



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



POPULARIZACIÓN de la METEOROLOGÍA

EDUCACIÓN BÁSICA REGULAR SECUNDARIA

Climandes
Servicios Climáticos para el Desarrollo

Popularización de la meteorología en la Educación Básica Regular - Secundaria

Guía para el docente



Popularización de la meteorología en la Educación Básica Regular - Secundaria. Guía para el docente
Segunda edición, Enero de 2019

© Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)

Jr. Cahuide 785, Jesús María. Lima 11, Perú

www.senamhi.gob.pe

(0051) 614 1414

Ministra del Ambiente

Dra. Fabiola Martha Muñoz Dodero

Directivos del SENAMHI

PRESIDENTE EJECUTIVO: Dr. Ken Takahashi Guevara

COORDINADORA TÉCNICA DEL PROYECTO CLIMANDES 2: Ing. Grinia J. Avalos Roldán

COORDINADORA DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO (MÓDULO 2) PROYECTO CLIMANDES 2: Ing. Teresa García Vilca

Equipo técnico

RESPONSABLE PEDAGÓGICO: Nicéforo Ita Maguiña

INGENIERO METEORÓLOGO: Nicéforo Ita Maguiña

BACHILLER EN METEOROLOGÍA: Raquel K. Orozco Porta

LICENCIADO EN ARTE Y DISEÑO: Gustavo A. Vera Montalvo

Edición y Corrección del Texto: Lizzette J. Guzmán Del Giudice, Gerson Rivera Giraldo, Félix Cubas Saucedo

Esequiel Villegas Paredes, Nelson Quispe Gutierrez, Marlene Dapozzo Moali y Anabel Castro Narciso

Asesora pedagógica

PROF. Norma Maldonado Sánchez

Climandes es parte del programa Global de Cambio Climático y Medio Ambiente de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). Es una iniciativa que tiene como objetivo brindar servicios climáticos confiables y oportunos para la toma de decisiones en la búsqueda de un desarrollo más resiliente ante la variabilidad climática en alianza con los servicios climáticos de Perú (SENAMHI) y Suiza (MeteoSwiss), la academia, el sector privado y los ciudadanos. Se implementa en el contexto del Marco Mundial de Servicios Climáticos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

MATERIAL DE CONSULTA

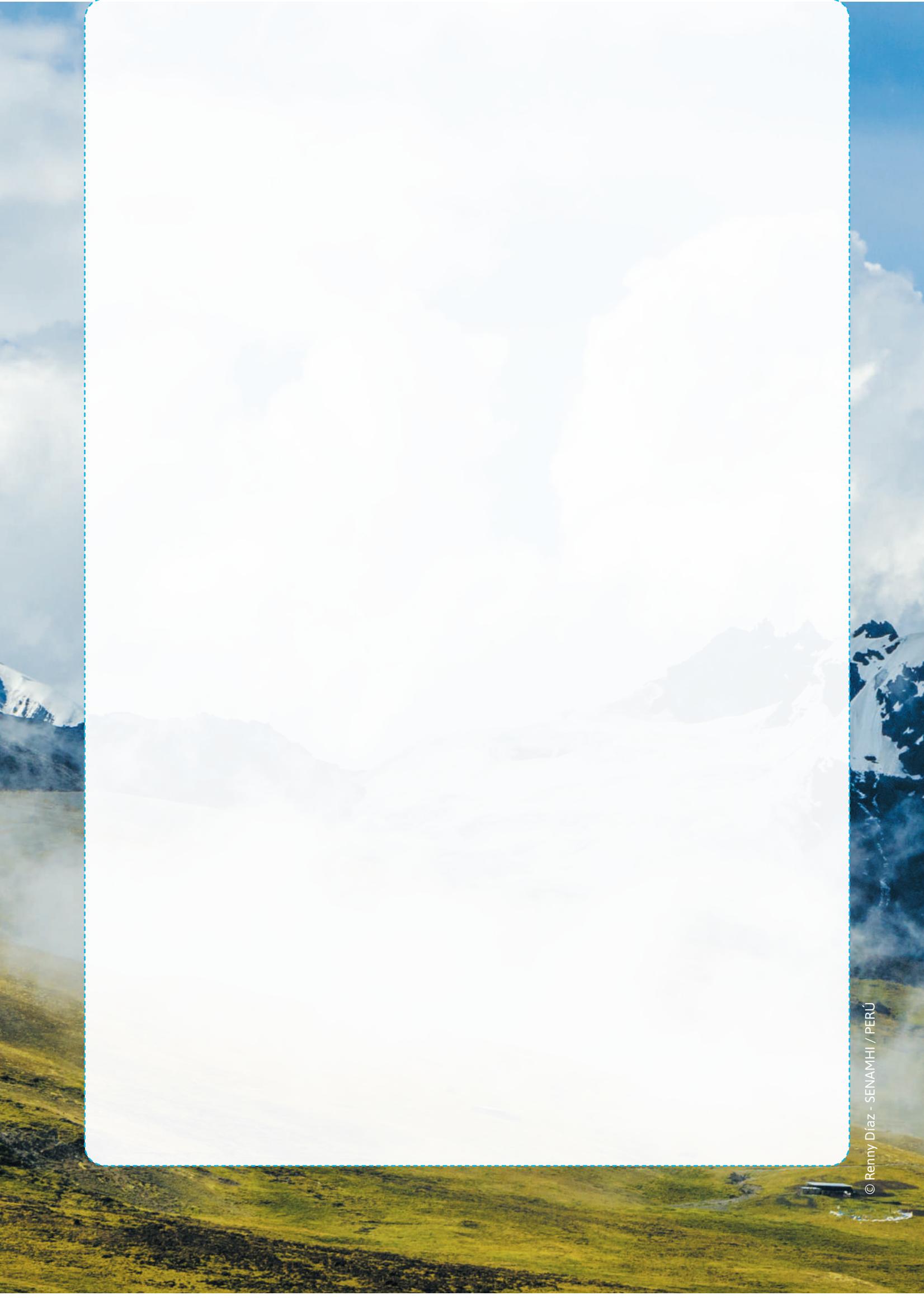
Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N.º 2018-20271

Índice general

Prólogo	11
Un día en la vida de Meteorito	13
Capítulo I. Influencia del tiempo y el clima en el hombre y la sociedad	17
1. EL TIEMPO Y EL CLIMA	18
Autoevaluación.....	20
2. EL TIEMPO Y EL CLIMA EN LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS	21
2.1. Influencia en la agricultura	21
2.2. Influencia en la ganadería	25
2.3. Influencia en el turismo	27
3. EL TIEMPO Y EL CLIMA EN LA SALUD DE LAS PERSONAS	33
3.1. La radiación ultravioleta y nuestra salud	33
3.2. La contaminación atmosférica	34
Autoevaluación	38
4. EL TIEMPO, EL CLIMA Y LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA	39
Autoevaluación	44
5. EVENTOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS	45
Autoevaluación	47
6. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS ANDES	48
Autoevaluación	49
7. DESASTRES DE ORIGEN CLIMÁTICO EN LA HISTORIA PERUANA.....	50
7.1. Los moche y el fenómeno de El Niño	51
7.2. La crisis del guano	51
7.3. El colapso pesquero de los setenta	53
Autoevaluación	54
Capítulo II. Variables meteorológicas y el sistema climático	55
1. VARIABLES METEOROLÓGICAS	56
1.1. La atmósfera	57
Autoevaluación	60
1.2. Radiación solar	61
1.2.1. El balance de la radiación	63
1.2.2. El efecto invernadero	65
1.2.3. La variación latitudinal de la radiación	66
1.2.4. La variación de la radiación según las estaciones	67
1.2.5. La variación de la radiación según la duración del día	68
1.2.6. La variación horaria de la radiación incidente	69

1.2.7. El efecto de las nubes en la radiación incidente	70
Autoevaluación	71
1.3. La temperatura del aire	72
1.3.1. Las escalas de temperatura	74
1.3.2. La temperatura y el calor	76
1.3.3. La variación anual de la temperatura del aire	79
1.3.4. La variación diurna de la temperatura del aire	80
1.3.5. Los controladores de la temperatura	82
1.3.6. Las mediciones de la temperatura	86
1.3.7. El rango de temperatura	90
Autoevaluación	91
1.4. La presión atmosférica y el viento	92
1.4.1. La variación de la presión atmosférica con la altitud.....	93
1.4.2. La distribución horizontal de la presión	95
1.4.3. El viento	96
1.4.4. La circulación general de la atmósfera	99
Autoevaluación	101
1.5. El ciclo del agua	102
1.5.1. Midiendo la precipitación (pp).....	103
1.5.2. Las medidas de humedad	104
1.5.3. Observando las nubes	105
1.5.4. El balance hídrico	108
Autoevaluación	111
2. EL SISTEMA CLIMÁTICO	112
2.1. El sistema climático a través del tiempo	113
2.1.1. La variabilidad climática frente al cambio climático	117
2.1.2. El fenómeno de El Niño	119
Autoevaluación	122
3. USO DE LA INFORMACIÓN SOBRE EL TIEMPO Y EL CLIMA	123
3.1. Conocimiento local sobre el tiempo y el clima	125
3.2. Observación, monitoreo y pronóstico del tiempo y el clima	127
3.2.1. Red de observación en el Perú	129
3.2.2. Productos y servicios del SENAMHI	133
3.3. Información sobre el tiempo y el clima para la adaptación de cultivos	137
Autoevaluación	139
3.4. Información sobre el tiempo y el clima para el cuidado de la salud	140
3.5. Información sobre el tiempo y el clima en los sistemas de alerta temprana de eventos meteorológicos extremos	142
3.6. Información sobre el tiempo y el clima en el monitoreo del fenómeno de El Niño	147
Autoevaluación	150

Anexos y actividades	151
Anexo 1. Mapa conceptual de la aplicación de la ciencias atmosféricas en la promoción de la salud	152
Anexo 2. Iconos empleados por el SENAMHI	153
Anexo 3. Mapa de clasificación climática	156
Anexo 4. Mapa de eventos meteorológicos extremos	157
Anexo 5. Sistema Internacional de Unidades	158
Anexo 6. Múltiplos y submúltiplos de las unidades de medida	158
Anexo 7. Principales líneas imaginarias en un mapa	159
Anexo 8. Zonas horarias del mundo (desglosable)	161
Anexo 9. Ciclo del agua (desglosable)	163
Actividad 1. Eventos meteorológicos y climáticos	166
Actividad 2. La contaminación atmosférica	170
Actividad 3. Elaboración del calendario agrofestivo	173
Actividad 4. Investigo y aprendo del tiempo y clima en internet.....	176
Actividad 5. Construcción del termómetro	180
Glosario	182
Bibliografía	192
Índice de figuras	197
Índice de tablas	200



Prólogo

Estimados profesores:

La Popularización de la Meteorología en la Educación Básica Regular es una iniciativa del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y tiene por finalidad fortalecer las competencias y capacidades de los docentes y estudiantes de Educación Secundaria, sobre todo aquellas que están orientadas a los procesos de enseñanza y aprendizaje del área curricular de Ciencia, Tecnología y Ambiente, y a la educación comunitaria y ambiental, por vincularse significativamente con la meteorología.

El territorio peruano presenta una gran diversidad geográfica, biológica, climática y cultural muchas veces desconocida por sus habitantes. Por ello, es prioridad de la educación ambiental dar acceso a información sobre la realidad medioambiental nacional y propiciar la reflexión y elaboración de conocimientos sobre ello. En dicho contexto, esta guía tiene como objetivo complementar los conocimientos científicos de los docentes y, por extensión, de los estudiantes, sobre temas como el tiempo, el clima y el cambio climático, a fin de mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje sobre la meteorología, estrechamente relacionada con la educación ambiental.

Así, este texto está estructurado en dos capítulos. El capítulo I abarca contenidos sobre meteorología básica, específicamente sobre el tiempo y el clima, y muestra la influencia de estos en la vida de las personas, con ejemplos sencillos y cotidianos y sin dejar de lado información histórica relevante. El capítulo II presenta explicaciones sobre temas puntuales de la meteorología y climatología, sus relaciones en el sistema climático y los posibles usos de esta información para mejorar la calidad de vida de las comunidades. Adicionalmente, hemos incluido algunas actividades propuestas para el estudiante y anexos que serán de utilidad para el docente en el desarrollo de sus clases.

Es nuestra intención que esta guía sea un gran apoyo para la planificación de las actividades educativas relacionadas con el tiempo, el clima y el cambio climático. De igual modo, es nuestro deseo colaborar con la formación de ciudadanos informados, responsables y preparados para afrontar los efectos perjudiciales del tiempo y el clima, y capaces de promover una cultura de prevención ante los riesgos de desastres de origen climático. Esperamos unir esfuerzos en esta tarea y desde ya agradecemos su compromiso para llevar adelante la popularización de la meteorología en su institución educativa y en su comunidad.

El equipo técnico

PRESENTACIÓN DE LOS PERSONAJES: METEORITO Y KILLA

Los rostros de Meteorito:



1. ¿Quién es Killa?

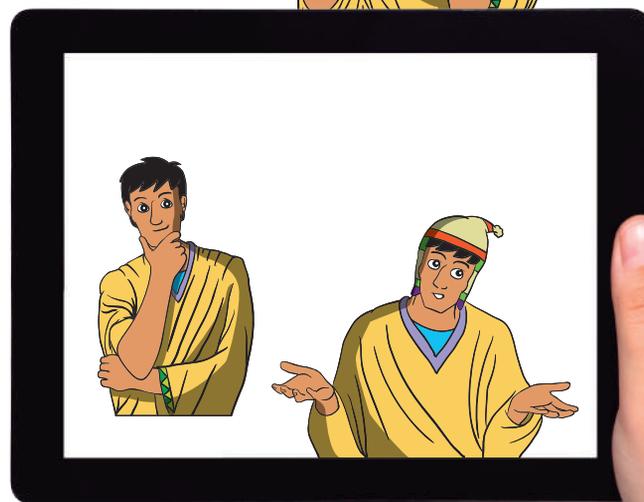
Es una niña, amiga de Meteorito que vive en los Andes peruanos.

2. ¿Quién es Meteorito?

Es un niño andino que vive mil aventuras y desafía al tiempo y el clima.

3. ¿Qué buscan?

Comprender el tiempo y el clima global y hacer uso de la información para su beneficio y el desarrollo de su comunidad.



Los rostros de Killa :



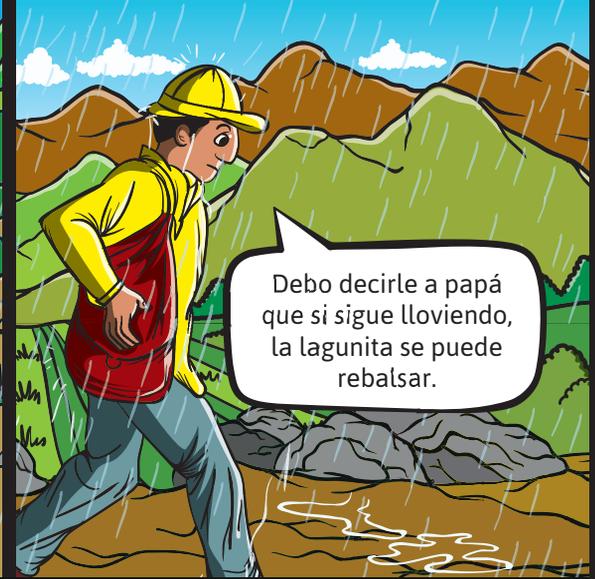
Un día en la vida de Meteorito



Camina más animado, pero descubre que se ha formado una pequeña laguna arriba del pueblo, como siempre sucede en temporada de lluvias.



Meteorito apura el paso... ahora está preocupado.



Sigue subiendo y parece que la lluvia empieza a disminuir.



La lluvia cesa y finalmente encuentra a sus animales.



Entonces llega Killa, amiga de Meteorito.





Finalmente llega al pueblo, guarda los animales y corre a casa.



¿Qué pasa, Meteorito?!

Papá, la laguna de arriba parece que se va a rebalsar.



Hijo, ¿estás seguro?

¡Sí, papá!

Entonces hagamos una asamblea en la escuela.



En la escuela

Tenemos que organizarnos para prevenir un desastre.

¡Sí! Hay que construir un canal alternativo.



De vuelta en casa, el papá de Meteorito conversa con su familia durante la cena.

El SENAMHI pronosticó lluvias para los próximos días. No podemos arriesgarnos.

Sí, todos debemos ayudar a desviar las aguas.

Por eso debemos hacer lo que acordamos en la asamblea.



Ya en su cuarto, Meteorito reflexiona acerca de su día.

Es increíble cómo dependemos del tiempo... la comunidad, los animales, las chacras.



Capítulo I.

Influencia del tiempo y el clima en el hombre y la sociedad

Como vimos en la historieta, el tiempo y el clima nos obligan a tomar decisiones diariamente, aunque no lo notemos: desde las más simples, como escoger la ropa que usaremos hoy, hasta las más complejas, como adelantar las cosechas o distribuir los gastos del mes. Para tomar conciencia, solo debemos pensar en cómo se desarrollan nuestras actividades.

Cuando se acerca el verano o el invierno, salimos a comprar ropa adecuada para la estación; de otro modo, sentiríamos mucho calor o mucho frío. En situaciones extremas, incluso podríamos sobrecalentarnos en verano o alcanzar la hipotermia en invierno. También nuestros alimentos cambian con la estación: disfrutamos de ciertas frutas en verano, y de mates o sopas calientes en invierno. Incluso nuestras casas se construyeron pensando en el clima de la región. ¿No son nuestros hogares el refugio contra el mal tiempo (granizo, lluvias fuertes, viento, etc.)?

Para el docente no es una novedad la influencia que tienen el tiempo y el clima en sus actividades. Planifican sus salidas de campo de acuerdo con el clima de su región o localidad; en algunos casos, incluso aprovechan las condiciones atmosféricas para desarrollar sus unidades didácticas. Pero

también se ven afectados de forma negativa: ¿cuántas veces tuvieron que suspender las clases por el mal tiempo (tormentas, huaicos o crecidas de ríos)? ¿Cuántas clases perdieron los estudiantes porque contrajeron enfermedades respiratorias, predispuestos por las olas de frío?

La meteorología es una ciencia relativamente nueva en el país si se compara con otras ciencias, como la astronomía, la física, la medicina; pero como parte de los intereses humanos se remonta a tiempos inmemoriales. Ese es el caso de las culturas precolombinas: en tanto conseguían su sustento por recolección y caza, sus actividades estaban condicionadas a los caprichos del tiempo y del clima, por ello desarrollaron progresivamente una sensibilidad casi intuitiva para comprender los fenómenos atmosféricos y convivir con ellos. Es decir, se adaptaron al tiempo y el clima.

Actualmente, la población es cada vez más sensible a los caprichos del tiempo y el clima debido al impacto en las actividades productivas y de servicios. Por ello, la información sobre el clima se está incorporando en la planificación de diversas actividades económicas y en la formulación del proyecto educativo de las instituciones educativas.

Hemos mencionado repetidas veces el tiempo y el clima, pero quizá aún no sea claro para nosotros por qué no los utilizamos como sinónimos. En el día a día usamos indiscriminadamente las palabras *tiempo* y *clima*. Sin embargo, estos términos, si bien están relacionados, son diferentes.



1. EL TIEMPO Y EL CLIMA

El tiempo es la suma de las variables meteorológicas (radiación, temperatura, precipitación, humedad, presión, viento y nubosidad) presentes en un corto periodo

de tiempo (minutos, horas o días). En otras palabras, el tiempo refleja las condiciones atmosféricas en un corto periodo de tiempo en un lugar determinado. Esto significa

que el tiempo puede estar representado por fenómenos atmosféricos de corta duración (**figura 1 [a], [b] y [c]**), o por

condiciones atmosféricas instantáneas (**figura 1 [d] y [e]**).



Figura 1. Diferentes representaciones del tiempo. [a] Helada; [b] tormenta; [c] friaje; [d] condiciones atmosféricas en una hora específica (cielo parcialmente nublado y una temperatura de 22 °C); [e] condiciones atmosféricas de un día en particular (nevada).

Por otro lado, el clima muestra las condiciones atmosféricas promedio en un largo periodo de tiempo (meses, años, décadas, etc.). Para describir el clima de un área determinada, se requiere la

información del tiempo de un periodo extendido (usualmente décadas). Esto quiere decir que el clima es un agregado de las condiciones del tiempo ocurridas en un largo periodo (**figura 2**).

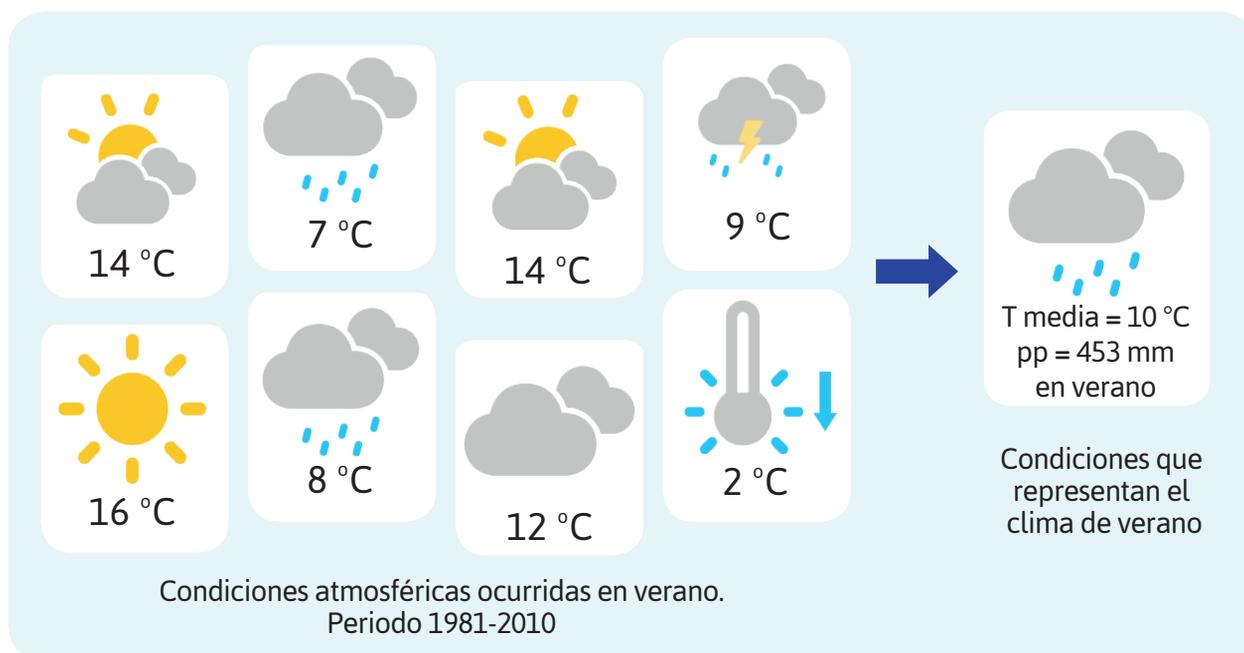


Figura 2. El clima y el promedio. El clima como resultado de promediar las condiciones atmosféricas diarias ocurridas durante el verano (enero, febrero y marzo) en un periodo de 30 años.

