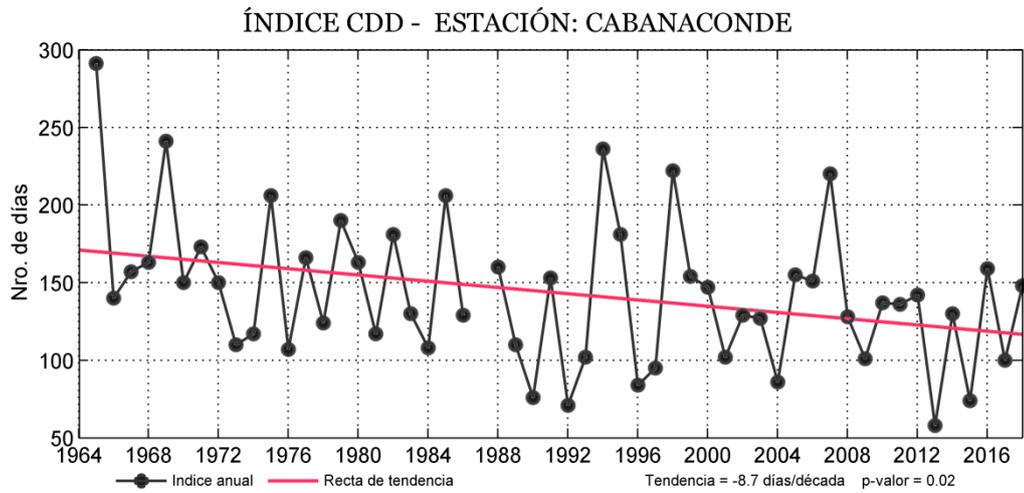


Figura 4. Serie y tendencia de índice días secos consecutivo (CDD) para la estación Cabanaconde (Arequipa). Fuente: elaboración propia.

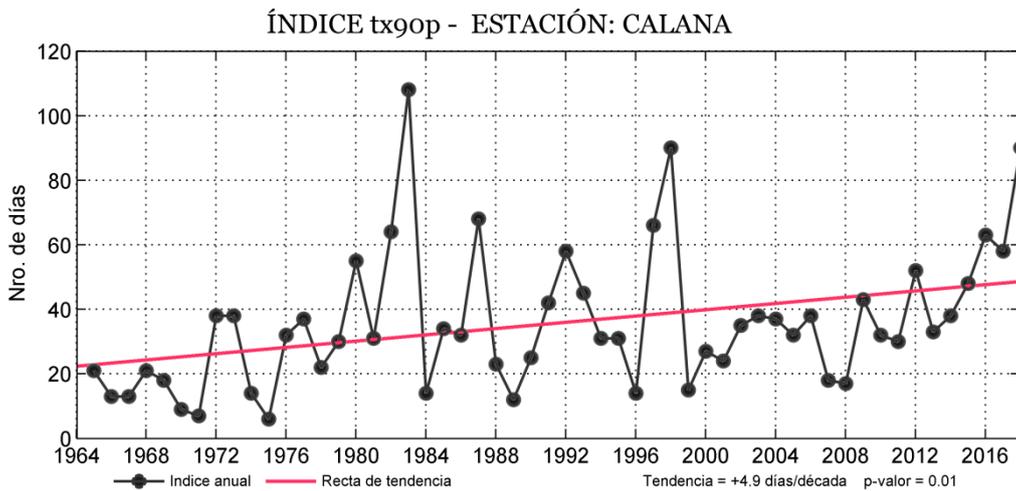


Figura 5. Serie y tendencia de índice días cálidos (tx90p) para la estación Calana (Tacna). Fuente: elaboración propia.

Asimismo, 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 que esta tendencia significativa sea atribuida principalmente al cambio climático, sino más bien a 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 esté variando a largo plazo en esta región. Por lo tanto, mientras mayor sea el

periodo de análisis, tendremos más evidencia para conocer el efecto del cambio climático en los extremos climáticos.