Podemos decir, de forma general, que el tiempo es específico e inmediato, mientras que el clima es general y extendido. El tiempo es una condición temporal que prevalece en un momento específico, mientras que el clima es un patrón promedio que representa a un periodo largo de tiempo.

La diferencia entre tiempo y clima se puede observar en la **figura 3**. El tiempo está representado por la temperatura media¹ de hoy en la estación meteorológica de Puno (10,5 °C), mientras que el clima de la misma estación está representado por la temperatura media promedio (9,1

¹ En general: La temperatura media es la temperatura promedio de un cierto periodo de tiempo (un día, un mes, un año, etc.).

°C) de un periodo largo de tiempo (1981-2010). Esto significa que para hallar la temperatura media o promedio se tuvieron que promediar las temperaturas medias de

todos los meses de 30 años de dicha estación.

La forma más común de representar el clima de un área determinada es a través

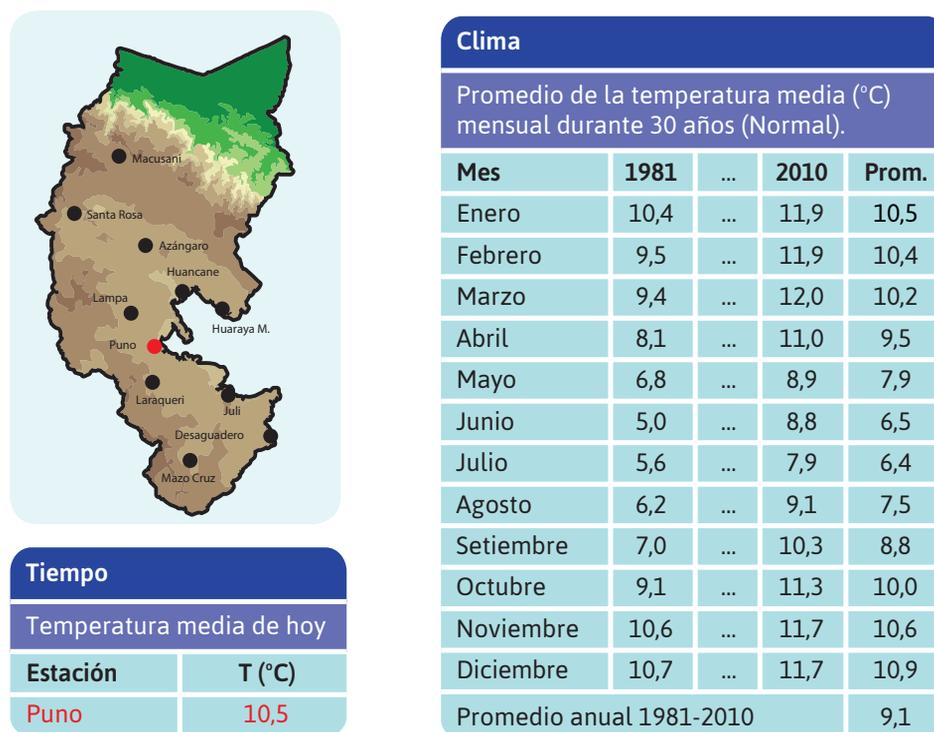


Figura 3. Tiempo y clima en la estación de Puno. Diferencia entre tiempo (en rojo) y clima (en azul) en la estación de Puno, tomando como ejemplo la temperatura media (T media).

de los promedios o las **normales**. De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), estas se obtienen promediando 30 años consecutivos de datos. Se considera que este periodo de tiempo es representativo del clima. Las normales solían actualizarse cada 30 años, lo que resultó en las normales de los periodos 1901-1930, 1931-1960 y 1961-1990. Sin embargo, desde 1956, la OMM recomienda que las normales de actualicen cada 10 años (ej.: periodo

1971-2000). Podemos tomar como ejemplo la **figura 3, cuadro de la derecha**, donde las normales mensuales de la temperatura media (en verde) se obtienen promediando las temperaturas medias mensuales de 30 años (de 1981 al 2010). Se puede realizar el mismo procedimiento con otras variables. De esta manera tendremos una idea de cómo se comporta el clima en una determinada región o localidad.



Autoevaluación

- Indica cuáles son los fenómenos atmosféricos que ocurren con más frecuencia en tu localidad.
- A través de un mapa conceptual, explica la relación que existe entre los fenómenos atmosféricos, las condiciones atmosféricas y las variables meteorológicas.
- Usando tus propias palabras, ¿cuál es la diferencia entre tiempo y clima?

2. EL TIEMPO Y EL CLIMA EN LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS

El tiempo y el clima también afectan nuestra economía. En algunos lugares del Perú y en la mayoría de los países en latitudes medias y altas, usan aparatos eléctricos para tolerar el frío o el calor, que afecta directamente la cuenta de luz. La reparación de nuestros hogares debido a daños causados por lluvias intensas o vientos fuertes también representa un gasto significativo; de igual modo, las pérdidas de cultivos por el granizo o la falta de lluvias. Además está el costo de nuestras visitas al médico por enfermedades estacionales como la gripe, la influenza, la malaria o las alergias.

Las principales actividades económicas de nuestro país (la minería, la agricultura y la pesca), así como otras actividades económicas (el turismo, las forestería, la ganadería, etc.), también se ven afectadas por el tiempo y el clima.

2.1. Influencia en la agricultura

La agricultura es una práctica ancestral en nuestro país. Por cientos de años nuestras comunidades agrícolas han mejorado sus técnicas y conocimientos (Earls, 1998). Claro que sufrimos algunos periodos de depresión, especialmente después de la Conquista, pero estamos recuperando y mejorando nuestra tecnología para enfrentarnos a los nuevos retos de esta extendida e importante actividad económica.

El éxito de la agricultura en los Andes ha dependido y aún depende de nuestra capacidad para adaptarnos a las condiciones meteorológicas y climáticas. Es por ello que comprender el tiempo y el clima es parte importante de la práctica agrícola. Para demostrarlo, nos centraremos en el cultivo de la papa.

La papa, como cualquier otra planta, presenta diferentes etapas de desarrollo; estas se conocen como fases fenológicas. La suma de las **fases fenológicas** representa

el **periodo vegetativo** de la planta. Como podemos observar en la página siguiente (**figura 4**), en cada fase fenológica las plantas presentan características particulares y, por lo tanto, también tienen requerimientos particulares.

Los requerimientos se refieren a las características ambientales necesarias para que el cultivo crezca y se desarrolle adecuadamente. Estas son características específicas, como el tipo de suelo, la cantidad de agua y las condiciones atmosféricas (temperatura, humedad y precipitación).

Ya que nuestro propósito es resaltar la influencia del tiempo y el clima en la agricultura, solo mencionaremos los requerimientos de temperatura y precipitación. Estas variables afectan a los cultivos en múltiples procesos fenológicos, como la germinación, velocidad de crecimiento, transpiración, respiración, fotosíntesis y absorción de agua y nutrientes. Para comprender la relación entre estas variables y la papa, debemos entender cuales son las condiciones óptimas y las condiciones críticas:

- Las **condiciones óptimas** permiten un buen desarrollo del cultivo y, por lo tanto, un buen rendimiento productivo.
- Las **condiciones críticas** solo permiten la supervivencia del cultivo, lo que resulta en una producción significativamente afectada. Si la planta es expuesta a condiciones fuera del rango óptimo, es probable que muera.

Entonces, para obtener una buena producción de papa, necesitamos exponer el cultivo a condiciones meteorológicas óptimas. Tomando en cuenta que estas condiciones son distintas para las diferentes variedades de papa, en general la papa requiere de 10 a 20 °C para su crecimiento y la formación de tubérculos. Menores

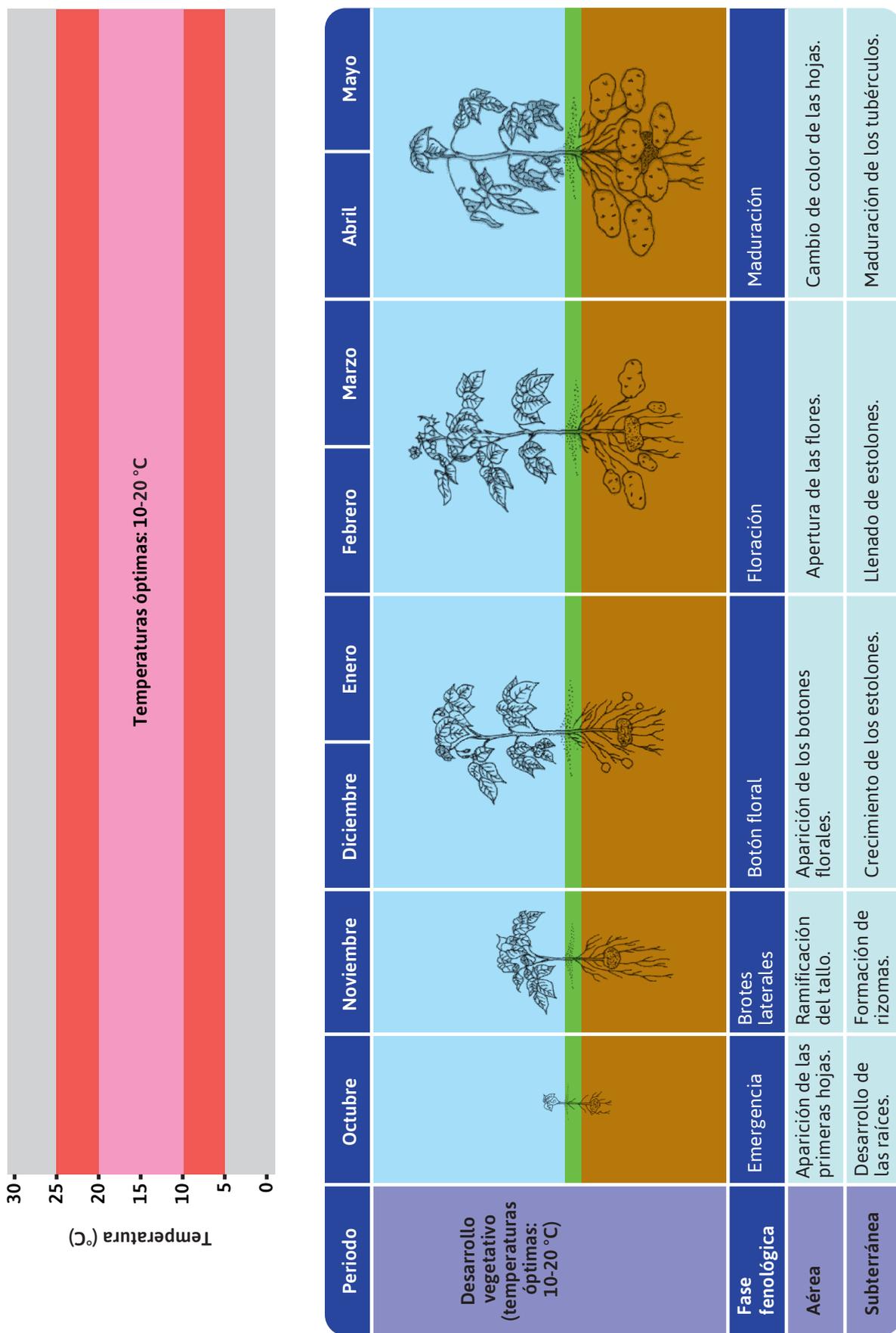


Figura 4. Fases fenológicas de la papa. Desarrollo aproximado de este cultivo en un periodo de ocho meses (SENAMHI y Minag, 2011). Tanto las condiciones óptimas y críticas como el periodo de desarrollo vegetativo varían de acuerdo con la variedad de papa.

temperaturas retrasan la germinación y alargan el periodo de crecimiento vegetativo (emergencia y brotes laterales). Mayores temperaturas inhiben el desarrollo de los tubérculos, aunque pueden favorecer el crecimiento de tallos y hojas si no se superan las temperaturas críticas (Minagri, 2013).

Con respecto a la precipitación, la papa se desarrolla adecuadamente entre los 500 y 1200 mm de lluvia por campaña agrícola. Si la precipitación es menor, el crecimiento se

ve afectado y los tubérculos son pequeños. Por otro lado, si hay exceso de lluvia, la raíz se puede pudrir por sobresaturación o pueden aparecer enfermedades.

En la **figura 5** se puede apreciar que la temperatura, la precipitación y la humedad afectan el desarrollo de la papa (de los cultivos en general) y de los agentes patógenos. En este caso, la rancho afecta el desarrollo de la planta, lo cual repercute finalmente en la productividad.

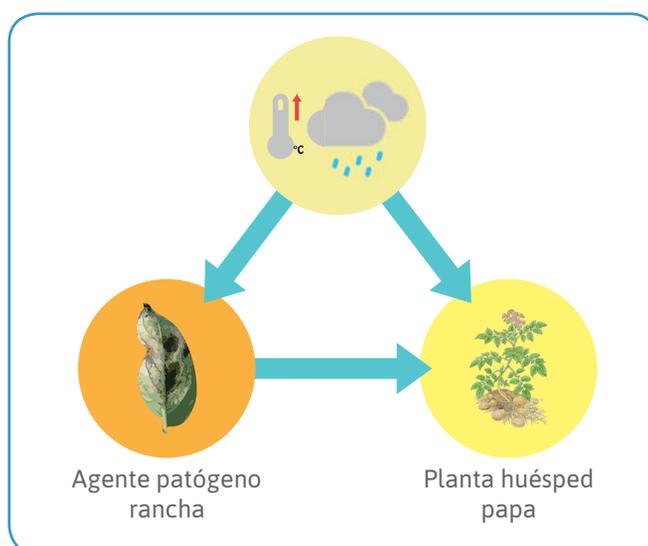


Figura 5. La papa y su relación con las condiciones meteorológicas. Condiciones atmosféricas (temperatura, precipitación, humedad), enfermedades, plagas.

Las enfermedades de la papa, como la rancho, la roña o el virus de la papa, también son susceptibles a las condiciones meteorológicas (Egúsqiza y Catalán, 2011). La rancho, por ejemplo, es una enfermedad

que pudre a la planta (**figura 6**); se puede observar como manchas húmedas de color marrón. Se desarrolla entre los 15 y 20 °C en ambientes de alta humedad debido a lluvias continuas o niebla permanente.



Figura 6. La rancho. Efecto de la rancho (*Pjhytohptora infestans*) en las hojas de papa.

El gorgojo de los Andes (**figura 7**) es un insecto cuya plaga aparece con el inicio de las lluvias. Sus larvas se desarrollan durante la maduración de los tubérculos y en los meses fríos; cuando no hay cultivo de papa, esperan debajo de la tierra en forma

de pupa para volver a emerger en la próxima temporada de lluvia. Los gorgojos adultos dañan las hojas de la papa, mientras que las larvas se desarrollan dentro del tubérculo, afectando la producción.

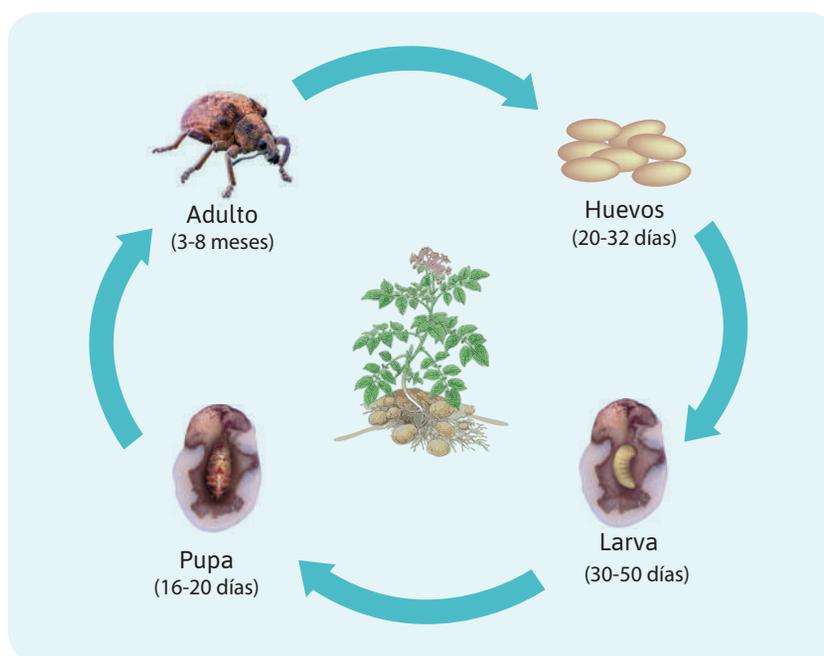


Figura 7. El gorgojo de los Andes. Ciclo de vida del gorgojo de los Andes (*Premnotrypes latithorax*).

Así es cómo el tiempo y el clima están relacionados con la agricultura. Sin embargo, según SENAMHI y Minag (2011), aun con la información de las condiciones

óptimas y críticas, no podemos escapar a los efectos de los eventos meteorológicos extremos: sequías, granizadas o heladas (**figura 8**).



Figura 8. Efectos de los eventos meteorológicos extremos en el cultivo de la papa. [a] Sequía; [b] granizada; [c] helada.

Las sequías prolongadas combinadas con altas temperaturas marchitan las plantas y reducen significativamente la producción.

Las granizadas destruyen los tallos y las hojas de las plantas. Del mismo modo, la helada es bastante perjudicial en la

época de floración, pues incentiva que los botones florales y las flores caigan. Si las temperaturas son menores a $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, incluso pueden helar el tubérculo, retrasando y disminuyendo la producción.

Si bien los eventos meteorológicos extremos causan daños importantes en el cultivo de la papa, también pueden ser beneficiosos para el control de plagas. Por ejemplo, se pueden aprovechar las heladas y la alta radiación de los meses de julio y agosto para acabar con los focos de infestación del gorgojo de los Andes, a través de la rotación del suelo. Esto expone a las pupas del gorgojo al frío y a la luz directa del Sol, lo que las mata.

2.2. Influencia en la ganadería

En nuestro país se desarrollan tres tipos de ganadería: la ganadería comercial, la pequeña y media ganadería y la ganadería de familias campesinas. La ganadería comercial consiste en la crianza de ganado especializado (productor de leche, carne o lana) y el uso de tecnología avanzada; esta se desarrolla principalmente en la costa. La pequeña y mediana ganadería se enfoca en la crianza de ganado criollo mejorado y hace uso tecnología media. Finalmente, la ganadería de familias campesinas consiste en la crianza de ganado criollo y hace uso

de tecnología de bajo nivel; sin embargo, este tipo de ganadería representa el 70 % de la producción a nivel nacional (Comisión Técnica Plan Ganadero Nacional, 2006).

El grueso de la ganadería practicada por las comunidades campesinas se encuentra en los Andes y consiste principalmente en la crianza de ganado vacuno, ovino y porcino. Debido a la falta de tecnología avanzada, este tipo de ganadería es la más afectada por el tiempo y el clima. Por ello, vamos a concentrarnos en ella y explicar la influencia que tienen los fenómenos atmosféricos en la supervivencia, el crecimiento, la reproducción y la producción de algunos animales de granja.

Dependiendo de la especie, los animales se desarrollan y rinden adecuadamente dentro de un **rango óptimo de temperatura**. Por ejemplo, la máxima producción de leche se logra entre los 4 y $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Vélez de Villa, 2013). A mayor temperatura, las vacas consumen menos alimento; por lo tanto, la producción de leche disminuye. Y a menor temperatura, el alimento que el ganado consume es usado para subir su temperatura corporal y no para producir leche; como resultado, la producción de leche también disminuye (**figura 9**).