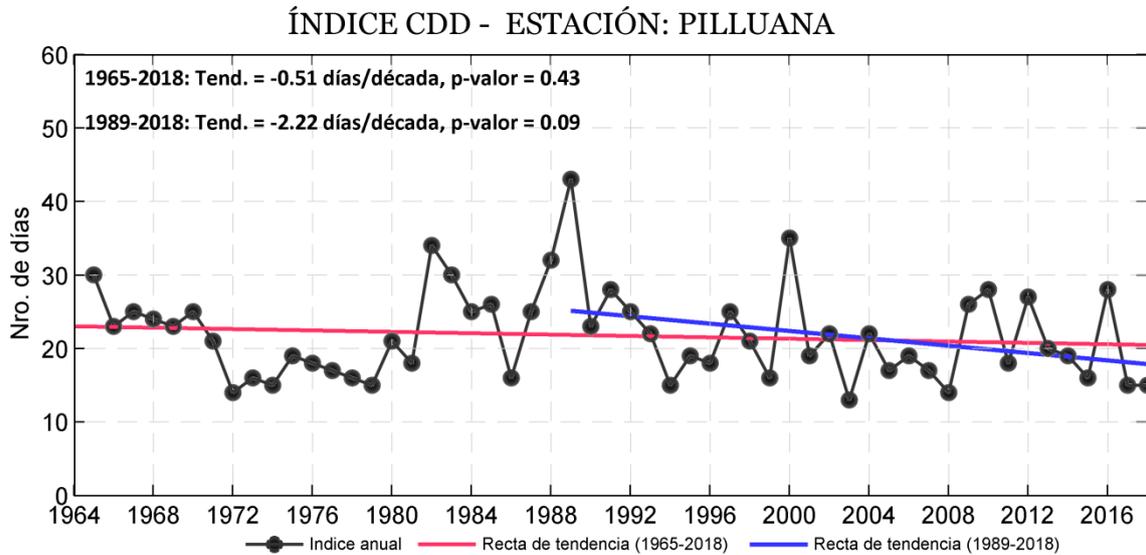


Figura 6. Serie de índice días secos consecutivos (CDD) y tendencias para dos periodos distintos (1965-2018 y 1989-2018) para la estación Pilluana (San Martín). Fuente: elaboración propia.

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

A medida que se cuenten con datos en gran periodo de tiempo (un ejemplo puede ser el periodo 1964-2019) 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 vulnerabilidad y peligros asociados al cambio climático. Un posible ejemplo de la aplicación de esta información es para el fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana ante los eventos climáticos extremos asociados a la variabilidad y al cambio climático, mediante la identificación de zonas donde existe una tendencia significativa de incrementos en extremos de precipitación y temperaturas.

En el sector hidrológico la aplicación de las tendencias de extremos podría contribuir en los estudios de impacto y alerta frente a la incidencia de eventos extremos, así como 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.

Por otro lado, en el sector salud las tendencias de eventos extremos relacionados a temperaturas permitirían 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 ejemplos sobre análisis de tendencias de extremos climáticos puede encontrarse en SENAMHI (2010) en el cual se estudian los cambios de extremos climáticos sobre la cuenca del río Mantaro. Asimismo, en SENAMHI (2012a) se analizan tendencias de índices de extremos en las regiones de Cusco y Apurímac y se evidenciaron incrementos las intensidades diaria de precipitación y temperaturas máximas y mínimas.

7.3. Análisis de escenarios climáticos

7.3.1. Aspectos generales sobre escenarios climáticos

El análisis del clima futuro a nivel nacional y regional se basa en el uso de los escenarios climáticos regionalizados, los cuales son estimados a partir de dos grupos de metodologías principales: regionalización estadística y regionalización dinámica. Los aspectos generales para la generación y análisis de los escenarios climáticos se encuentran resumidos en la figura 7; sin embargo estos pasos pueden revisarse a más detalle en SENAMHI (2020).