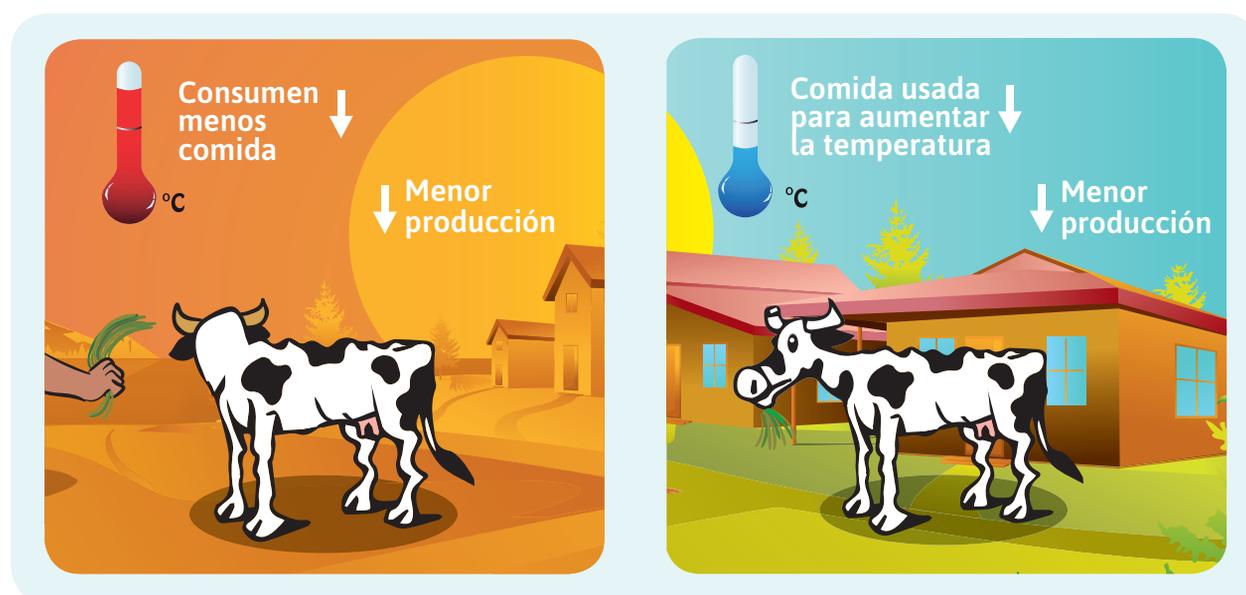


Figura 9. Efecto de la temperatura en la producción de leche

Entonces, una buena alimentación permite una buena producción de leche, y esta depende de la temperatura. Pero existe un factor climático que también puede interferir con la buena alimentación del ganado: la sequía. Las sequías estacionales afectan la calidad nutritiva del forraje y la disponibilidad de agua. Si el ganado no

tiene suficiente agua, reducirá su ganancia de peso. Este efecto combinado no solo afecta la producción de leche, sino también retarda el crecimiento y maduración de las vacas: es perjudicial para el ganado vacuno lechero y también para otras especies de ganado, en especial aquella de las que se obtiene carne (**figura 10**).



Figura 10. Efecto de la sequía en el ganado

La temperatura también afecta otros aspectos de la cría de ganado, como la supervivencia y la reproducción. La mayoría de animales de granja no pueden regular eficientemente su temperatura corporal; un aumento moderado y continuo de temperatura puede llevarlos a la muerte en un lapso relativamente corto. Por la misma razón, temperaturas muy elevadas pueden disminuir la fertilidad de los animales.

Existen otros factores relacionados con la radiación que también afectan la salud y reproducción del ganado: la radiación

ultravioleta y el fotoperiodo (duración del día solar). Una constante exposición a la radiación ultravioleta (UV) puede causar irritaciones en la piel o lesiones en los ojos y párpados de los animales; incluso se han reportado casos de abortos espontáneos (Echevarría y Miazso, 2002). Por otro lado, el fotoperiodo determina los tiempos de reproducción. En general, el ganado ovino y caprino se reproduce cuando el fotoperiodo es corto (invierno), y el ganado vacuno y equino se reproduce cuando las horas de sol son largas (verano) (**figura 11**).

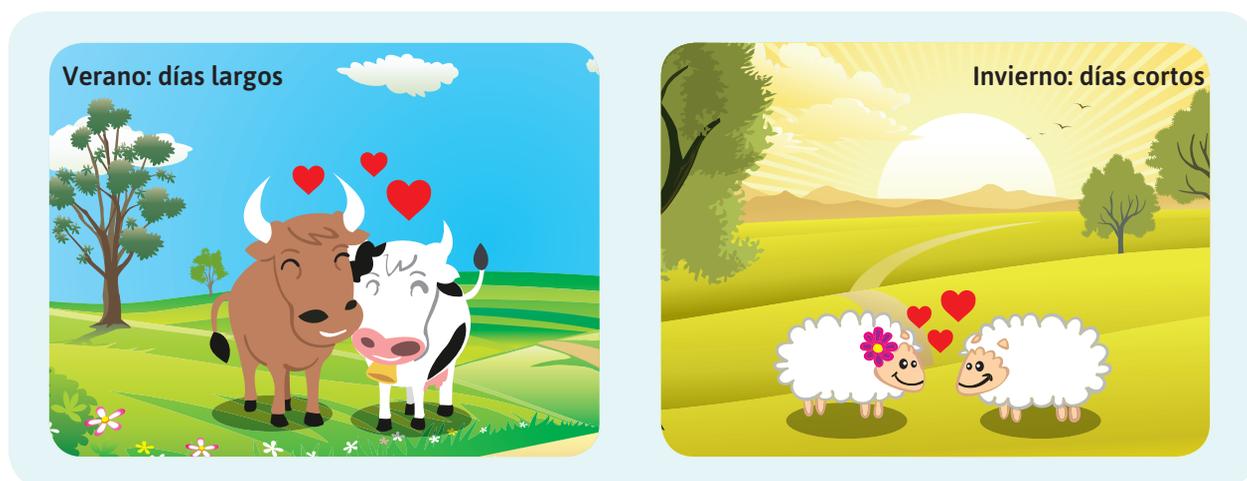


Figura 11. Influencia del fotoperiodo en la reproducción del ganado

La lluvia y el viento también son variables meteorológicas importantes cuando se trata de la seguridad y producción del ganado (Gomes, 2006). En condiciones de lluvia

y viento, como cuando hay tormentas, las vacas no se alimentan y la producción disminuye. Además, las tormentas eléctricas amenazan su seguridad.



Como podemos ver, el tiempo y el clima influyen de forma directa e indirecta en la salud, nutrición y seguridad de nuestros animales. Es por ello que la ganadería comercial invierte mucho dinero en la construcción de refugios para protegerlos de las condiciones atmosféricas y proporcionarles las condiciones óptimas para su desarrollo y producción.

2.3. Influencia en el turismo

Según el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, Perú posee un enorme potencial como destino turístico. Este potencial se basa principalmente en nuestra gran diversidad ecológica, biológica, genética y cultural. Nos encontramos entre los **17 países megadiversos**² del mundo. Somos el quinto país con mayor diversidad de reptiles (365 especies), el tercero en mamíferos (460 especies) y anfibios (332 especies), el segundo en aves (1736 especies) y el primero en peces (cerca de 2000 especies marinas y continentales). Poseemos 25 000 especies de plantas; el 30 % de ellas son endémicas, lo cual nos hace el quinto país con mayor diversidad de plantas en el mundo. Somos el primer país con mayor

cantidad de plantas con propiedades conocidas y utilizadas por la población (4400 especies) y el primero en plantas nativas domesticadas (128 especies). Perú es el país con mayor variedad de papas, ajíes, maíz, granos andinos, tubérculos y raíces andinas: “De los cuatro cultivos más importantes para la alimentación humana en el mundo (trigo, arroz, papa y maíz), el Perú es poseedor de [una] alta diversidad genética de dos de ellos, la papa y el maíz” (Conam, 2001: 24). Somos uno de los siete focos originarios de cultura en el mundo, contamos con una gastronomía reconocida, poseemos once lugares inscritos como patrimonio de la humanidad. En resumen, ciertamente contamos con los recursos suficientes para el desarrollo del turismo.

² De acuerdo con Mittermeier (Brooks, 2006), los países megadiversos poseen una gran biodiversidad. Estos son los siguientes: Australia, Brasil, China, Colombia, República Democrática del Congo, Ecuador, Estados Unidos, Filipinas, India, Indonesia, Madagascar, Malasia, México, Papúa Nueva Guinea, Perú, Sudáfrica y Venezuela.



Toda esta riqueza se debe a que Perú cuenta con una gran diversidad climática. Por encontrarnos en bajas latitudes, deberíamos tener un clima tropical; en lugar de eso, poseemos 84 **zonas de vida**³ de las 104 existentes en el mundo (Holdridge en Brook, 2006). Y esto gracias a dos características físicas principales: la cordillera de los Andes y las corrientes marinas de El Niño y de Humboldt (**figura 12**). La **cordillera de los Andes** es un conjunto de cadenas montañosas que se extiende desde Venezuela hasta el sur del continente y determina tres grandes áreas de nuestro territorio: costa, sierra y selva. La **corriente de El Niño** transporta aguas cálidas desde el Pacífico oeste hasta

las costas del norte del Perú. Gracias a esta corriente contamos con una pequeña zona de mar tropical frente a las costas de Tumbes y del norte de Piura, cuya temperatura oscila entre 25 y 26 °C. Por otro lado, la temperatura superficial del mar frente a la costa de Perú por debajo de los 5° S oscila entre 18 y 22 °C; esto se debe a la **corriente de Humboldt** y a los **afloramientos**: la corriente de Humboldt o peruana transporta aguas frías desde altas latitudes y los afloramientos son movimientos ascendentes de masas de aguas profundas hacia la superficie. Estas aguas son frías y ricas en nutrientes; por ello, sostienen nuestra diversidad marina.



³ Cada zona de vida relaciona una asociación vegetal específica con un tipo específico de clima.

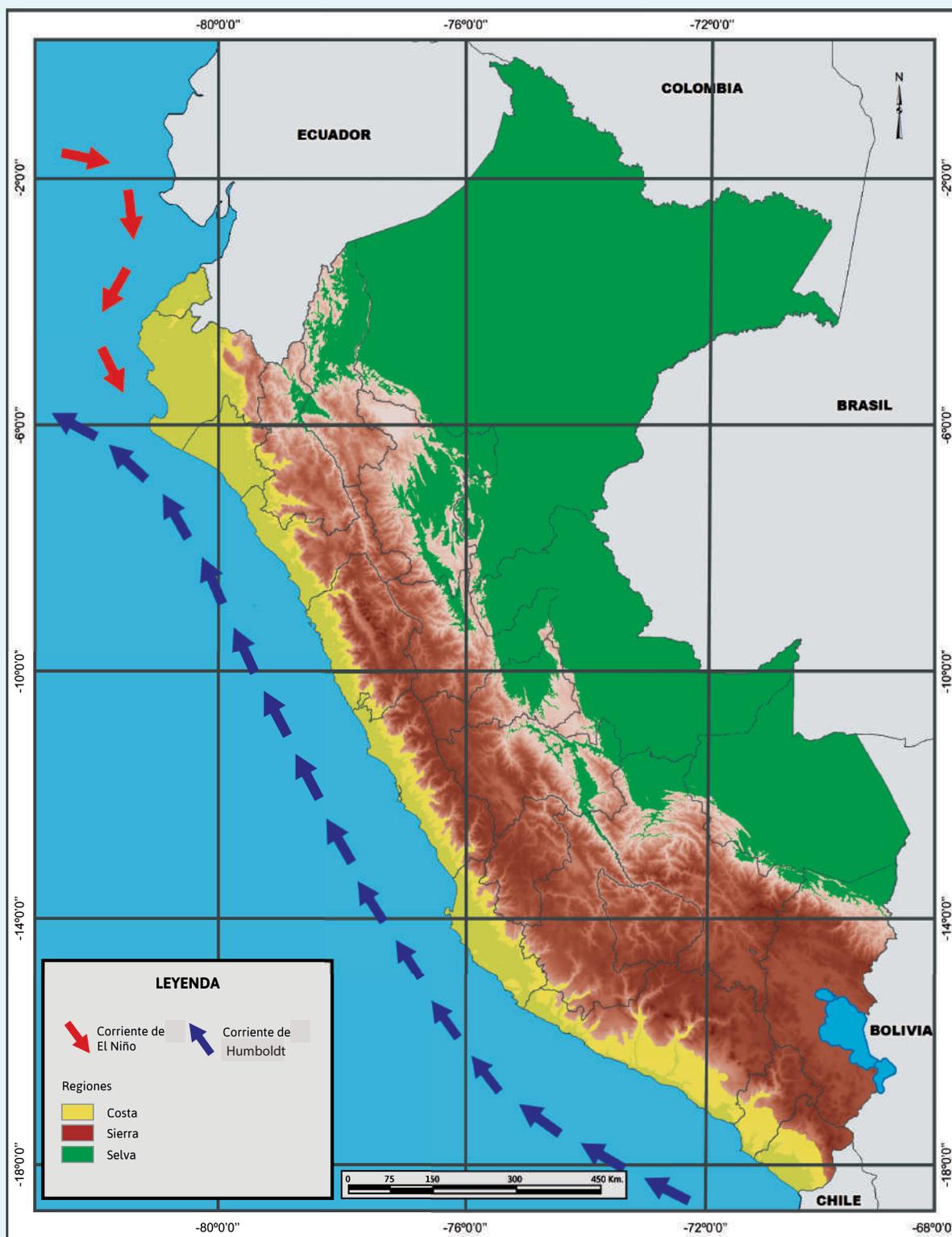


Figura 12. Algunas características físicas del Perú. La cordillera de los Andes (que delimita la geografía del país) y las corrientes marinas de El Niño y de Humboldt.



Para responder esta pregunta enfoquémonos en la capital del turismo, Cusco, y recordemos algunos episodios. En febrero del 2013, el poder ejecutivo declaró en estado de emergencia por 60 días a varios distritos de Cusco, entre ellos Urubamba y Ollantaytambo, que son importantes destinos turísticos. En los veranos del 2010, 2011 y 2012, algunos fenómenos naturales (deslizamientos, inundaciones y huaicos)

no permitieron que cientos de turistas continuaran con su circuito turístico: en el mejor de los casos sus actividades solo se vieron retrasadas, y en el peor de los casos tuvieron que ser evacuados de zonas de desastre (**figura 13**). Incluso Machu Picchu tuvo que ser cerrado en varias oportunidades a causa del mal tiempo (lluvias intensas y deslizamientos).



© Agencia EFE.

Figura 13. Turismo afectado por fenómenos naturales. Un grupo de turistas es evacuado a causa de las lluvias torrenciales que aíslan Aguas Calientes en Cusco.

Entonces, queda claro que los eventos meteorológicos extremos afectan significativamente el turismo; tanto al empresario que ofrece sus productos y servicios (transporte, alojamiento o entretenimiento) como al turista, que busca satisfacer sus necesidades culturales

o recreativas. Sin embargo, la influencia del tiempo y el clima va más allá de los desastres naturales: representa un factor clave en el proceso de decisión, planificación y desarrollo de la actividad turística (Gómez, 2005).

El turismo es una actividad compleja en la que intervienen diversos factores y agentes, desde las instituciones del Gobierno hasta los viajeros de fin de semana. Sin embargo, para explicar cómo el tiempo

y el clima influyen en esta actividad, hemos simplificado el proceso y nos hemos concentrado en ciertos aspectos del turismo, y solo desde las perspectivas del empresario y el turista (**tabla 1**).

Preguntas clave		
	Empresario	Turista
Decisión	¿Dónde puedo establecer un hotel o centro turístico?	¿A dónde puedo ir a satisfacer mis necesidades culturales o recreativas?
Planificación	¿Qué actividades puedo organizar para satisfacer las necesidades del turista?	¿Qué actividades podría realizar en el lugar que escogí?
Desarrollo	¿Con qué locaciones puedo contar hoy o los próximos días? ¿Qué actividades puedo permitir hoy o los próximos días?	¿A dónde puedo ir hoy o los próximos días? ¿Qué actividades puedo realizar hoy o los próximos días?

Tabla 1. Preguntas clave para el turista y el empresario de turismo. Preguntas a responder durante el proceso de decisión, planificación y desarrollo de la actividad turística.

Los empresarios solicitan información climática al SENAMHI para decidir la ubicación, el diseño, la infraestructura y la organización de sus servicios recreativos porque el clima determina la flora y fauna de un lugar, la disponibilidad de agua e incluso ciertos aspectos de la fisiografía de la región. Por ejemplo, un clima lluvioso exige una ubicación cuidadosa del hotel respecto a las fuentes de agua; así se evita que se inunde durante una crecida del río o sea destruido por deslizamientos o huaicos. En este caso, la infraestructura del hotel debe estar preparada para drenar el agua, y en caso los turistas se encuentren imposibilitados de salir, contar con suficientes actividades bajo techo.

Por otro lado, las actividades turísticas no se distribuyen homogéneamente en el espacio. Una de las razones es que las condiciones climáticas específicas de cada área influirán en las clases de actividades que se realicen (Gómez, 2005). Por lo tanto,

en la planificación de posibles actividades al exterior también debemos tomar en cuenta el clima, ya que algunas de ellas necesitan condiciones especiales. Por ejemplo, se requiere de frío y acumulación de nieve para realizar deportes de invierno, y vientos relativamente fuertes para actividades como el parapente o *windsurfing*.

Sin embargo, a pesar de la planificación adecuada de actividades, estas todavía pueden ser afectadas por el tiempo. El tiempo influye en el desarrollo satisfactorio de estas actividades, con seguridad, comodidad y disfrute. Las lluvias fuertes pueden hacer peligrosas las caminatas, el ciclismo y las salidas al campo. Los vientos muy fuertes pueden afectar la pesca y el nado en el mar o poner en peligro a los entusiastas del parapente. Si bien la nieve es necesaria para los deportes de invierno, una tormenta de nieve arruinaría cualquier posibilidad de practicarlos.

El tiempo y el clima afectan el turismo e influyen en la satisfacción de las necesidades

de los turistas (**tabla 2**), y el turista es la razón de ser de esta actividad.

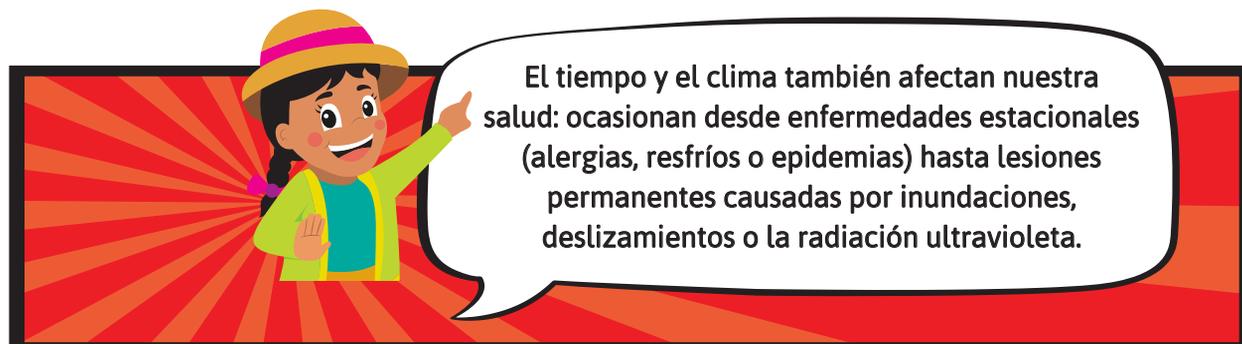
Necesidades del turista	¿En qué grado afectan el tiempo y el clima la satisfacción de estas necesidades?		
	Bajo	Medio	Alto
Necesidades culturales	X		
Necesidades de cambio de lugar y actividad			X
Necesidades de entretenimiento y relajación		X	X
Necesidades de seguridad			X

Tabla 2. Necesidades del turista. Cómo el tiempo y el clima afectan la satisfacción de las necesidades del turista (Gómez, 2005).

3. EL TIEMPO Y EL CLIMA EN LA SALUD DE LAS PERSONAS

Anteriormente hemos revelado cómo el tiempo y el clima influyen en nuestras actividades económicas y en nuestra vida cotidiana. Hemos mencionado cómo

los fenómenos atmosféricos afectan directamente el crecimiento, el desarrollo y la salud de las plantas y los animales.



3.1. La radiación ultravioleta y nuestra salud

La radiación ultravioleta (UV) es parte de la radiación emitida por el Sol, así como la luz visible (**cap. II, sec. 1.2.**). Esta radiación es absorbida en su mayoría por

la capa de ozono (**cap. II, sec. 1.1.**), pero parte de ella logra alcanzar la superficie terrestre (longitudes de onda mayores de 300 nm aproximadamente) (**figura 14.**). Esta pequeña cantidad de radiación UV que nos alcanza es la que puede afectar nuestra salud.

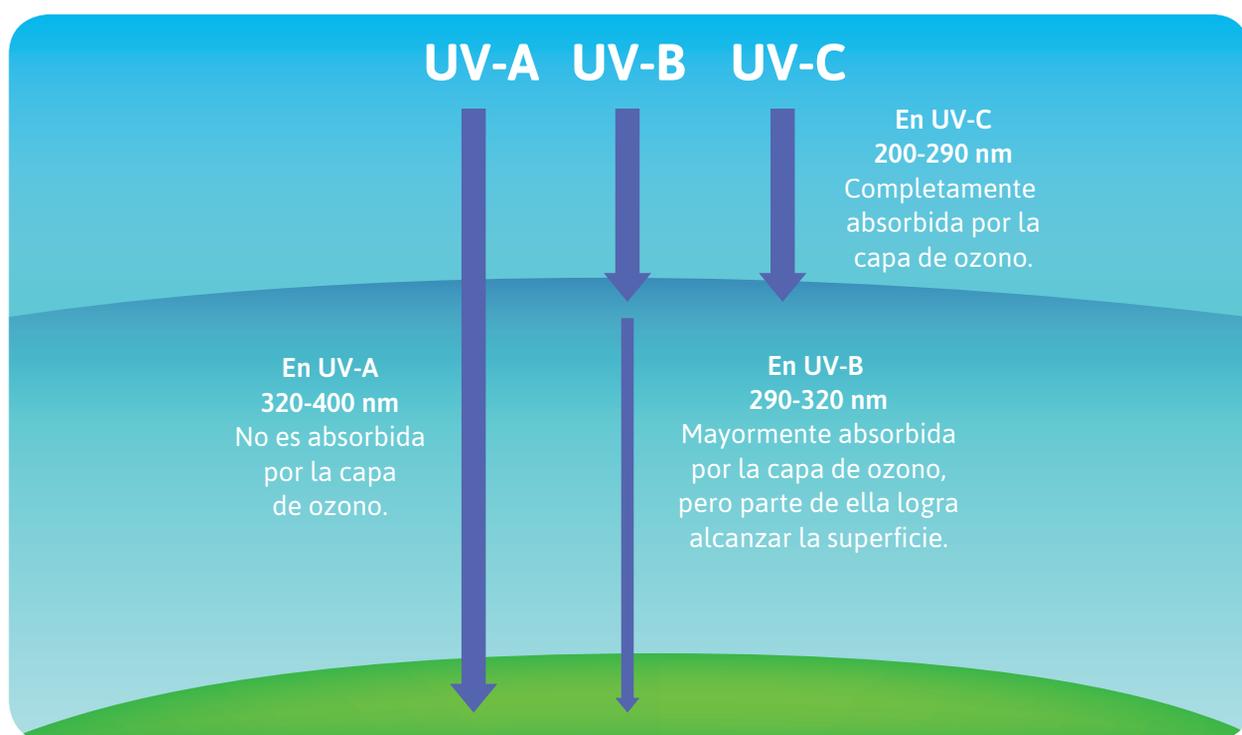


Figura 14. Tipos de radiación ultravioleta

La radiación UV-C es absorbida por la capa de ozono, lo cual es una fortuna, porque es muy peligrosa para los seres

vivos: puede dañar la córnea de los ojos, destruir organismos unicelulares e incluso mutar cromosomas. Por otro

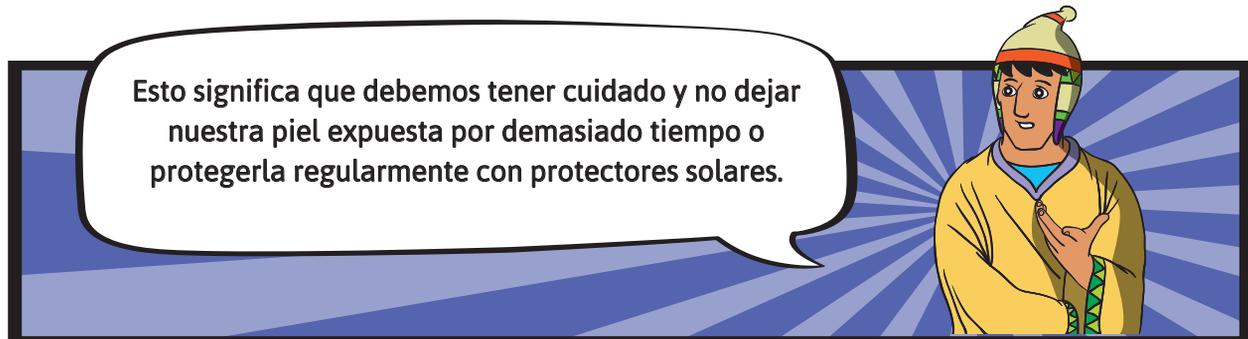
lado, una pequeña parte de la radiación UV-B alcanza la superficie y penetra la piel causando quemaduras, supresión del sistema inmune y cáncer de piel. Alrededor del 90 % del cáncer de piel está relacionado con la radiación UV-B (Ahrens, 2009). Finalmente, la radiación UV-A representa más del 95 % de toda la radiación UV que alcanza la superficie. Se pensaba que esta solo causaba enrojecimiento de la piel; sin embargo, estudios indican que las largas exposiciones también pueden causar vejez prematura, supresión del sistema inmune, problemas oculares (cataratas o degeneración macular) y cáncer de piel. (Grujil, 1999).

El daño causado por la radiación UV depende del tiempo de exposición y el tipo de piel. No olvidemos que nuestra piel está adaptada a la continua exposición de radiación UV y que absorbe parte de esta a través de unos pigmentos oscuros llamados **melanina**. Es así como se produce el bronceado: a mayor exposición al Sol, mayor producción de pigmentos y

mayor oscurecimiento de la piel. Las pieles oscuras hacen un mejor trabajo protegiendo sus células que las pieles claras; incluso se cree que el incremento de cáncer de piel se debe a la migración de personas de piel clara hacia regiones subtropicales o tropicales, donde la radiación es mayor. Sin embargo, sin importar el color de piel, la sobreexposición a la radiación UV puede producir los efectos antes mencionados.

A pesar de que la radiación UV causa problemas de salud, la radiación UV-B es importante para la fortificación de nuestros huesos porque activa la provitamina D en la piel, que finalmente se convierte en vitamina D, responsable de la fijación del calcio.

Desafortunadamente, es difícil determinar exactamente cuántas horas de exposición al Sol necesitamos para ayudar a la producción de vitamina D, ya que depende del tipo de piel y otros factores; pero se ha encontrado que una mayor exposición al Sol no significa necesariamente una mayor producción de vitamina D (Olds, 2008).



Esto significa que debemos tener cuidado y no dejar nuestra piel expuesta por demasiado tiempo o protegerla regularmente con protectores solares.

3.2. La contaminación atmosférica

El tema de la contaminación ambiental se volvió popular después de enfrentar las consecuencias de la Revolución Industrial y la Segunda Guerra Mundial. Un evento que causó impacto en la ciencia, en la percepción pública y en el sistema legislativo fue la gran niebla (*Great Smog*) de 1952 en Londres, Inglaterra (Bell, 2004). Debido a condiciones atmosféricas particulares, la polución que

producían las industrias fue atrapada en la ciudad por 4 días (**figura 15**), lo que produjo una niebla química que afectó la salud de su población. Se calculó que más de 4000 personas murieron prematuramente de problemas respiratorios en las semanas siguientes. La evidente relación entre polución y salud llevó al Gobierno inglés a regular las actividades industriales para prevenir futuros eventos.



© Topham Picturepoint, 2002.

Figura 15. La gran niebla. La plaza Trafalgar en Londres durante la gran niebla, 5 de diciembre de 1952.



El episodio de la gran niebla demostró que existe una relación directa entre el ambiente y las actividades humanas. Es obvio que contaminamos, pero no somos los únicos: la naturaleza también contamina.

Entonces, ¿qué contamina el ambiente?

Se puede decir que todo material se puede convertir en contaminante cuando este se encuentra fuera de su medio natural o en concentraciones más altas de lo normal. Si estos son capaces de causar efectos adversos en el ambiente o representar un riesgo para los organismos vivientes, son llamados contaminantes o polutos (Brusseau, 2004).

Estos contaminantes se pueden encontrar en el aire, el agua o el suelo, pero ahora solo estamos interesados en la contaminación del aire porque es la que se relaciona con la atmósfera. El aire limpio de la atmósfera es una mezcla de gases (**figura 27**) que está compuesta por 99 % de nitrógeno y oxígeno; pero son los gases que se encuentran en menor proporción los que pueden causar desequilibrios en el ambiente y, por tanto,

afectar la salud de las personas. Los gases que son parte de la atmósfera, como el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4), pueden ser considerados contaminantes cuando sus concentraciones exceden el promedio. Pero también existen otros gases que son introducidos en la atmósfera y son considerados contaminantes, como el dióxido de azufre (SO_2) o el monóxido de carbono (CO).

De acuerdo con la Agencia de Protección del Ambiente (EPA por sus siglas en inglés: Environmental Protection Agency), existen 6 gases que representan un real peligro para la atmósfera (**tabla 3**). Estos gases no solo causan problemas de salud, sino también daño a la propiedad y ponen en riesgo el medioambiente.

Contaminante	Descripción	Fuentes	Efectos
Ozono superficial O ₃	No es introducido directamente en el aire, es creado por reacciones químicas entre óxidos de nitrógeno (NO _x) y compuestos orgánicos volátiles (COV) en la presencia de calor o luz.	Motores desgastados, vapores de gasolina, fabricas, vertederos y los solventes industriales son las fuentes más importantes de NO _x y el COV.	Irrita el tracto respiratorio. Produce susceptibilidad a infecciones pulmonares. Provoca mal funcionamiento de los pulmones e inflamación. Agrava el asma, la bronquitis y el enfisema. Puede reducir el rendimiento de la agricultura y dañar la vegetación.
Monóxido de Carbono CO	Gas incoloro e inodoro que resulta de la combustión incompleta.	Motores, procesos industriales e incineradores. Altas concentraciones pueden ser encontradas en espacios cerrados como garajes, túneles y en el congestionamiento vehicular.	Deteriora la capacidad de la sangre de transportar oxígeno a tejidos vitales, lo que afecta los sistemas cardíaco, pulmonar y nervioso. Los síntomas incluyen dolor de cabeza, fatiga, náuseas, deterioro visual y de la memoria, y disminución del control muscular.
Dióxido de nitrógeno NO ₂	Pertenece a la familia de gases reactivos llamados óxidos de nitrógeno (NO _x). Formado cuando un combustible es quemado a altas temperaturas.	Motores, plantas de energía y calderas industriales.	Irrita y causa daños a los pulmones, y baja su resistencia a infecciones respiratorias, como la influenza. Contribuye a la formación de ozono y lluvia ácida, lo que afecta a los sistemas terrestres y acuáticos.
Material particulado	Mezcla de partículas sólidas y líquidas en el aire. Incluye ácidos, metales, químicos orgánicos y polvo. Pueden ser visibles o microscópicas.	Vendavales de polvo. Operaciones de trituración y molienda. Carreteras sin pavimentar. Combustión de combustibles y de estufas de leña. Arado y quemado de campos. A partir de gases como SO ₂ y NO _x .	Irritación de ojos, nariz y garganta. Disminuye la función pulmonar. Agrava la bronquitis y el asma. Los niños, los ancianos y las personas con problemas del corazón y pulmones se encuentran en mayor riesgo. Reduce la visibilidad. Acidifica el agua y consume los nutrientes del suelo.
Dióxido de azufre SO ₂	En bajas concentraciones es inodoro, pero en altas concentraciones es picante. Se produce cuando se queman combustibles con contenido de azufre.	Combustión de combustible, plantas de energía, refinarias de petróleo, fábricas de papel y plantas químicas.	Causa problemas respiratorios, agrava las condiciones cardiovasculares y el asma. Puede formar aerosoles ácidos y ácido sulfúrico, los cuales están relacionados con la acidificación de los lagos y la corrosión de materiales; también con la reducción de la visibilidad.
Plomo Pb	Metal pesado que puede causar serios problemas si se respira o ingiere.	Suelos, pinturas, combustibles, fundiciones y combustión de basura con contenido de Pb.	Se acumula en los huesos. Dependiendo de la exposición, puede causar daño en el sistema nervioso, los riñones, la sangre y la digestión. Ocasiona la pérdida de biodiversidad y el cambio en la composición de la comunidad ecológica.

Tabla 3. Los seis contaminantes más importantes del aire. Información de acuerdo con Environmental Protection Agency (2012).

Además, con fines didácticos, podemos considerar dos grupos de gases contaminantes: los gases de efecto invernadero (**tabla 4**) y los gases reactivos (**tabla 5**). Los gases de efecto invernadero atrapan la radiación de la Tierra y producen el calentamiento en la superficie, lo que se conoce como efecto invernadero (**cap. II, sección 1.2.2**). En adición a los gases de efecto invernadero, los gases

reactivos son producidos en el ciclo del azufre, nitrógeno y cloro. Estos juegan un rol importante en la producción de lluvia ácida y la destrucción del ozono.

Estos gases y sus consecuencias son un claro ejemplo de cómo el tiempo y el clima nos afectan, y de cómo nosotros también podemos afectar el sistema climático (**cap. II, sección 2**).

Gases de efecto invernadero		
Contaminante	Fuentes naturales	Fuentes antropogénicas
Dióxido de carbono C ₂ O	Componente de la atmósfera como parte del ciclo del carbono (producto de la respiración).	Combustión de combustibles fósiles para crear energía, transporte y procesos industriales. Reacciones químicas en la producción de cemento, hierro y acero.
Metano CH ₄	Producto de la descomposición bacteriana en humedales, volcanes y sedimentos. También se produce en incendios forestales y por emisión de las termitas.	Industria, gestión de residuos y tratamiento de aguas servidas, procesamiento y almacenamiento de petróleo, fugas en los sistemas de gas natural, cría de ganado.
Óxido nitroso N ₂ O	Presente en la atmósfera como parte del ciclo del nitrógeno. También es producido por las bacterias que descomponen el nitrógeno en el suelo y el océano.	Combustión de combustibles fósiles, vehículos motorizados, uso de fertilizantes para la agricultura. Subproducto en la producción de ácido nítrico para fertilizantes y ácido adípico para hacer fibras (nylon).
Gases fluorados: Hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF ₆), trifluoruro de nitrógeno (NF ₃).	No existen fuentes naturales.	La industria del aluminio, magnesio y semiconductores produce PFC y SF ₆ . Se usan los HFC como refrigerantes, propelentes de aerosol, solventes y retardantes, y es un componente en los equipos de transmisión eléctrica.

Tabla 4. Gases de efecto invernadero. Según EPA e IPCC (1992).

Gases reactivos		
Contaminante	Fuentes naturales	Fuentes antropogénicas
Dióxido de azufre SO ₂	Volcanes y aguas termales.	Combustión de combustibles fósiles para crear energía, transporte y procesos industriales. Procesamiento de materiales con sulfuro. Producción de arenas petrolíferas. Refinería de minerales.
Dióxido de nitrógeno NO ₂	Vegetación en descomposición y volcanes. Producido en la atmósfera por relámpagos.	Combustión de combustibles fósiles para crear energía, transporte, y procesos industriales. Refinerías de petróleo y metales. Procesamiento de alimentos.
Clorofluorocarbonos CFC	No existen fuentes naturales.	Refrigerantes, solventes para limpieza, agentes espumantes, aerosoles, componentes eléctricos.
Halones o bromofluorocarbonos	No existen fuentes naturales.	Extintor, pesticidas, propelentes en aerosol.
Tetracloruro de carbono CCl ₄	No existen fuentes naturales.	Industria que produce CFC, vertedores industriales, solventes, agentes de limpieza en seco.

Tabla 5. Gases reactivos. Según EPA e IPCC (1992).



Autoevaluación

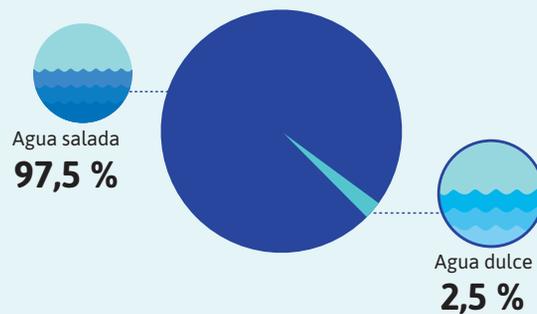
- Haz un listado de las enfermedades producidas por una constante exposición al Sol. ¿Qué medidas de prevención podrías emplear?
- El SENAMHI hace un monitoreo de los siguientes contaminantes: monóxido de carbono (CO), ozono superficial (O₃), óxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂), ácido nítrico (HNO₃), partículas finas y material particulado. Clasifícalos dentro de los grupos mencionados en esta sección.

4. EL TIEMPO, EL CLIMA Y LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA

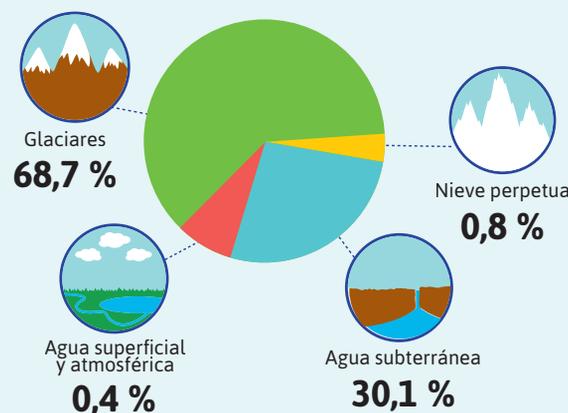
Hasta ahora hemos descubierto cómo el tiempo y el clima afectan de forma perceptible diferentes aspectos de nuestra sociedad; uno de esos aspectos es la disponibilidad de los recursos. Estos recursos dependen, entre otras cosas, de las condiciones meteorológicas. Una sequía severa, por ejemplo, podría ocasionar escasez de alimentos, ya sea por pérdida de cultivos o de ganado. De la misma forma, la disponibilidad de nuestro recurso más preciado, el agua, se ve afectada por las condiciones climáticas.

Más del 70 % de la superficie terrestre está cubierta de agua; sin embargo, solo el 2,5 % de ella es agua dulce. De ese pequeño porcentaje, menos del 1 % se encuentra disponible para el uso humano y para mantener la biósfera; esto es aproximadamente 0,007 % del agua total (**figura 16**). Este mínimo porcentaje corresponde al agua de los lagos, ríos, reservorios y el agua subterránea que puede ser extraída; solo esta cantidad puede ser renovada por las precipitaciones. Es por esta razón que el agua es nuestro recurso más preciado.

El total del agua se distribuye de la siguiente manera:



El agua dulce (2,5 % de la totalidad de agua) se distribuye de la siguiente manera:



El agua superficial y atmosférica (4,4 % del agua dulce) se distribuye de la siguiente manera:

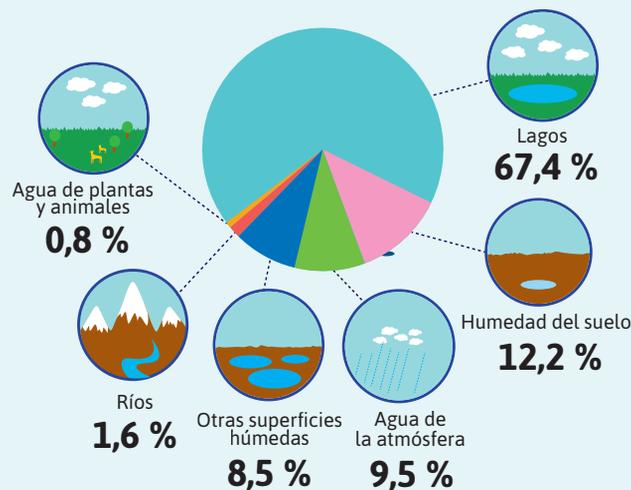


Figura 16. Distribución total del agua. Según WWAP, citado por Unesco (2015).

Alrededor de un tercio de la población mundial vive en países con problemas de escasez de agua (Uitto, 2002); esto se debe a que el agua no se distribuye equitativamente. La distribución de los continentes y la topografía terrestre han creado regiones con exceso de agua y otras con deficiencia de esta. El agua tampoco se distribuye en proporción a la población local (figura 17). A mayor población habrá una mayor demanda de agua; desafortunadamente, la cantidad de agua disponible en una región no siempre es suficiente para cubrir esta demanda. Se

estima que el mínimo adecuado de agua disponible en una sociedad floreciente es de 1700 m³ por persona al año. Así, se considera que los países que poseen entre 1700 y 1000 m³ de agua por persona al año sufren de “estrés por agua” y que aquellos países cuya disponibilidad de agua está por debajo de los 1000 m³ por persona al año poseen un “alto estrés por agua” o una escasez crónica de agua (UNEP, 2010). Si la disponibilidad de agua se encuentra por debajo de los 500 m³ por persona al año, se considera una seria amenaza al desarrollo de una sociedad y a la vida humana.

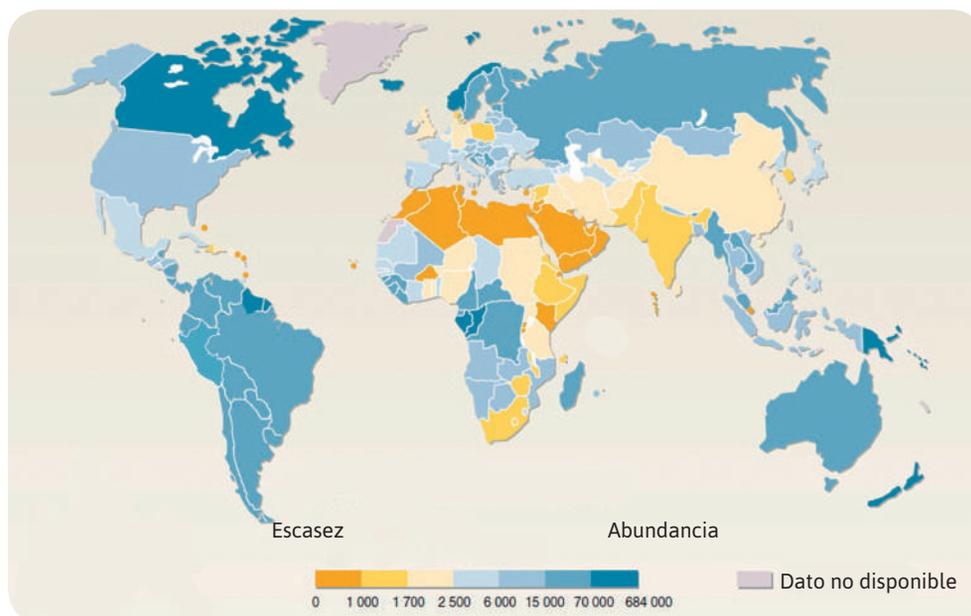


Figura 17. Disponibilidad del agua en el mundo. Disponibilidad del agua en m³ por persona al año durante el 2007 (UNEP, 2010).

Mientras que Canadá dispone de 91 420 m³ de agua para cada uno de sus 32 millones de ciudadanos, Argelia, con una población similar, solo dispone de 440 m³ de agua por persona al año (UNEP, 2010).

El control o el manejo del agua se ha convertido en un importante aspecto del desarrollo de un país, y en algunos casos el no tener agua puede representar un riesgo para la seguridad de los países y la paz mundial.

No solo usamos el agua para beber, lo cual es vital para nuestra subsistencia, sino que la usamos para mejorar nuestra calidad de vida y desarrollar nuestras sociedades (UNESCO, 2009). Usamos el agua en la agricultura, en la producción de energía, en las industrias y en la recreación. De todas estas actividades, la agricultura es la que más hace uso del agua dulce (**figura 18**). Incluso se estima que entre el 85 y el 90 % de agua disponible en África y Asia es usada para la agricultura. En nuestro país el uso del agua para la agricultura también es elevado, más del 79 %.

El agua también es usada por la industria: en los sistemas de enfriamiento para la producción de energía, para el lavado y la limpieza, como solvente y como parte de la composición de algunos productos finales. Alrededor del 20 % del total de agua usada por el hombre es destinada a las industrias.

El agua de uso doméstico es otro aspecto importante, especialmente para las ciudades más pobladas.

La demanda de agua va en aumento debido al crecimiento de la población, mientras la oferta de agua se mantiene igual o varía debido al cambio climático. El cambio climático afecta el ciclo hidrológico cambiando la distribución de agua en el planeta. De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés: Intergovernmental Panel on Climate Change), en Sudamérica los glaciares han disminuido su área, la precipitación se ha incrementado en la cuenca del Amazonas y al sureste de Sudamérica (incluida la Patagonia), mientras esta ha disminuido en Chile y partes de la costa occidental del continente. Sin embargo, el impacto del cambio climático es diferente en cada región de la Tierra y estas tendrán que afrontar diferentes problemas.