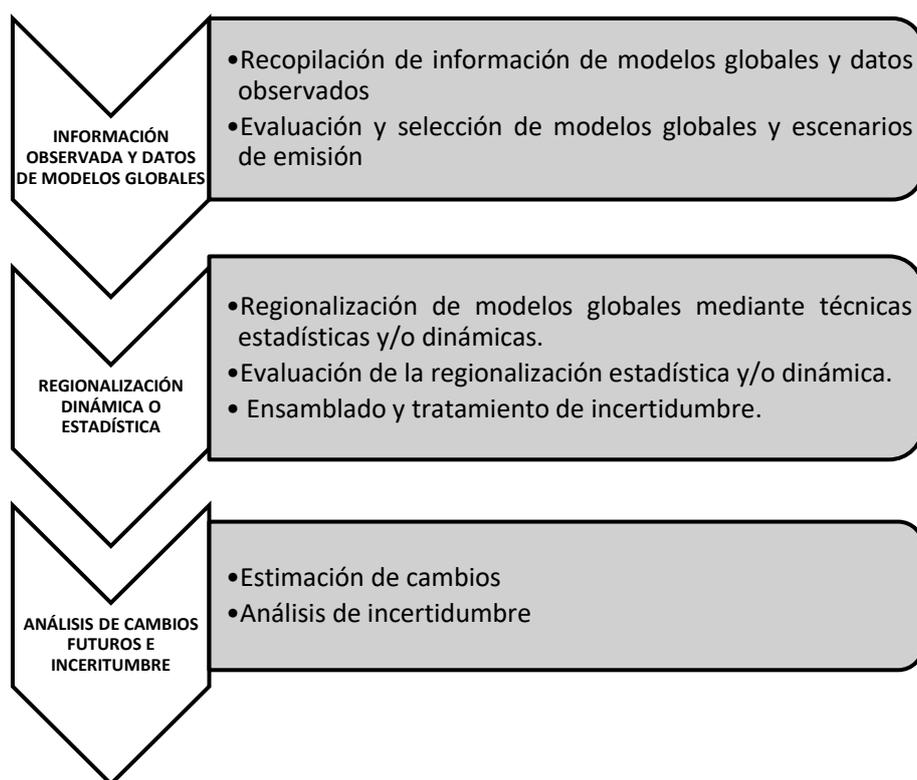


Figura 7. Aspectos generales para la regionalización de escenarios climáticos.²⁶ Fuente: elaboración propia.

a) Información y evaluación de modelos globales.

En la generación de escenarios climáticos regionalizados se debe considerar como base la información de modelos climáticos globales disponible por el IPCC y pertenecientes al Proyecto de Inter-comparación de Modelos Acoplados (CMIP, por sus siglas en inglés).

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

²⁶ Mayor información al detalle acerca del procedimiento para la generación de escenarios climáticos regionalizados se puede encontrar en la SENAMHI (2020): "Guía Metodológica para generación de escenarios de cambio climático".

Algunos de los modelos climáticos globales pertenecientes al CMIP5 y recomendados por el SENAMHI, según resultados de evaluación mediante los criterios antes mencionados, son: HadGEM2-ES, MPI-ESM-LR y ACCESS1-0.

b) Regionalización de modelos globales y estimación de cambios en escenarios climáticos

Los escenarios climáticos regionalizados a escala de interés (nacional, región, cuenca, subcuenca, local, entre otros) pueden ser resultado de regionalización dinámica²⁷ y/o estadística²⁸. Dichos resultados pasan 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 un periodo de al menos 30 años continuos centrado en el año de requerimiento; por ejemplo, para obtener escenarios hacia el 2050, se debe considerar el periodo comprendido entre el año 2036 al 2065.

El análisis de los resultados de los escenarios regionalizados se puede realizar mediante cambios a futuro para lo cual se puede usar el método Delta, que consiste en estimar la diferencia del clima futuro (promedio de 30 años futuro, ejemplo 2036-2065) menos el clima actual (tomando el periodo de 1971 a 2000 como referencia).

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 porcentaje (tomando como referencia el valor promedio del periodo de referencia). Estos pueden estimarse a nivel anual, para los trimestres asociados a las estaciones del año (verano, otoño, invierno y primavera) u otros periodos que sean de interés a nivel mensual o semestral. Además, los cambios pueden ser presentados como mapas y distribuidos en formato digital como imágenes, Shapefile o Tiff, o a través de plataformas o infraestructuras de datos espaciales.

c) Incertidumbre en escenarios climáticos

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 1. Reducir, analizar y cuantificar el nivel de incertidumbre de los escenarios climáticos es un proceso fundamental para obtener escenarios más robustos.

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.

²⁷ 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>

²⁸ Aplicado en estudio de SENAMHI (2014b): <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/280>

El **análisis** de la incertidumbre puede realizarse a través de los ensambles multimodelo²⁹, que consiste en contar con escenarios provenientes de más de un modelo climático global regionalizado. A mayor número de escenarios del clima futuro se puede estimar mejor el rango de incertidumbre, ya que puede indicarnos las posibles rutas que tomará el clima futuro. Asimismo, al estimar los cambios futuros mediante el método delta se puede aplicar 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.

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, 2014). Adicionalmente, se puede trabajar con un promedio de los valores del ensamble multimodelo para obtener un escenario futuro representativo del conjunto (IPCC, 2010).

Otro aspecto importante a considerar para el análisis de la incertidumbre es la escala temporal futura considerada. En una escala hacia un horizonte futuro 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 futuros más largos (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 e influenciada principalmente por los escenarios de emisión utilizados.

d) Disponibilidad de los escenarios de cambio climático

Los escenarios climáticos a escala espacial nacional así como también los mapas de caracterización climática en el periodo de referencia serán generados y puestos disponibles por el SENAMHI a través de su Infraestructura de Datos Espaciales (IDSESP³⁰), para su aplicación de acuerdo a lo señalado en el Reglamento de la Ley del Cambio Climático (ver Anexo 10.2). Asimismo, a través de los estudios realizados por SENAMHI (ver sección 7.3.3 y Anexo 10.3) 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 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 posibles climas futuros. Por lo tanto, es importante considerar los distintos escenarios

²⁹ Aplicados en estudio de SENAMHI (2015b): <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/124>

³⁰ <http://idesepe.senamhi.gob.pe/portaledesepe/>

climáticos basados en diferentes modelos climáticos globales validados y distintos escenarios de emisión con los que se dispongan.

La interpretación de los resultados se debe realizar a través del análisis de cambios de las variables climáticas a futuro. Dichos cambios pueden presentarse por medio de mapas como se muestra en la figura 8, en el cual se presentan cambios de la temperatura media en superficie generados por el IPCC (2014), para fines del siglo XXI (periodo 2081-2100). 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.

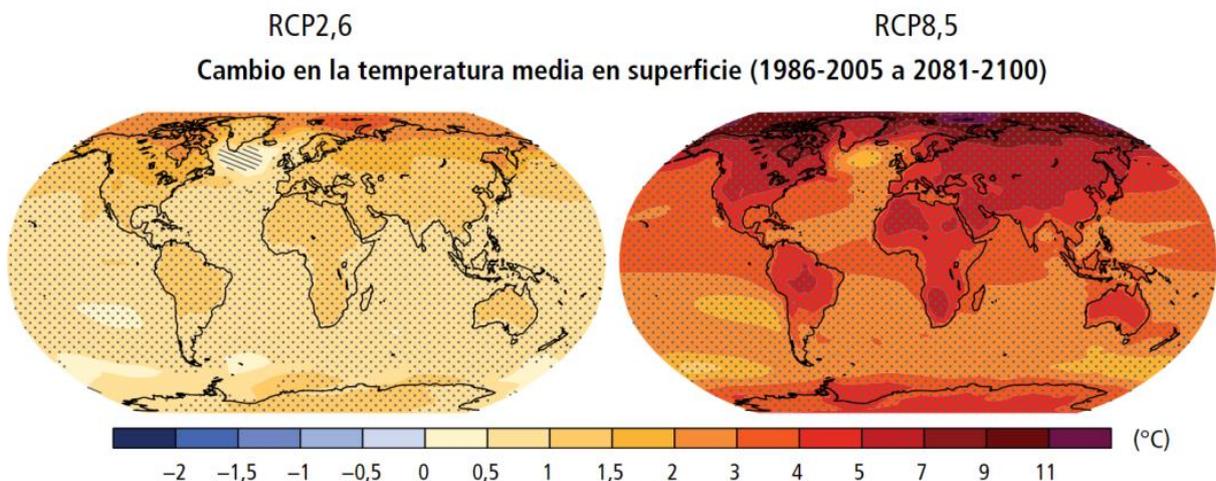


Figura 8. Cambios en la temperatura media en superficie para el periodo 2081-2100 forzado con un escenario de bajas emisiones RCP2.6 (izquierda), y un escenario de altas emisiones RCP 8.5 (derecha). Fuente: IPCC (2014).

La figura 9 muestra ejemplos de series temporales del rango de cambios de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima considerando un ensamble de modelos 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 3 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 graduales 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).