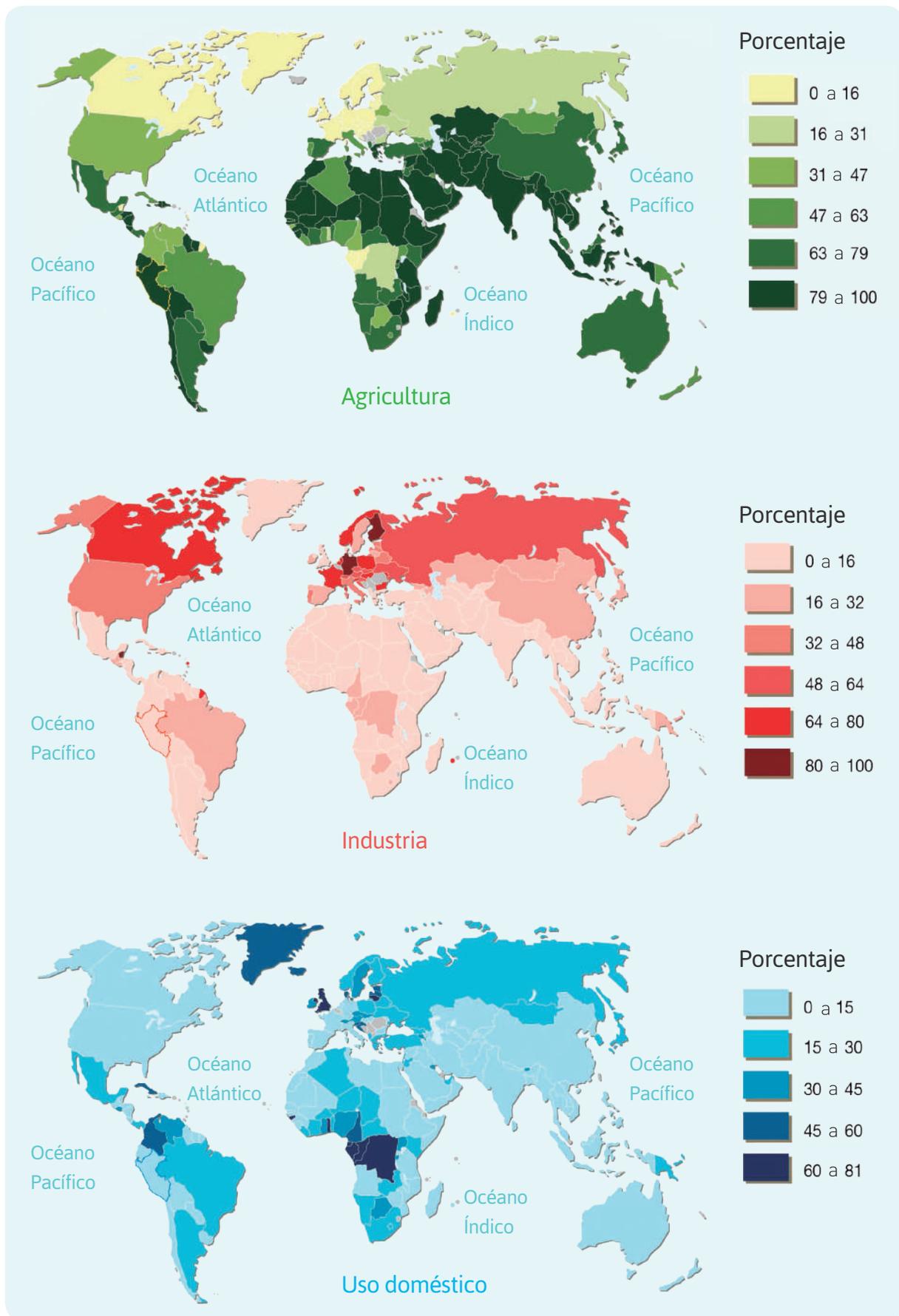


Figura 18. Uso del agua en el mundo. Uso del agua disponible por sectores en los comienzos del 2000 (WRI, 2002).



Perú también se encuentra entre los países que posee una buena disponibilidad de agua. Sin embargo, los grandes centros urbanos, que en su mayoría se encuentran en la costa, sufren de un mayor estrés por agua.

Un ejemplo del impacto del cambio climático sobre los recursos del agua se encuentra en la fluctuación natural del lago Chad. La cuenca del lago Chad cubre una gran parte de África central (incluye los países de Chad, Níger, Nigeria, Camerún, La República Central Africana y Sudán); se encuentra en el extremo sureste del desierto del Sahara y sostiene al ecosistema, el ganado y a las comunidades de la zona. Este lago tiene entre 4 y 8 metros de profundidad, lo que significa que un pequeño cambio en el nivel de agua representa un gran cambio en el área del lago. Desde 1960, debido a una serie de sequías severas, el lago ha experimentado una considerable pérdida de área por la disminución del nivel de agua. La falta de precipitación y la disminución en el flujo de su principal tributario, el río Chari-Logone, ha ocasionado que el área del lago disminuya de 25 000 km² en 1963 a 1350 km² en el 2006 (Odada et ál, 2006).

Podemos observar en las imágenes satelitales (**figura 19**) cómo la superficie del lago Chad ha disminuido dramáticamente de 1972 al 2007. Esto ha significado la pérdida de varias especies de plantas y animales, la reducción del follaje y los humedales, la erosión del suelo y la disminución de agua disponible para las comunidades que habitan la región.

El cambio climático puede cambiar la disponibilidad de agua. Si bien los países más vulnerables son aquellos que se encuentran en regiones áridas o semiáridas, no debemos olvidar que los países pobres son aún más vulnerables porque no poseen los recursos para superar el problema. Esto significa que existe una mayor probabilidad de que surjan conflictos por el manejo o control del agua.

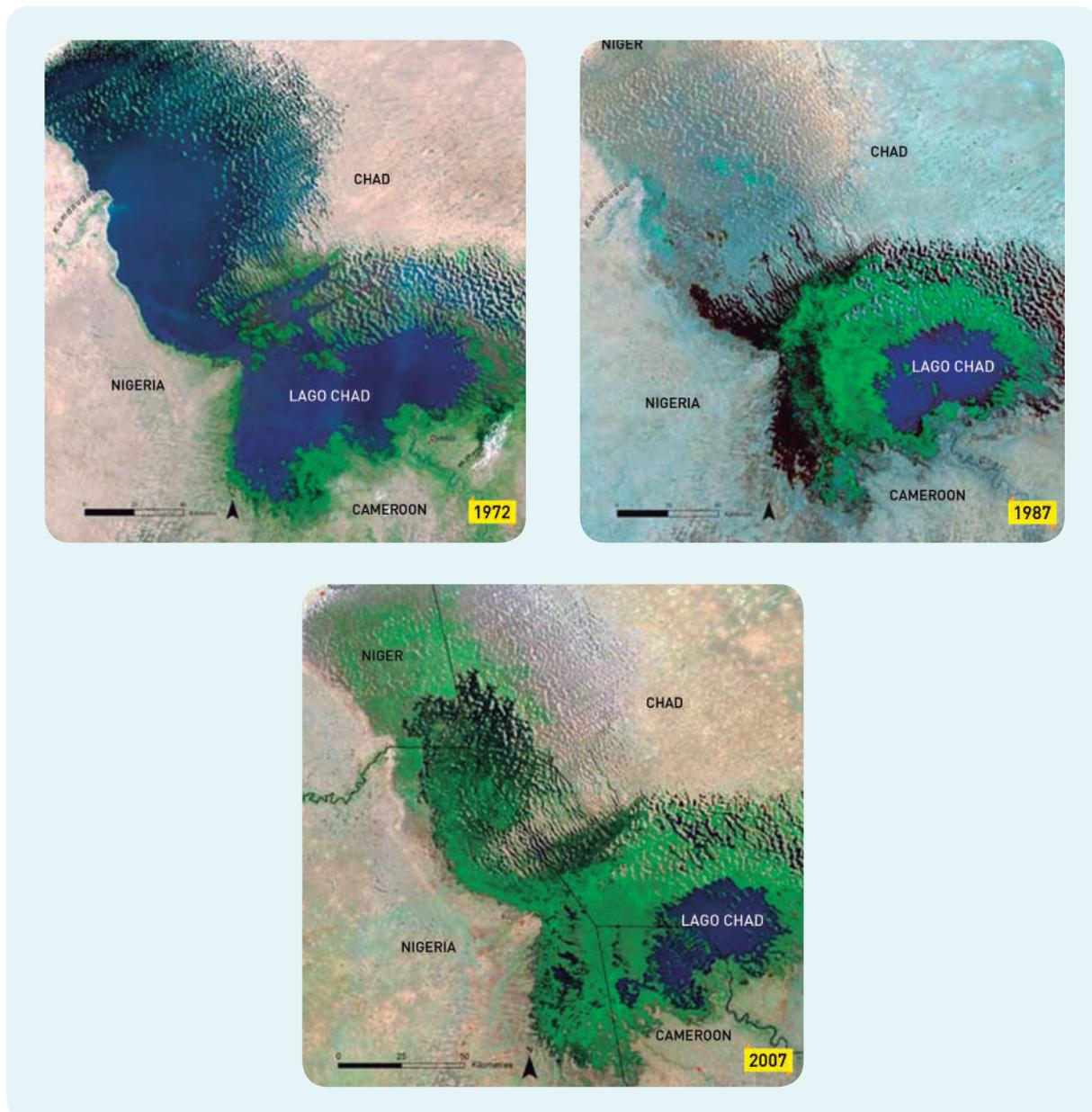


Figura 19. Variación del lago Chad. Imágenes satélite de la superficie del lago Chad entre 1972 y 2007. Puede notarse la reducción del agua en la variación del área de color azul.



Autoevaluación

- Escribe un ensayo sobre los conflictos o problemas actuales por el agua que existan en tu localidad o región.

5. EVENTOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS

Hemos descubierto que los eventos meteorológicos (tormentas, nieblas, vientos fuertes, etc.) afectan nuestra vida diaria y las actividades de nuestra comunidad (agricultura, ganadería, pesca, comercio, etc.). Sin embargo, existen eventos que tienen efectos devastadores en nuestra sociedad, como la pérdida de vidas humanas o daños materiales y ecológicos que pueden significar miles o millones de soles en pérdidas. Estos eventos son conocidos como **eventos meteorológicos extremos**. (Anexo 2).

Los eventos meteorológicos extremos se definen como fenómenos no comunes para un lugar y tiempo determinados, que pueden causar un gran daño económico y social (Alexander, 2012). Entonces, para que un evento meteorológico se considere extremo debemos considerar el lugar donde se produce. Por ejemplo, las personas que viven en la ciudad de Lima están acostumbradas a temperaturas que se encuentran entre los 11 y 30 °C aproximadamente. Para los

limeños, 5 °C representaría una temperatura mínima extrema. Sin embargo, en la ciudad de Puno, los 5 °C se encuentran dentro del rango de temperatura normal (de -5 a 19 °C aproximadamente). Para los puneños no representaría una temperatura mínima extrema. Por lo tanto, es importante conocer las condiciones normales de la localidad o la región. (Anexo 3). Una desviación de las condiciones normales y que cumpla con la definición presentada puede considerarse extrema.

Tomando en cuenta lo expuesto anteriormente, se consideran eventos meteorológicos extremos las olas de calor o de frío, las heladas, las precipitaciones extremas, las sequías, las inundaciones, las tormentas severas, los vientos huracanados, los maretazos causados por vientos fuertes, etc. En este capítulo solo mencionaremos algunos de los eventos meteorológicos extremos más comunes en nuestro país y sus consecuencias (**tabla 6**).

Evento meteorológico extremo	Definición	Consecuencias
Lluvias torrenciales	Lluvias intensas y prolongadas que superan el promedio.	Deslizamientos o huacos. Inundaciones. Debilitamiento de construcciones.
Friajes	Ingreso de masas de aire frío.	Las bajas temperaturas favorecen las enfermedades respiratorias.
Heladas	Ocurre cuando la temperatura desciende a menos de 0 °C.	La planta o parte de ella muere cuando la exposición es intensa y prolongada. Enfermedades respiratorias. Baja productividad ganadera.
Sequías	Reducción o ausencia de precipitación.	Pérdida de cultivos. Baja producción del ganado. Escasez de alimentos.
Granizadas	Agua congelada que cae en forma de granos de hielo.	Daños a construcciones. Pérdida de cultivos.

Tabla 6. Eventos meteorológicos extremos en el Perú y sus consecuencias. Según SENAMHI (2013) e Indeci (2006).

El friaje es un fenómeno meteorológico que se produce por el ingreso de aire polar a la selva, lo que ocasiona un descenso de la temperatura (**figura 20**). La temperatura normal de esta región se encuentra entre los 22 y 36 °C; durante un friaje, las temperaturas pueden disminuir hasta los 11 °C. Las regiones más afectadas son Madre de Dios, Ucayali, Loreto y la selva de Cusco y Puno. En ocasiones también alcanza la selva de: Ayacucho, Junín, Pasco, Huánuco y la región San Martín. Por lo general, los friajes provocan enfermedades respiratorias, y debido a los vientos fuertes y lluvias intensas, pueden generar daños materiales.



Figura 20. Friaje en la selva peruana. Según SENAMHI.

La helada es un evento meteorológico extremo frecuente en la zona altoandina (>3000 m s. n. m.), que ocurre cuando las temperaturas descienden por debajo de los 0 °C. De acuerdo con el SENAMHI, por encima de los 3000 m de altitud ocurren aproximadamente 65 días de heladas al año; y por arriba de los 3300 m este número

se eleva a 115 días al año. En nuestro país, las heladas afectan a más de 4 millones de personas y sus actividades económicas, como la agricultura y ganadería. En el 2013, se perdieron más de 6000 hectáreas de cultivos y 25 000 cabezas de ganado.

Las lluvias intensas también son eventos meteorológicos extremos importantes por la diversidad de consecuencias que conllevan: huaicos, deslizamientos, debilitamiento de viviendas, inundaciones (**figura 21**), pérdidas de cultivos, erosión, interrupción de carreteras, enfermedades, plagas, escasez de alimentos, etc. De acuerdo con el SENAMHI, más del 40 % de las víctimas de desastres naturales se debe a las inundaciones, pues la mayoría de personas vive cerca de ríos o lagunas.

Un evento meteorológico extremo que es difícil de definir es la sequía. Si bien el Indeci lo define como la ausencia o escasez de lluvia, la sequía es mejor representada a través de indicadores que incluyen precipitación, temperatura, humedad del suelo y caudal. Y es que la sequía, como cualquier otro evento meteorológico extremo, depende de la escala de tiempo, la región y la estación del año. (Anexo 4).



Figura 21. Inundación en Aguas Calientes. Cusco en el verano del 2010.

© Agencia EFE, 2010.



Autoevaluación

- Con los datos que se presentan a continuación (normales), determina en qué localidades podrían considerarse las siguientes condiciones como eventos meteorológicos extremos:
 - › Temperatura mínima (T_{min}) de 1°C en mayo.
 - › Temperatura máxima (T_{máx}) de 23°C en septiembre.
 - › Precipitación de 50 mm en abril.

Bambamarca, Cajamarca				
Mes	T máx. (°C)	T mín. (°C)	T media (°C)	pp (mm)
Ene	19,6	10,2	14,9	72,2
Feb	19,5	10,5	15,0	98,7
Mar	19,7	10,4	15,0	111,5
Abr	19,8	10,6	15,2	79,1
May	20,0	9,7	14,8	40,4
Jun	19,7	8,4	14,1	18,7
Jul	19,8	7,6	13,7	11,6
Ago	20,5	8,2	14,3	12,1
Set	20,7	9,6	15,1	47,2
Oct	20,7	10,2	15,4	95,0
Nov	20,7	9,5	15,1	86,2
Dic	20,2	10,1	15,2	81,1

Granja Kcayra, Cusco				
Mes	T máx. (°C)	T mín. (°C)	T media (°C)	pp (mm)
Ene	20,0	7,5	13,7	156,3
Feb	20,1	7,2	13,6	120,3
Mar	20,2	6,7	13,4	101,9
Abr	20,7	4,3	12,5	39,1
May	21,2	0,8	11,0	5,0
Jun	20,6	-1,0	9,8	4,9
Jul	20,6	-1,6	9,5	3,3
Ago	21,3	0,4	10,8	5,3
Set	21,5	3,2	12,4	16,0
Oct	21,7	5,4	13,5	47,9
Nov	21,6	6,2	13,9	78,9
Dic	20,9	6,7	13,8	109,8

Puno, Puno				
Mes	T máx. (°C)	T mín. (°C)	T media (°C)	pp (mm)
Ene	15,5	5,6	10,5	173,7
Feb	15,3	5,4	10,4	149,2
Mar	15,2	5,2	10,2	131,3
Abr	15,3	3,7	9,5	58,9
May	14,9	0,8	7,9	8,8
Jun	14,0	-0,9	6,5	5,7
Jul	14,1	-1,3	6,4	2,5
Ago	14,9	0,0	7,5	12,1
Set	15,9	1,7	8,8	23,5
Oct	16,5	3,4	10,0	53,0
Nov	16,8	4,3	10,6	54,4
Dic	16,6	5,3	10,9	87,2

T media: Temperatura promedio

- Haz un listado de los eventos meteorológicos extremos más frecuentes en tu localidad.

6. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS ANDES

Anteriormente hemos demostrado cómo nos hemos adaptado a las condiciones climáticas del lugar donde vivimos; lo vemos en la ropa que usamos, el diseño de nuestras casas o el manejo de los recursos, lo que significa que si estas condiciones cambian, deberemos adaptarnos a las nuevas condiciones climáticas. En muchos casos esto no será una tarea sencilla, pero es inevitable.

De acuerdo con Vuille (2007), la temperatura en los Andes se ha incrementado aproximadamente 0,1 °C por década desde 1939. Pero si solo consideramos las dos últimas décadas, la razón de calentamiento se incrementa a 0,3 °C por década. Las observaciones sugieren que la precipitación se ha incrementado en los trópicos y ha disminuido en las latitudes medias. Sin embargo, estas tendencias son casi insignificantes. Por otro lado, la humedad sí se ha incrementado significativamente en los Andes tropicales y disminuido en los Andes subtropicales. También se ha observado un incremento en la cobertura de nubes en los Andes tropicales y una disminución de cobertura en los Andes subtropicales.

En una escala regional, se observa una pequeña tendencia al incremento de la precipitación en el norte de Perú, entre los

5° y 11° S. Por otro lado, en el sur de Perú y a lo largo del límite Perú-Bolivia, se observa una reducción de la precipitación durante la temporada de lluvias (diciembre, enero y febrero), mientras que el incremento de la humedad es significativo solo en el centro de Perú. Finalmente, el incremento de la temperatura parece ser mayor en el flanco occidental de la cordillera y es casi insignificante en el flanco oriental por debajo de los 1000 m s. n. m.

Debido a estos cambios en la temperatura y los patrones de precipitación y humedad, la disponibilidad de agua en el continente está cambiando y se ha observado que los nevados y glaciares en los Andes tropicales están desapareciendo. Se han monitoreado 10 glaciares en los Andes peruanos entre 1932 y 1994, y se ha observado un retroceso de entre 590 y 1910 m (Vuille et ál, 2003). Esto se puede observar claramente en el retroceso de la salida del glaciar Qori Kalis (**figura 22**). El Qori Kalis es la salida del glaciar al lado oeste del nevado Quelcaya, en la cordillera Vilcanota. Este nevado ha sido estudiado por el profesor Lonnie Thompson por más de 20 años, quien notó un acelerado retroceso del glaciar entre 1983 y 1991, casi tres veces más rápido que el retroceso del glaciar entre 1963 y 1978.



Figura 22. Salida del glaciar Qori Kalis. Retroceso de la salida entre 1978-2002. (U.S. Geological Survey, 2013).

El retroceso de los nevados en Perú puede generar un temporal incremento en la disponibilidad de agua para aquellos que nos alimentamos de los ríos que nacen de la cordillera. Sin embargo, cuando esta fuente de agua se agote, cuando los nevados ya se hayan derretido, ¿de cuánta agua dispondremos entonces? Si en el

futuro el cambio climático nos lleva a un mayor estrés por agua, sufriremos también de un estrés por alimentos, especialmente si tomamos en cuenta que en el futuro nuestra población será mayor y, por lo tanto, también mayor nuestra demanda de recursos.

Es por eso que es tan importante conocer acerca de los posibles cambios que ocurrirán con el clima, porque así seremos capaces de prevenir, mitigar o adaptarnos a las posibles consecuencias.



Autoevaluación

- Infórmate acerca de los cambios en el tiempo o el clima en tu localidad durante los últimos veinte años. Indica cuáles han sido los cambios en la temperatura y en las precipitaciones. Para recabar esta información, puedes acudir a la estación meteorológica más cercana o consultar con las personas mayores de tu localidad. Con los datos recogidos, completa el siguiente cuadro:

	Hace veinte años	Actualmente	¿Cómo ha afectado sus vidas?
Temperatura			
Precipitación			

7. DESASTRES DE ORIGEN CLIMÁTICO EN LA HISTORIA PERUANA

Si bien el cambio climático parece ser una amenaza solo de nuestros tiempos, debemos considerar que este cambio también ha ocurrido en el pasado. Sí, el clima ha cambiado a lo largo de nuestra historia. Existe evidencia de que lo hizo en el pasado y estamos seguros de que lo seguirá haciendo en el futuro. Hace más de 100 millones de años, en el periodo

Cretácico, cuando los dinosaurios poblaban el planeta, el clima era muy diferente al actual. La concentración de dióxido de carbono (CO_2) era mayor al presente, lo que resultó en un incremento significativo de la temperatura. Incluso, existe evidencia de un clima tropical dominante a altas latitudes, donde ni siquiera existían capas de hielo polares (**figura 23**).