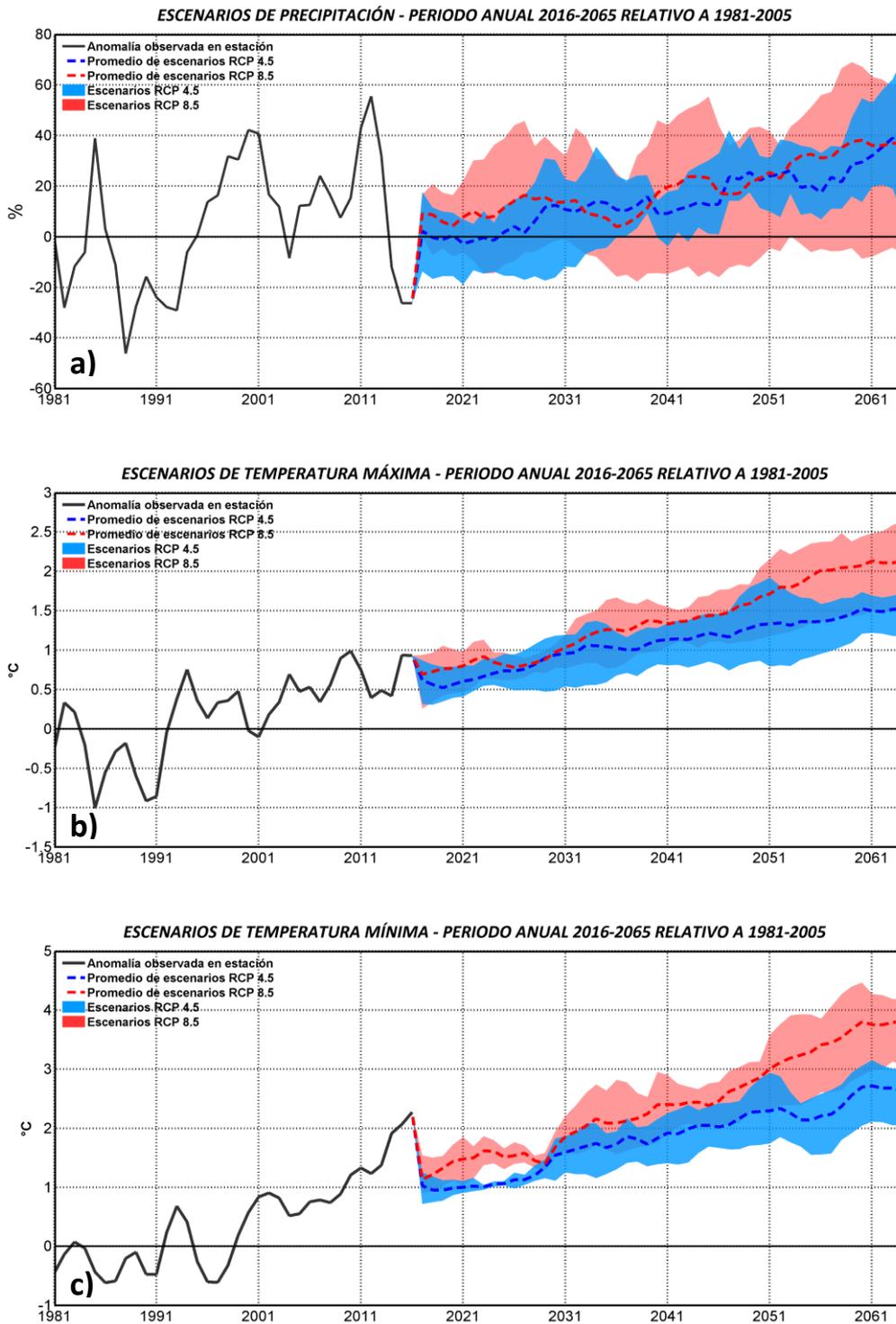


Figura 9. Ejemplo de series temporales de cambios de a) precipitación, b) temperatura máxima y c) temperatura mínima en el periodo de 2016 al 2065, usando un ensamble de modelos climáticos globales regionalizados y dos escenarios de emisión. La incertidumbre es representada por las regiones sombreadas 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 3. 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 posibles 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.

Para empezar a aplicar la información de escenarios climáticos regionalizados, se debe definir primero los objetivos del uso de esta información (por ejemplo, analizar el impacto del cambio climático sobre el rendimiento de una especie de cultivo). Asimismo, se debe definir el área de análisis (el cual puede ser una región, departamento, cuenca y otros) teniendo presente que los escenarios estén regionalizados³¹ y que de esta manera brinden insumo para el análisis a nivel regional y local. 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 años con el fin de estimar los cambios del clima futuro, es importante considerar la información a nivel anual o mensual de mayor cantidad de años (como puede ser 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 promedios de cambios en clima futuro) debe utilizar como datos de entrada a modelos de impacto con el fin de estimar efectos potenciales del clima sobre la disponibilidad de recursos hídricos, cambios en la cobertura terrestre y otros factores que afectan distintos sectores tales como agricultura, agua, salud, energía, etc. A modo de ejemplos, los datos de precipitación y temperaturas provenientes de escenarios climáticos pueden ser usados como insumos para la estimación de cambios futuros en la productividad de la vegetación, salud en el ganado, brotes de insectos, en la cantidad de agua disponible; así como en el ordenamiento territorial, entre otras aplicaciones.

³¹ Ver Definiciones en Sección VI

Para la estimación de recursos hídricos, se debe considerar información de un modelo ya sea global o distribuido basado en balance hídrico. En el caso que la variable requerida 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.

Un ejemplo de información de escenarios climáticos orientados al análisis de impactos en los rendimientos de cultivos y recursos hídricos se puede revisar en SENAMHI (2012b)³² 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. Otro estudio es el de SENAMHI (2017b)³³ en el que 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. En cuanto a evaluación de impactos en recursos hídricos se puede mencionar como ejemplos los estudios de SENAMHI (2015b)³⁴ y FAO (2017)³⁵; 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 10.3) los cuales sirvieron de insumo para el análisis de vulnerabilidad frente al cambio climático).

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.

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, los datos climáticos históricos junto con la información de escenarios climáticos 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, 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

³² <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/265>.

³³ <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/242>.

³⁴ <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/124>

³⁵ <http://www.fao.org/3/a-i7420s.pdf>.

mitigación. Un ejemplo de aplicación de los escenarios climáticos en la gestión de riesgo es a través del análisis de la exposición de infraestructuras y vulnerabilidad de la población ante eventos extremos.

VIII. TABLA HISTÓRICA DE CAMBIOS

En el cuadro 4 se detallan los cambios del presente lineamiento respecto a las versiones anteriores.

Cuadro 4. Tabla histórica de cambios

versión	Fecha de emisión	Fecha de cambio	Cambios		
			Título	Ítem	
V1.0	22.05.2020	----			

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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*.
- 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 (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 (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.
- 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.

- OMM & UNESCO (2012): International Glossary of Hydrology. WMO-No. 385. Disponible en: http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/publications/international_glossary/385_IGH_2012.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 (2010): 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 (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 (2013): 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): 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): 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 (2017a): Escenarios climáticos y caracterización de la oferta hídrica presente y futura en las cuencas de los ríos Ocoña y Camana 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 (2019): 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 (2020): Guía Metodológica para la generación de escenarios de cambio climático. Ediciones SENAMHI, Lima, Perú.
- 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>

X. ANEXOS

10.1. Información de referencia complementaria

- a. Nota técnica N° 001-2019/SENAMHI/DMA actualizado a marzo 2020. “Orientaciones para el análisis del clima y determinación de los peligros asociados al cambio climático”.
- b. Documento SENAMHI (2020): “Guía Metodológica para la generación de escenarios de cambio climático”

10.2. 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/portalidsep/>.

10.3. Productos y aplicaciones de la información

El SENAMHI genera y actualiza información climática sobre tendencias del clima medio, eventos extremos y escenarios climáticos 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 5 presenta algunas propuestas de información y productos relacionados a cambio climático que podrían generarse de manera orientada hacia cada sector. Cabe mencionar que en general, los productos de tendencias climáticas y de eventos extremos, así como los escenarios climáticos son productos base que pueden ser aplicados en todos los sectores. Complementariamente, el cuadro 6 detalla algunos ejemplos de productos y servicios relacionados a tendencias históricas, eventos extremos y escenarios climáticos que se encuentran actualmente disponibles.

Cuadro 5. 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
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.

Cuadro 6. 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/geovisoridesepeg/?accion=INICIO Solicitud de requerimiento a SENAMHI
	Tendencias e indicadores 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 kmx 20km	Sectores, gobiernos regionales y público en general.	Repositorio de SENAMHI: http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/265
	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/geovisoridesepeg/?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/geovisoridesepeg/?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/geovisoridesepeg/?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/geovisoridesepegogo?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