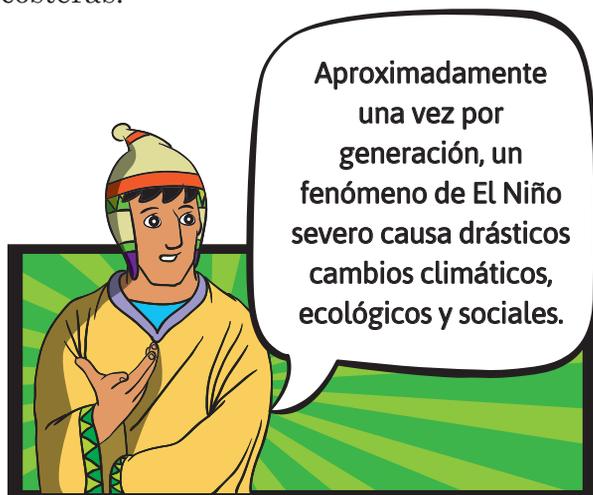
© Dr. Ron Blakey

Figura 23. Superficie terrestre en el periodo Cretácico. Recreación de la superficie hace 105 millones de años, a la mitad del periodo Cretácico.

Pero no tenemos que ir tan atrás en el pasado para ser conscientes del cambio en el clima. Solo tenemos que recordar a nuestros padres o abuelos hablando sobre estos cambios: como los pastos que desaparecen y se convierten en suelos áridos por falta de lluvia, o la creciente bruma que se observa sobre las ciudades a medida que estas también crecen. Pero existe una variación del clima que nos ha acompañado a lo largo de nuestra historia y que influye significativamente en el clima de nuestro país, lo que resulta en un impacto directo en nuestras actividades económicas, nuestra seguridad y nuestra salud. Estamos hablando del fenómeno de El Niño.

El Niño es parte de la variabilidad climática de nuestro país (**cap. II, secc. 2.1.2**). Su impacto en Perú puede ser tanto positivo como negativo. Entre los impactos positivos podemos mencionar la aparición de nuevas especies pelágicas, la regeneración de los bosques secos en la costa norte, la recarga de los acuíferos y la disminución de heladas en la sierra norte y central. Entre los impactos negativos consideramos la aceleración del retroceso glaciar, la destrucción de infraestructura y carreteras debido a lluvias intensas, la migración de especies animales, la baja producción ganadera y agrícola sensible a las altas temperaturas y el incremento de las enfermedades infecciosas (malaria, cólera, etc.).

Hemos convivido con este fenómeno desde mucho antes de convertirnos en una república. La mayoría de episodios de El Niño no ha representado una amenaza: ocasionales lluvias torrenciales o la aparición de peces tropicales en aguas costeras.



7.1. Los moche y el fenómeno de El Niño

La civilización moche se desarrolló a lo largo de la costa norte de Perú entre los años 100 y 800 d. C. Su gobierno estaba basado en una pirámide social en la que miles de agricultores y pescadores vivían bajo la autoridad de un pequeño número de sacerdotes o señores moche. Los gobernantes de la civilización moche, como los actuales alcaldes, supervisaban un territorio específico o “distrito”. Y su trabajo consistía en comunicarse con los dioses para que estos proveyeran de agua y alimento tanto en años de sequía como en periodos de inundación. El prestigio de los señores moche dependía, entonces, de su capacidad para asegurar agua y alimento.

Bajo estas condiciones, todos los años los pobladores se veían obligados a construir pirámides, canales de irrigación y pagar impuestos para cubrir las necesidades de un estado que les aseguraba bienestar. Y es que parecía que los gobernantes hacían bien su trabajo: el clima era bastante estable, los ocasionales periodos de sequía

y lluvias no representaban una amenaza, su tecnología agrícola solo mejoraba con los años y la población crecía rápidamente porque contaba con una dieta abundante y nutritiva. Atrás quedaron las historias de sus antepasados sobre catástrofes climáticas, hambre y muerte. Era una época de abundancia y, siendo expertos en agricultura y extremadamente productivos en pesquería, los moche se concentraron en satisfacer a sus gobernantes.

Pero sus gobernantes vivían en continuo conflicto en búsqueda de la supremacía, obligando a la población a explotar sus recursos al máximo y a participar en las guerras. Tanta era la abundancia de aquella nación que se concentraron en sus guerras y olvidaron prepararse para posibles eventos adversos de la naturaleza. Entonces, en algún momento del siglo VI, tuvieron que enfrentarse a severas sequías solo para luego afrontar un fenómeno de El Niño extraordinario, que trajo consigo catastróficas inundaciones. Los cultivos fueron destruidos al igual que los canales de riego; el poco alimento no era capaz de sostener a una población tan densa, la malnutrición y la enfermedad se extendieron por todo el territorio moche, y la anchoveta se alejó de la costa debido a lo cálido de las aguas.

Este evento tomó a los moche por sorpresa: sus gobernantes no estaban cumpliendo con sus promesas. El estrés de esta crisis destruyó su credibilidad y marcó el principio del fin de la civilización moche. ¿Fue el fenómeno de El Niño el que acabó con una sociedad próspera? ¿O fueron los moche y su falta de adaptación al cambio los que en realidad acabaron con su propia cultura?

7.2. La crisis del guano

El uso del guano como fertilizante (**figura 24**) es una práctica muy antigua en el Perú. Incluso las civilizaciones alejadas

de la costa aprovechaban este abundante recurso para mejorar la productividad de sus tierras. Por su parte, para los incas el guano era tan importante que la caza de aves guaneras se penaba con la muerte. Es así como la costumbre del uso del guano pasó de generación en generación, hasta ser una práctica común en Perú.



Figura 24. Aves guaneras. Aves en las islas Ballestas, Ica.

Pero no fue hasta la década de 1830 que la comunidad internacional empezó a mostrar interés por este recurso. En

aquella época el guano era abundante. El excremento de las aves guaneras que anidaban en las islas se había acumulado por miles de años. Todo esto gracias a las aguas frías de nuestra costa que proveían de suficiente alimento (anchoveta) a esta población inmensa de aves.

Entonces, en 1840, empezó la real explotación y exportación del guano. Los agricultores de Norteamérica no podían creer las bondades de este recurso, en algunos casos incluso cuadruplicaron su producción. Gracias al mercado europeo y norteamericano, el país obtuvo, en esos años, la mayor parte de sus divisas exportando guano. Las décadas de 1840 y 1850 fueron de abundancia hasta finales de los sesenta del mismo siglo.

Fue entonces cuando un devastador fenómeno de El Niño hizo su aparición: lluvias torrenciales arrasaron con el guano acumulado en las islas, la anchoveta migró al sur debido a la invasión de la corriente de El Niño y millones de aves guaneras murieron de hambre. Todo esto en unos pocos meses. Luego de ese evento, las exportaciones de guano nunca volvieron a ser las mismas.

Por aquel entonces aún no se comprendía la relación entre la temperatura del mar y la muerte masiva de las aves guaneras. Sin embargo, esta situación marcó el comienzo de la investigación de este inusual comportamiento de la atmósfera y el primer acercamiento hacia la comprensión de El Niño.



7.3. El colapso pesquero de los setenta

Existen cinco regiones de abundancia pesquera en el mundo: las costas de Perú, California, Namibia, Mauritania y Somalia. La productividad pesquera de Perú se debe a la corriente de Humboldt y los afloramientos. Las aguas frías de la corriente de Humboldt proveen las condiciones ideales para la diversidad de especies de agua fría, como la anchoveta; y los afloramientos proveen los nutrientes necesarios para que estas especies se puedan desarrollar. Por lo tanto, sin corriente de Humboldt o afloramientos no tendríamos esa diversidad de especies ni la productividad pesquera con la que contamos.

La pesca, por lo tanto, ha sido y es una de las actividades económicas más importantes de nuestro país. Sin embargo, la verdadera explotación de nuestro mar no comenzó hasta los treinta del siglo pasado. Fue impulsada por la Segunda Guerra Mundial y las condiciones estables de los cuarenta y cincuenta, esto permitió el crecimiento de la industria pesquera. Por muchos años explotamos nuestro mar sin tomar en consideración los peligros potenciales del

fenómeno de El Niño. En 1956, Perú se convirtió en el país pesquero número uno en Sudamérica; en 1957, los primeros en Latinoamérica; en 1959, éramos el quinto país pesquero en el mundo; en 1960, los terceros; y en 1963 nos convertimos en la primera nación pesquera del mundo.

Desafortunadamente, el devastador El Niño de 1972-1973 contribuyó al colapso de la industria pesquera de nuestro país. La sobrepesca de los años anteriores mermó nuestro recurso pesquero y la migración de los peces debido al advenimiento de las aguas cálidas terminó por menguar la pesca. La población de anchoveta pasó de 20 millones a solo 2 millones, lo que significó también una disminución en las especies marinas que consumían anchoveta, como la sardina.

Haciendo caso omiso de las sugerencias de las instituciones de investigación, como Imarpe, se continuó depredando el mar los años siguientes; ello llevó al colapso pesquero más importante de nuestro país. Durante El Niño de 1982-1983, se registraron las capturas más bajas de nuestra historia (**figura 25**).

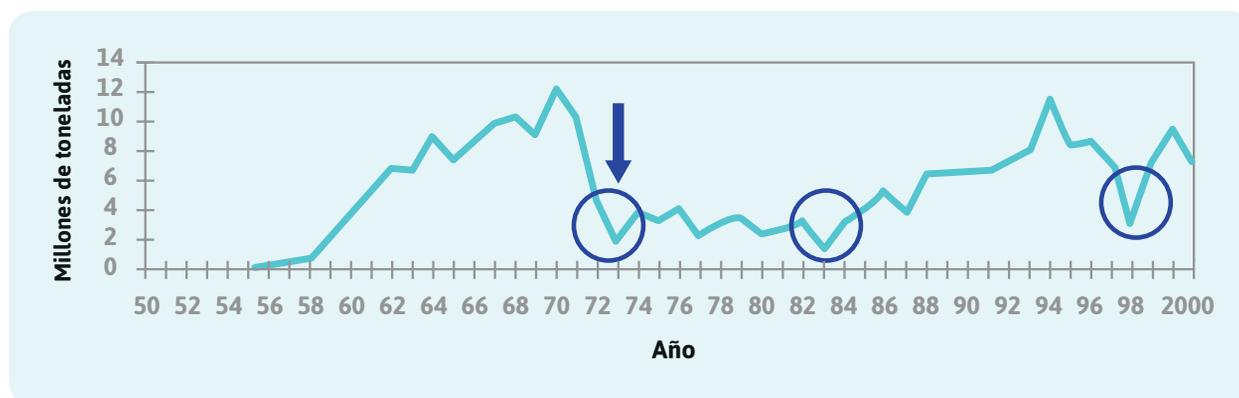


Figura 25. Colapso pesquero durante El Niño de 1982-1983. Relación entre los recursos pelágicos peruanos y el fenómeno de El Niño (Ñiquen, 2002).

En resumen, a pesar de que el fenómeno de El Niño es un fenómeno regional, su influencia va mucho más allá de nuestro país. Por ello, es de suma importancia conocer las bases científicas de este evento y su impacto alrededor del mundo. De esta manera, seremos capaces de mitigar las consecuencias o adaptarnos al evento climático.



Entonces, el fenómeno de El Niño es parte de nuestra historia, pero su influencia no se limita a nuestro país, pues es igual de importante en otras partes del mundo. Durante El Niño de 1972-1973, una sequía catastrófica afectó América central, África occidental, India, Australia y China. La Unión Soviética tuvo una cosecha tan desastrosa que tuvieron que importar maíz y trigo de Estados Unidos. El fenómeno de El Niño significa tormentas severas en México, California y el Pacífico noroeste; inviernos húmedos y templados para Chicago y New York; tormentas de invierno severas en Brasil, Chile y Argentina; enormes incendios forestales en Indonesia y sequías en la India.

Entendemos ahora cómo el tiempo y el clima están presentes en cada aspecto de

nuestra vida. Nuestras actividades diarias se ven tan afectadas por estos elementos que tomamos las medidas pertinentes para hacerles frente. Migramos a climas que nos resultan más cómodos para vivir o más convenientes para desarrollar nuestras actividades económicas; construimos nuestros hogares para guarecernos de los fenómenos atmosféricos o desarrollamos la tecnología que nos permite soportarlos; escogemos el tipo de cultivo de acuerdo al clima de la región o creamos cultivos resistentes a las condiciones locales (sequías o inundaciones). Hemos intentado adaptarnos o ajustarnos al tiempo y al clima desde antes del desarrollo de nuestras civilizaciones.



Autoevaluación

- Explica los efectos del fenómeno de El Niño en tu localidad y región.
- Ahora que sabemos que el fenómeno de El Niño es un evento recurrente, piensa en las medidas que podemos tomar para mitigar sus efectos o adaptarnos a ellos.

Capítulo II.

Variables meteorológicas y el sistema climático

Ahora que ya entendemos la diferencia entre tiempo y clima y hemos visto cómo influyen en el hombre y la sociedad, podemos enfocarnos en la ciencia que los estudia: la meteorología. La meteorología es la ciencia que estudia la atmósfera y los fenómenos que ocurren en ella, como los friajes, las olas de calor, las sequías, las tormentas, los vientos fuertes, etc. Estos eventos o fenómenos se definen por las **condiciones atmosféricas** presentes durante su evolución y las condiciones atmosféricas se describen a través de las **variables meteorológicas**.

1. VARIABLES METEOROLÓGICAS

Las variables meteorológicas son las propiedades que posee la atmósfera, como la radiación, la temperatura, la precipitación, la humedad, la presión, el viento y la nubosidad. Juntas, estas variables describen el estado físico de la atmósfera en un tiempo determinado (condición atmosférica). A través del tiempo, las condiciones atmosféricas cambian porque las variables meteorológicas lo hacen, y es esta evolución de las condiciones atmosféricas o cambios la que describe un fenómeno atmosférico.

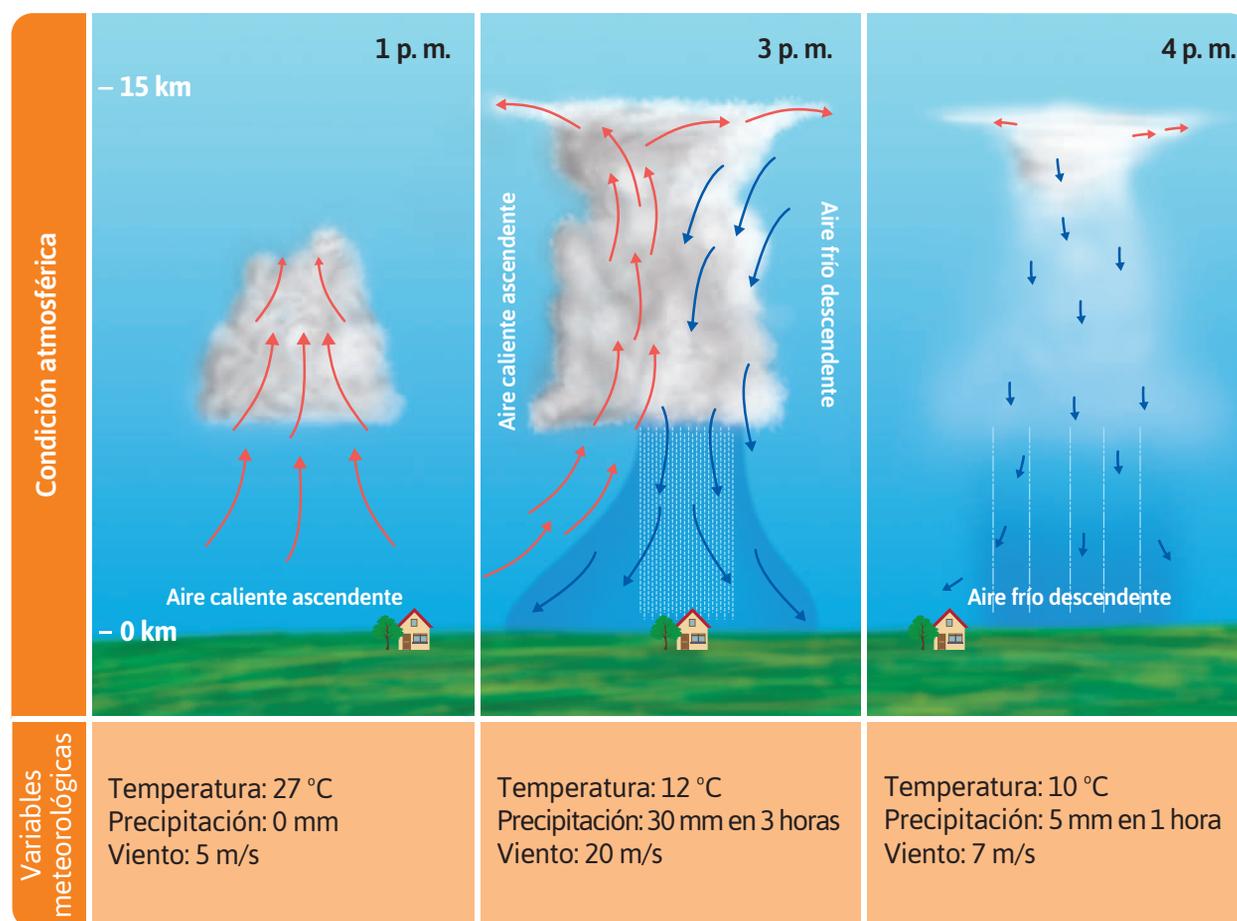


Figura 26. Evolución de una tormenta estacionaria. Descripción de este fenómeno atmosférico a través de tres condiciones atmosféricas (a la 1 p. m., a las 3 p. m. y a las 4 p. m.) definidas por tres variables meteorológicas: temperatura, precipitación y viento (Ahrens, 2009).

Por ejemplo, en el caso de una tormenta, podemos describir este fenómeno atmosférico a través de tres momentos (**figura 26**). En un primer momento, durante el desarrollo de la tormenta

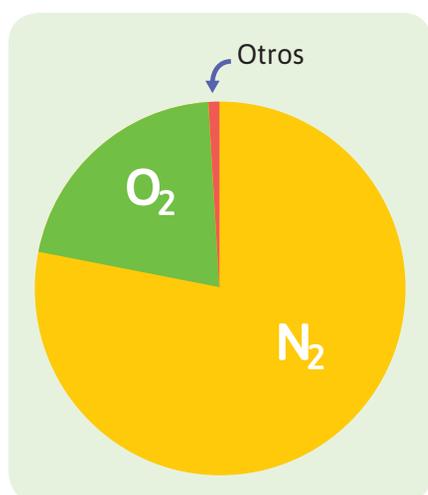
(1 p. m.), la condición de la atmósfera es descrita por tres variables meteorológicas: temperatura, precipitación y velocidad de viento (27 °C, sin precipitación y con vientos de 5 m/s). Con las mismas variables se ha

descrito la siguiente condición atmosférica (3 p. m.): cuando la tormenta es madura, la temperatura disminuye a 12 °C, la precipitación es de 30 mm acumulados en 3 horas y el viento aumenta a 20 m/s. Finalmente, cuando la tormenta se disipa (4 p. m.), la condición de la atmósfera es de 10 °C, con una lluvia acumulada de 5 mm en una hora y vientos de 7 m/s. Estas tres condiciones atmosféricas (desarrollo, madurez y disipación) han descrito la evolución de una tormenta estacionaria.

En conclusión, los fenómenos atmosféricos presentan características particulares, como las condiciones atmosféricas, su duración y su área de influencia. Por ejemplo, los friajes son descritos por el descenso abrupto de temperatura y las brisas, principalmente por la dirección del viento. Existen fenómenos atmosféricos que duran horas, días o meses, como las heladas, los friajes o El Niño, respectivamente. Algunos fenómenos solo afectan algunos kilómetros, como las tormentas, y otros pueden afectar varias regiones, como el fenómeno de El Niño. Todos estos fenómenos son parte del tiempo o el clima.

1.1. La atmósfera

La atmósfera es una capa delgada y gaseosa que rodea la Tierra y que la protege de la peligrosa radiación ultravioleta que proviene del Sol y del material proveniente del espacio exterior (ej.: meteoritos). El aire de la atmósfera es una mezcla de gases compuesta principalmente de nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2) (**figura 27**). Estos dos gases (N_2 y O_2) son considerados gases permanentes porque sus concentraciones son constantes en toda la atmósfera, al igual que el argón, neón, helio, hidrógeno y xenón. Pero también existen gases cuya concentración es pequeña y variable, como el vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, ozono, etc. Aunque estos gases solo representan una pequeña fracción, cambios en su concentración pueden tener efectos profundos en el tiempo y el clima. Los gases que ocupan solo una pequeña fracción (ppm: partes por millón) del aire se conocen como **gases traza**.



Constituyente	Composición química	Concentración por volumen
Nitrógeno	N_2	78,08 %
Oxígeno	O_2	20,95 %
Argón	Ar	0,93 %
Vapor de agua	H_2O	0-5 %
Dióxido de carbono	CO_2	380 ppm
Neón	Ne	18 ppm
Helio	He	5,0 ppm
Metano	CH_4	1,75 ppm
Kriptón	Kr	1,0 ppm
Hidrógeno	H_2	0,5 ppm
Óxido nitroso	N_2O	0,3 ppm
Ozono	O_3	0-0,1 ppm

Figura 27. Composición química de la atmósfera. Gases de mayor concentración en la atmósfera (Wallace y Hobbs, 2006).

Pero la atmósfera no solo es una mezcla de gases, también contiene cantidades variables de partículas líquidas y sólidas, como polvo, sal, polen, etc. Las nubes, por ejemplo, que están compuestas de agua líquida o sólida, son un componente importante de la atmósfera (**cap. II, secc. 1.5.3.**).

El límite superior de la atmósfera puede superar los 1000 km; sin embargo, el 99 % de la atmósfera se encuentra en los primeros 30 km. Obviamente, algunas de sus características (presión, densidad, y temperatura) no son homogéneas a diferentes niveles de altura.

La presión atmosférica es la fuerza que ejerce la columna de aire que se encuentra

sobre un área determinada; a mayor altitud la columna de aire es más pequeña y la presión también disminuye con la altura (**cap. II, secc. 1.4.1.**). Del mismo modo, la densidad del aire disminuye con la altura. Esto se debe a que las moléculas del aire cercano a la superficie se encuentran más juntas unas de otras (el aire es más comprimido); por lo tanto, la densidad es mayor en la superficie y disminuye con la altitud. Por otro lado, la temperatura se comporta de forma diferente a la presión o densidad. Por ello, para un mejor estudio de la atmósfera, se la ha dividido en capas, de acuerdo con la distribución vertical de la temperatura (**figura 28.**).

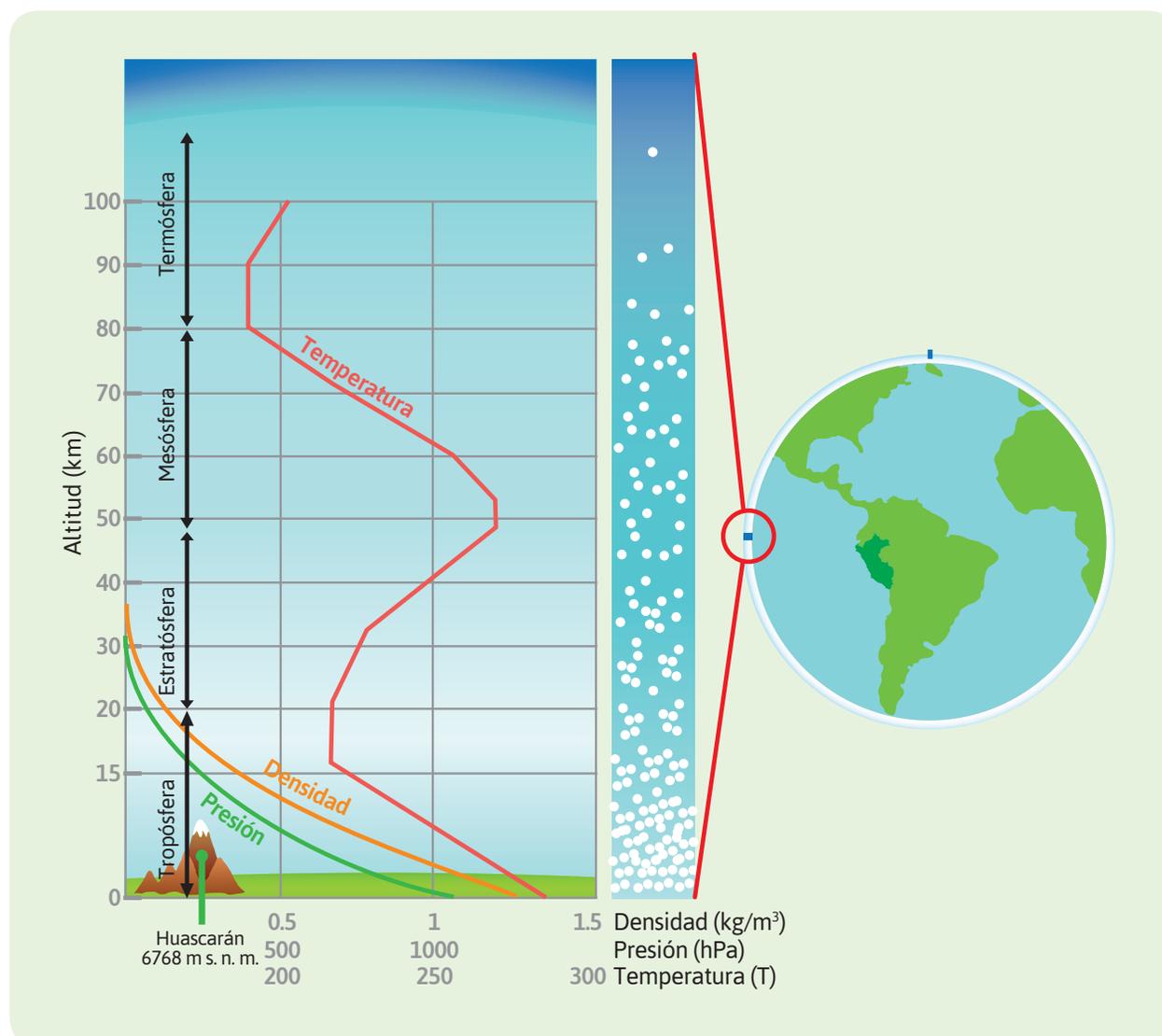


Figura 28. Estructura vertical de la atmósfera. Perfil vertical de la presión atmosférica, densidad del aire y temperatura del aire.

La capa más cercana a la superficie es la **tropósfera** y llega a una altitud aproximada de 7 km en los polos y 16 km en el trópico. Aquí podemos observar que la temperatura del aire disminuye con la altitud. Esto sucede porque la superficie terrestre absorbe la energía que proviene del Sol (radiación solar) para luego emitir su propia radiación y calentar el aire que se encuentra próximo a ella. Por lo tanto, cuanto más cerca se encuentra el aire a la superficie, mayor es su temperatura. Después de la tropósfera existe una región en la cual la temperatura se mantiene constante con la altura; esta se conoce como **tropopausa**. La **tropopausa** marca el límite entre la tropósfera y la estratósfera.

La siguiente capa es la **estratósfera**, y se encuentra entre los 16 y 50 km aproximadamente. Esta capa se caracteriza por poseer la mayor concentración de ozono (capa de ozono), un gas que captura la radiación ultravioleta (UV) del Sol (**cap. I, secc. 3.1.**). Este gas también explica por qué existe una **inversión térmica** (aumento de la temperatura con la altura) en la **estratósfera**. Y es que el ozono hace un buen trabajo capturando la radiación UV; entonces, en los niveles superiores de la estratósfera se absorbe la mayoría de esta radiación, lo que calienta el aire que se encuentra a esos niveles. En consecuencia, llega una menor cantidad de radiación en los niveles más bajos; lo que significa una menor absorción, y por lo tanto, un menor calentamiento. A pesar de que la mayor concentración de ozono se encuentra a 25 km aproximadamente, la temperatura no es más alta a ese nivel porque la mayor cantidad de radiación UV ya fue absorbida en los niveles superiores. En conclusión, sin la presencia del ozono,

probablemente la temperatura continuaría disminuyendo con la altura.

También existe una región de transición entre la estratósfera y la capa siguiente de la atmósfera, la mesósfera. Del mismo modo, aquí la temperatura se mantiene casi constante con la altura, y se la conoce como **estratopausa**.

Por encima de la estratopausa se encuentra la **mesósfera**. En ella la temperatura disminuye con la altura. Esto se debe en parte a la casi inexistencia de ozono en esta capa, pero además aquí tampoco hay vapor de agua, nubes o polvo que absorban la radiación solar y calienten el aire. Por lo tanto, la temperatura solo disminuye con la altura hasta los 85 km aproximadamente. Es allí, en el tope de la mesósfera, que se encuentran las temperaturas más bajas de la atmósfera: $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadamente. Después de esta capa se encuentra la **mesopausa**, una zona de transición donde las temperaturas son casi constantes.

Por último, la capa más externa de la atmósfera es la **termósfera**. En ella la temperatura aumenta rápidamente con la altitud, y puede alcanzar los $500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esto se debe a que las moléculas de oxígeno (O_2) y nitrógeno (N_2) absorben la radiación solar altamente energética y calientan el medio que las rodea. Además, en esta capa las moléculas se encuentran muy separadas unas de otras; por lo tanto, las moléculas pueden recorrer grandes distancias antes de chocarse con otras y transferir la energía absorbida. En la termósfera también se llevan a cabo los procesos de fotoionización⁴ y fotodisociación⁵ a causa de la radiación solar altamente energética. Debido a la fotodisociación, las moléculas de O_2 y N_2 se transforman en dos átomos de oxígeno y dos átomos de nitrógeno.

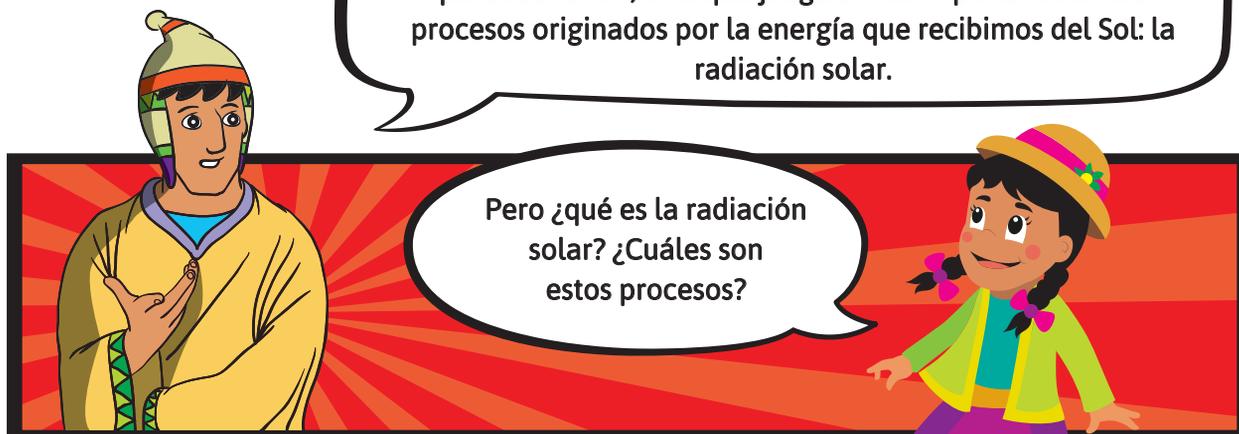
⁴ La fotoionización es el desprendimiento de un electrón de una molécula, ión o átomo (ionización) como resultado del choque con un fotón (radiación UV).

⁵ La fotodisociación es la descomposición de una molécula debido al choque con un fotón (radiación UV).

Entendemos, pues, que todas las capas de la atmósfera cumplen un rol específico e importante. Sin embargo, la tropósfera es de particular importancia porque en ella ocurren todos los fenómenos meteorológicos

con los que estamos familiarizados: tormentas, vientos fuertes, brisas, heladas, nieblas, etc.

Como podemos ver, la atmósfera es esencial para mantener la vida en el planeta. No solo contiene el oxígeno necesario para sobrevivir, sino que juega un rol importante en los procesos originados por la energía que recibimos del Sol: la radiación solar.



Autoevaluación

- Señala en el siguiente cuadro las características más importantes de las cuatro capas de la atmósfera e indica la importancia de cada una para la vida en nuestro planeta.

Capas de la atmósfera	Características revelantes	Importancia para los seres vivos
Tropósfera		
Estratósfera		
Mesósfera		
Termósfera		

1.2. Radiación solar

El Sol es la fuente de energía de nuestro sistema. La energía es la capacidad de realizar trabajo; en este caso, la capacidad que tiene el Sol de utilizar sus recursos físicos o químicos para generar un movimiento, una transformación, calor o una reacción. La energía transmitida por el Sol a la Tierra es lo que se conoce como **radiación**.

Esta energía emitida por el Sol viaja por el espacio a la velocidad de la luz en forma de ondas. Debido a que estas ondas poseen propiedades eléctricas y magnéticas, se les conoce como ondas electromagnéticas. Estas **ondas electromagnéticas** se definen por su **longitud de onda** (λ), la cual es la distancia que existe de la cresta de una onda a la otra (**figura 29**). La longitud de onda puede ser infinitamente pequeña (rayos gamma) o infinitamente grande (ondas de radio).

Los rangos de longitud de onda de los espectros más importantes son los siguientes:

- Rango de λ de la radiación ultravioleta: 10-400 nm
- Rango de λ de la luz visible: 400-700 nm
- Rango de λ de la radiación infrarroja: 750-1 mm

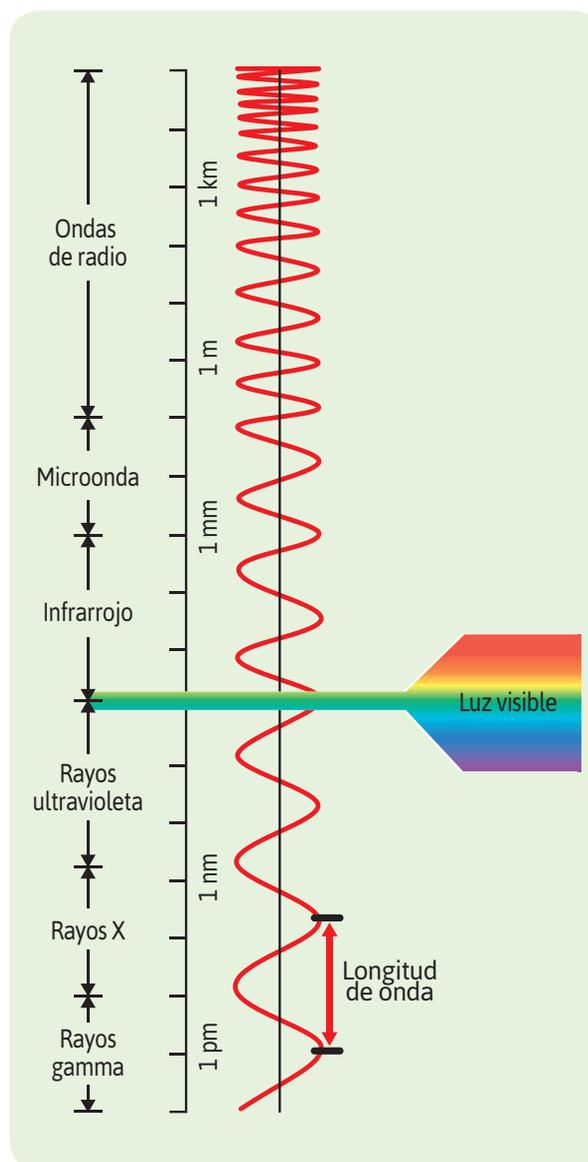


Figura 29. Espectro de radiación electromagnética. Los rayos gamma poseen una longitud de onda muy pequeña, entre 10^{-10} a 10^{-12} (1 picómetro⁶), mientras que las ondas de radio pueden alcanzar una longitud de onda de más de 1000 m.

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Donde:

h = Constante de Planck = $6,626 \cdot 10^{-34}$ J/s

c = Velocidad de la luz = $2,998 \cdot 10^8$ m/s

Existe una relación inversa entre la energía (E) y la longitud de onda (λ): esto significa que a menor longitud de onda, mayor energía. Entonces, la radiación ultravioleta (UV) es más energética que la radiación

infrarroja (IR). Para demostrarlo solo tenemos que usar la ecuación y remplazar la longitud de onda por una que represente la radiación ultravioleta (A) y otra que represente la radiación infrarroja (B).

⁶ Un picómetro (pm) tiene entre 10^{-10} a 10^{-12} metros. Para recordar los múltiplos y submúltiplos de las unidades de medida, ver el anexo 5 y 6.

A

Radiación ultravioleta : $\lambda_{UV} = 200 \text{ nm} = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

$$E_{UV} = \frac{h \cdot c}{\lambda_{UV}} = \frac{(6,626 \cdot 10^{-34}) \cdot (2,998 \cdot 10^8)}{(0,2 \cdot 10^{-6})} = \frac{19,86 \cdot 10^{-26}}{0,2 \cdot 10^{-6}} \frac{\text{J} \cdot \text{s} \cdot \text{m}}{\text{m} \cdot \text{s}} = 99,3 \cdot 10^{-20} \text{ J}$$

B

Radiación infrarroja : $\lambda_{IR} = 20 \text{ } \mu\text{m} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

$$E_{IR} = \frac{h \cdot c}{\lambda_{IR}} = \frac{(6,626 \cdot 10^{-34}) \cdot (2,998 \cdot 10^8)}{(20 \cdot 10^{-6})} = \frac{19,86 \cdot 10^{-26}}{20 \cdot 10^{-6}} \frac{\text{J} \cdot \text{s} \cdot \text{m}}{\text{m} \cdot \text{s}} = 0,99 \cdot 10^{-20} \text{ J}$$

Así demostramos que $E_{IR} < E_{UV}$

El Sol emite radiación en casi todas las longitudes de onda; sin embargo, la mayor cantidad de radiación que emite pertenece al espectro visible (**figura 30**). También emite radiación ultravioleta e infrarroja. Ya que la mayoría de la radiación es emitida en longitudes de onda menores a $3 \text{ } \mu\text{m}$ (micrómetros), se la conoce como **radiación de onda corta (ROC)**.

El Sol no es el único cuerpo que emite radiación. Todos los cuerpos que poseen

una temperatura mayor al cero absoluto ($0 \text{ K} = -273 \text{ }^\circ\text{C}$) o que tienen una mayor temperatura que el medio que los rodea pueden emitir radiación a diferentes longitudes de onda. Por lo tanto, la Tierra también emite radiación (**figura 30**), pero lo hace en el espectro infrarrojo, entre los $5 \text{ } \mu\text{m}$ y $20 \text{ } \mu\text{m}$ aproximadamente. Ya que la radiación que emite la Tierra es de longitudes de onda más larga, se le conoce como **radiación de onda larga (ROL)**.

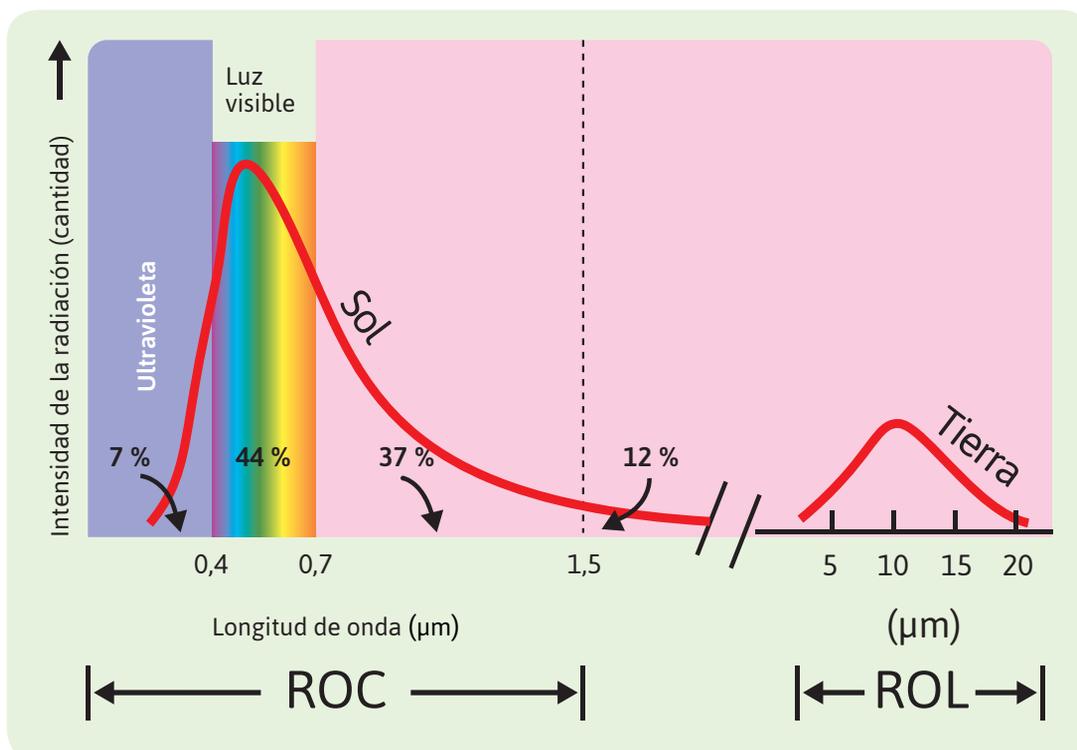


Figura 30. Distribución del espectro electromagnético del Sol y de la Tierra. Según Ahrens (2009).

Si conocemos la temperatura de un cuerpo (T), podemos hallar qué longitud de onda emite más (**longitud de onda**

de máxima emisión = λ_m). Esto lo podemos hacer a través de la **ley de desplazamiento de Wein**:

$$\lambda_m = \frac{b}{T} \mu\text{m}$$

Donde:

b = Constante de desplazamiento de Wein = 2897 K· μm

T = Temperatura en grados kelvin (K)

(Para recordar sobre los grados kelvin, ver cap. II, secc. 1.3.1.)

Debemos considerar que la ley de desplazamiento de Wein asume que los cuerpos son **cuerpos negros**. Esto quiere decir que absorben toda la radiación incidente y no reflejan nada. Las estrellas, como el Sol, pueden ser consideradas como cuerpos negros; y aunque la Tierra no

es un cuerpo negro, para fines prácticos podemos considerarla como tal. Entonces, sabiendo que la temperatura superficial del Sol (T_s) es aproximadamente 6000 K y la temperatura superficial de la Tierra (T_T) es de 288 K, tenemos lo siguiente:

$$\lambda_m \text{ del Sol} = \frac{b}{T_s} = \frac{2897 \text{ K} \cdot \mu\text{m}}{6000 \text{ K}} = 0,48 \mu\text{m} \approx 0,5 \mu\text{m}$$

$$\lambda_m \text{ de la Tierra} = \frac{b}{T_T} = \frac{2897 \text{ K} \cdot \mu\text{m}}{288 \text{ K}} = 10,06 \mu\text{m} \approx 10 \mu\text{m}$$

De esta manera demostramos que la longitud de onda de máxima emisión del Sol es de 0,5 μm dentro del espectro visible (ROC), mientras que la longitud de onda de máxima emisión de la Tierra es de 10 μm dentro del espectro infrarrojo (ROL). Esto lo podemos corroborar en la **figura 30**, donde se observa que el Sol emite alrededor del 44 % de su radiación en longitudes de onda del espectro visible.

Entre la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra (ROC) y la radiación emitida al espacio por la Tierra (ROL), aún debe quedar suficiente energía en la atmósfera para mantener una temperatura adecuada que permita la vida en el planeta. Como sabemos, la temperatura varía alrededor de la Tierra —los polos son más fríos y los trópicos más calientes— pero

en promedio la temperatura de la Tierra es de 288 K (15 °C). Por lo tanto, esta temperatura representa el equilibrio de energía del planeta y se alcanza a través de un balance de radiación.

1.2.1. El balance de la radiación

No toda la radiación solar que llega a los niveles superiores de la atmósfera alcanza los niveles inferiores de esta, es decir, no toda la energía que llega al tope de la atmósfera alcanza la superficie de la Tierra. Esto se debe a que los gases constituyentes de la atmósfera absorben, dispersan o reflejan la energía solar. El ozono, por ejemplo, absorbe la radiación ultravioleta. Por otro lado, las nubes reflejan la radiación solar, devolviéndola al espacio.

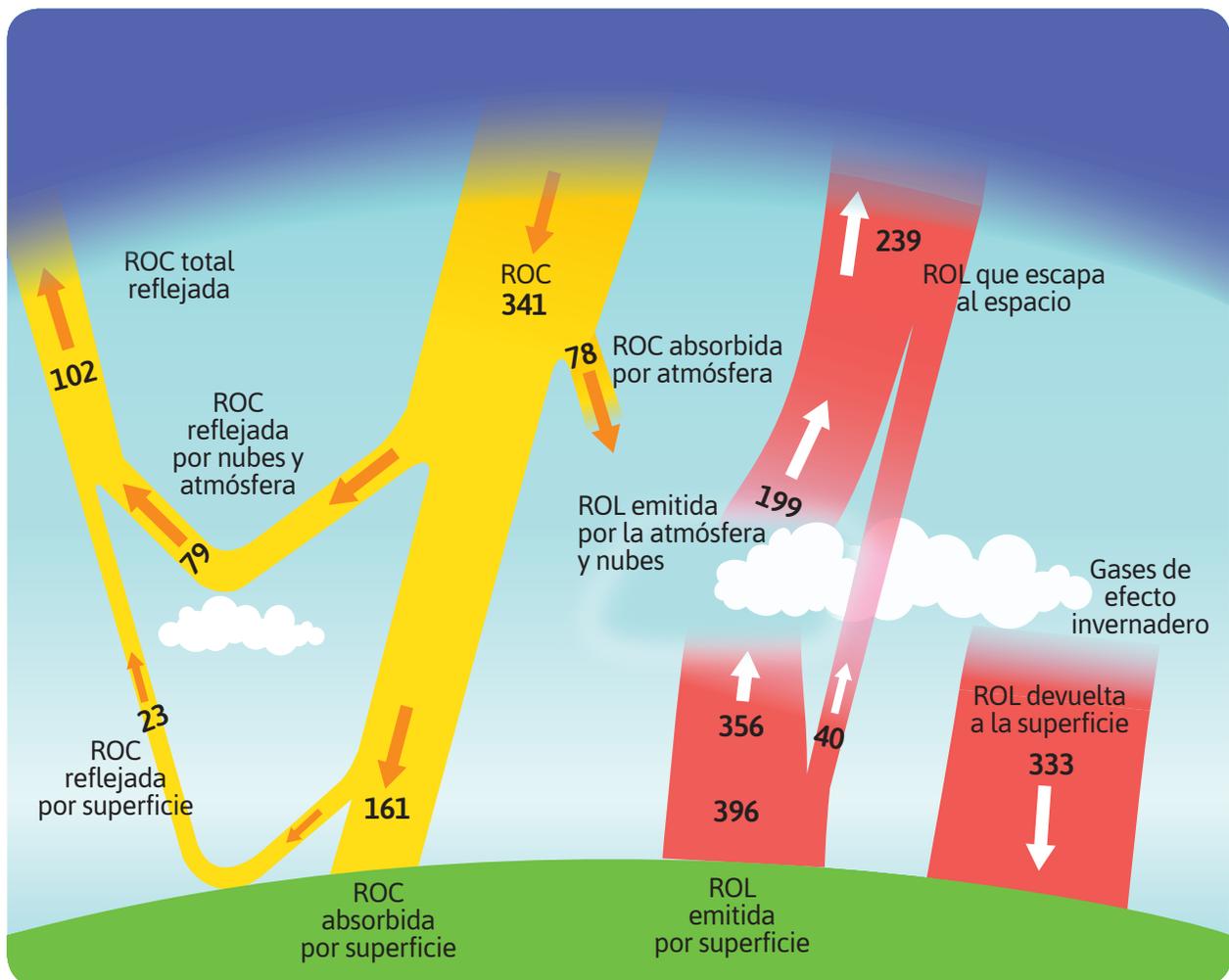


Figura 31. Balance de la radiación en W/m^2 . Según Trenberth (2009).

Como podemos observar en la **figura 31**, la radiación solar que llega al tope de la atmósfera es de $341 W/m^2$. De ella, solo el 48 % ($161 W/m^2$) es absorbida por la superficie terrestre, alrededor del 23 % ($78 W/m^2$) es absorbida por los constituyentes de la atmósfera y aproximadamente el 29 % ($102 W/m^2$) es reflejada nuevamente al espacio exterior por las nubes, algunos gases atmosféricos y la superficie terrestre.

Por otro lado, la superficie de la Tierra emite radiación en forma de ROL. La radiación que emite la superficie es de $396 W/m^2$. Una gran parte de esta, 92 % ($356 W/m^2$), es atrapada por algunos componentes de la atmósfera (gases de efecto invernadero y nubes), y una pequeña parte (8%) escapa al espacio exterior ($40 W/m^2$). Además, la atmósfera y las nubes también emiten ROL. Los gases de efecto invernadero

que atrapan la ROL la devuelven a la superficie terrestre ($333 W/m^2$), mientras que otros componentes de la atmósfera y las nubes dejan escapar otra parte hacia el espacio exterior ($169 W/m^2 + 30 W/m^2$).

En general, existe un balance entre la radiación que entra al sistema de la Tierra ($341 W/m^2$) y la radiación que sale de ella ($341 W/m^2$ es igual a $102 W/m^2$ de ROC reflejada más $239 W/m^2$ de ROL que la superficie y la atmósfera dejan escapar). Pero, como podemos observar, existe una energía en particular que es conservada en el planeta para que todos los organismos en ella puedan sobrevivir. Esta energía proviene de la ROL que la atmósfera devuelve a la superficie terrestre, y esto se debe a que existen gases particulares en la atmósfera que atrapan la ROL, conocidos como **gases de efecto invernadero**.

1.2.2. El efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero son aquellos gases atmosféricos que absorben la radiación de onda larga (ROL). Se encuentran, en su mayoría, en la tropósfera y su concentración disminuye con la altitud. Estos gases son principalmente el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4).

Los gases de efecto invernadero impiden que la ROL que emite la superficie terrestre escape totalmente hacia el espacio exterior (**figura 32**). Cuando estos gases absorben la radiación infrarroja, su temperatura aumenta e irradian esta energía en todas direcciones. La energía que es irradiada

hacia niveles superiores es capturada por otros gases de efecto invernadero; estos también irradian su energía en todas las direcciones y la energía que es irradiada a niveles superiores vuelve a sufrir el mismo proceso. Es así que la energía que alcanza niveles superiores es cada vez menor. Luego, a mayor altitud, los gases de efecto invernadero son cada vez más escasos y la energía que alcanzó niveles superiores puede, finalmente, escapar de la atmósfera.

Por otro lado, la energía que fue irradiada a niveles inferiores puede alcanzar la superficie terrestre y, por lo tanto, aumentar su temperatura.

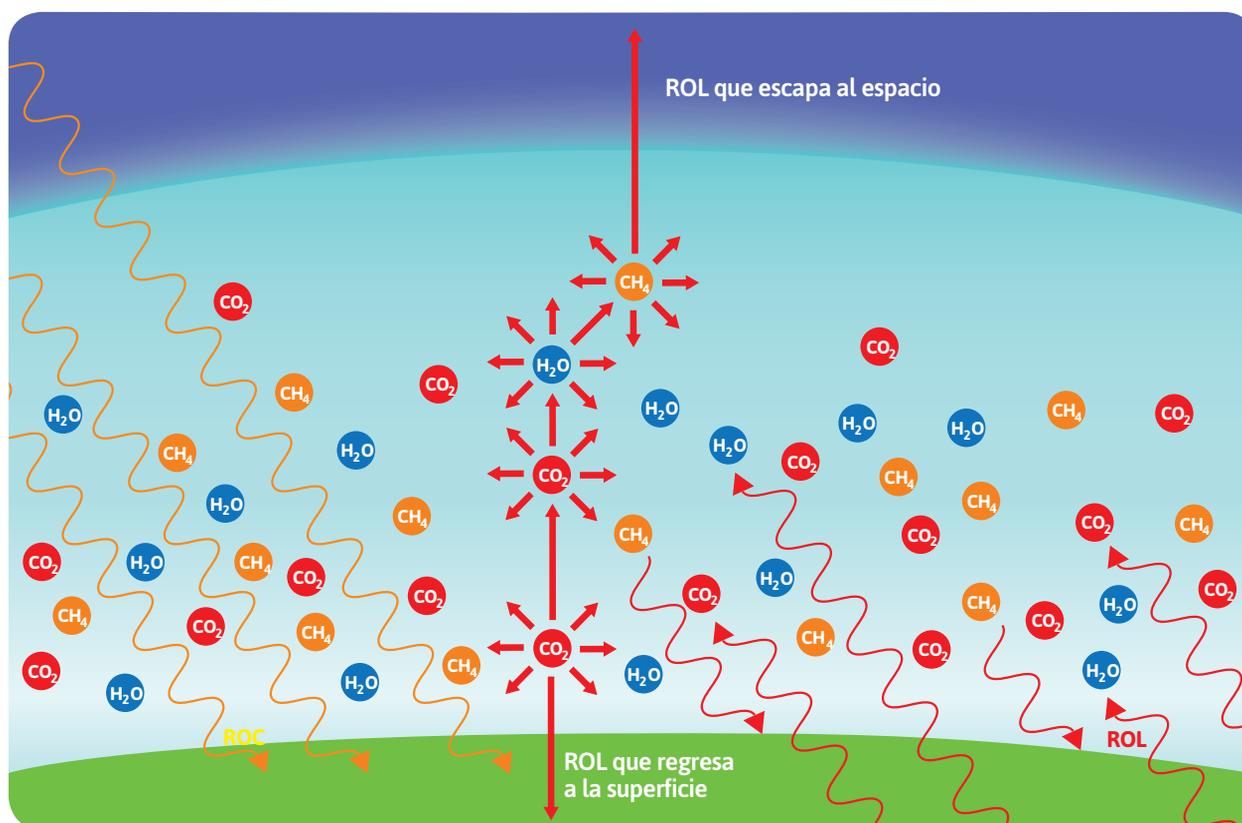
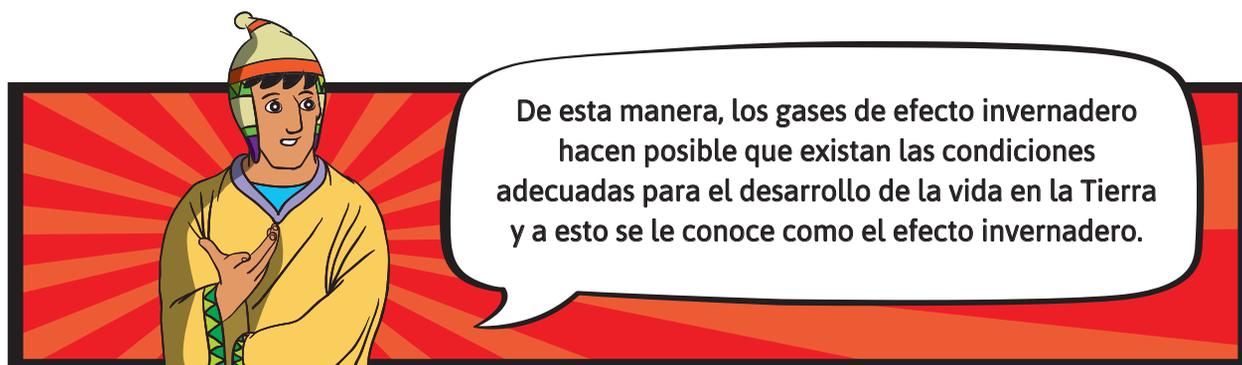


Figura 32. Comportamiento de la ROL y los gases de efecto invernadero



1.2.3. La variación latitudinal de la radiación

Entendemos, entonces, que la radiación solar es la principal fuente de energía de la atmósfera. Pero esta energía no se distribuye homogéneamente en la superficie de la Tierra. Debido a que la Tierra es casi redonda existen zonas que reciben más radiación (los trópicos⁷) y otras que reciben menos (los polos).

Como vemos en la **figura 33**, consideramos la misma cantidad de radiación para los trópicos y cerca de los polos. Sin embargo, el área sobre la que incide la radiación es

diferente. A bajas latitudes (trópicos), el área sobre la que incide la radiación solar es más pequeña (A) porque los rayos solares caen perpendicularmente sobre la superficie; mientras que a mayores latitudes, el área sobre la que incide la radiación es mucho más grande (B) porque el **ángulo de incidencia (ai)**⁸ es menor de 90°. Además, los rayos solares que inciden en el trópico tienen que recorrer una menor distancia (d) que los que inciden en latitudes altas ($d+x$). Esto significa que las latitudes cercanas a los polos reciben menor radiación que los trópicos porque se pierde una cantidad considerable de energía antes de tocar la superficie.

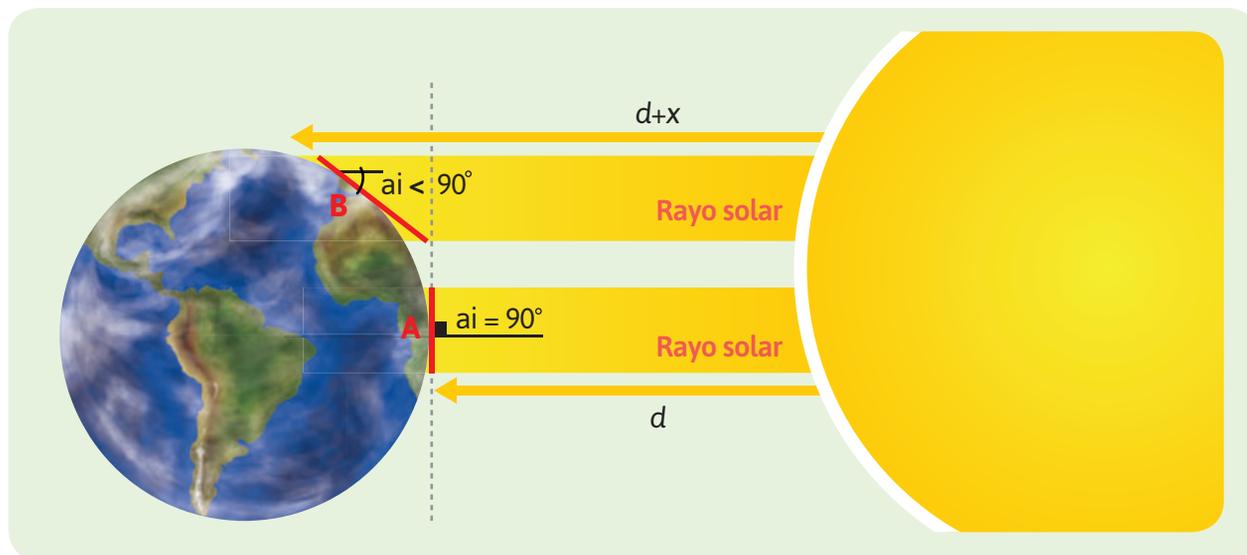


Figura 33. Variación latitudinal de la radiación solar incidente

En resumen, los trópicos (latitudes bajas) reciben mayor radiación que los polos (latitudes altas). Entonces, cuanto más

alejada está nuestra ciudad o comunidad de la línea ecuatorial, menor radiación solar recibimos.

Pero la radiación solar que recibimos no solo depende de la latitud, sino también de la ubicación de la Tierra en su órbita. Y es que durante el movimiento de traslación, la distancia entre el Sol y la Tierra varía día a día, de estación en estación. Lo que significa que la radiación solar que recibimos también varía.



⁷ Cuando nos referimos a los trópicos, hablamos de las áreas que se encuentran cercanas a la línea ecuatorial. Para recordar acerca de las áreas y líneas en un mapa, ver los **anexos 7 y 8**.

⁸ El ángulo de incidencia (ai) es el ángulo que existe entre la superficie horizontal y la radiación solar incidente (**figura 37**).

1.2.4. La variación de la radiación según las estaciones

Pensemos entonces en el movimiento de traslación. Como sabemos, a la Tierra le toma 365 días poder completar su viaje alrededor del Sol; pero su órbita no es una circunferencia, sino una elipse (figura 34). Por lo tanto, en algún

momento de su recorrido se encontrará más cerca del Sol (**perihelio**). Esto ocurre los primeros días de enero, cuando la distancia entre el Sol y la Tierra es de 147,5 millones de km. En contraste, en los primeros días de julio, la distancia entre el Sol y la Tierra es máxima: 152,6 millones de kilómetros (**afelio**).

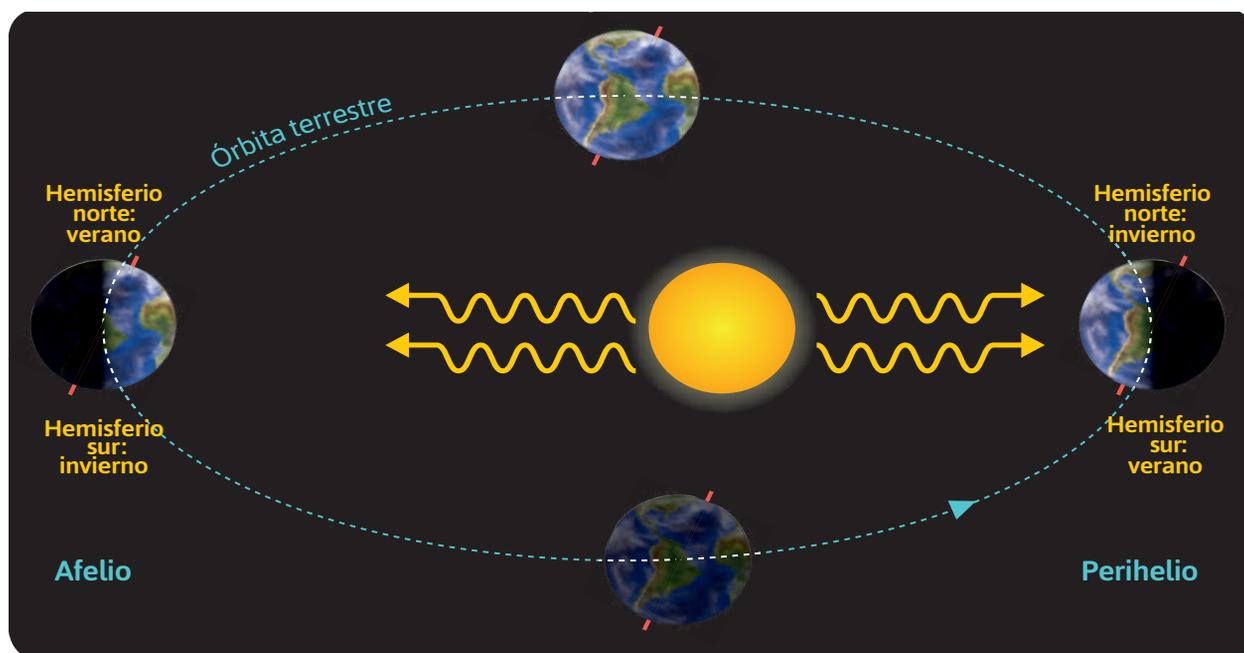


Figura 34. Las estaciones. Las estaciones son definidas por el ángulo de inclinación de la Tierra.

Analizando lo expresado antes, podríamos decir que durante el perihelio la Tierra recibe más energía que durante el afelio. Esto sugiere que en toda la Tierra debería ser verano durante el perihelio e invierno durante el afelio; pero sabemos que esto no es así. Y es que aún no hemos considerado una característica crucial de la Tierra: su ángulo de inclinación.

En la figura 35, observamos que el eje de rotación de la Tierra no es el mismo que su eje orbital. En realidad, la Tierra se encuentra inclinada aproximadamente $23,5^\circ$ con respecto al eje orbital. Esto significa que, durante el movimiento de traslación de la Tierra, un hemisferio recibirá más radiación que el otro.

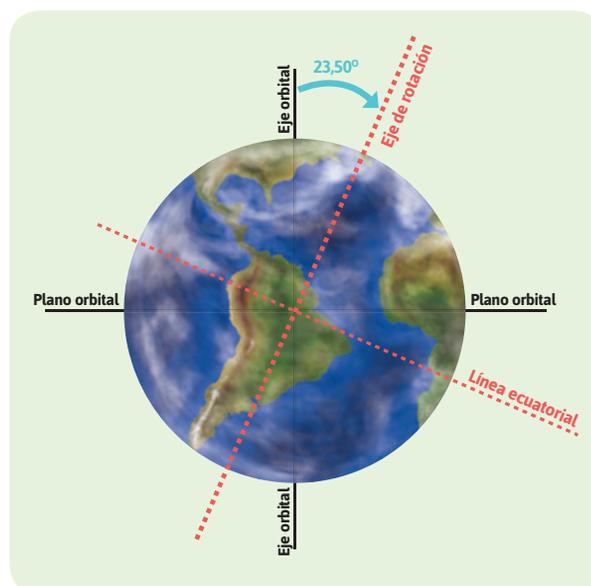


Figura 35. Ángulo de inclinación de la Tierra. Las estaciones definidas por el ángulo de inclinación de la Tierra.

Como se observa en la **figura 34**, el hemisferio sur se encuentra inclinado hacia el Sol durante el perihelio. Por lo tanto, como explicamos en la sección anterior, los rayos solares inciden perpendicularmente sobre el trópico de Capricornio, lo que da lugar al verano en el hemisferio sur (verano austral). Por el contrario, el hemisferio norte se encuentra más alejado del Sol, por lo que la radiación solar incidente es menor. Esto ocasiona el invierno en el hemisferio norte (invierno boreal).

Ocurre lo contrario durante el afelio (julio): es el hemisferio norte el que se encuentra inclinado hacia el Sol. Es el verano boreal y es el turno del trópico de Cáncer de recibir

mayor cantidad de radiación solar. Mientras tanto, el hemisferio sur se encuentra alejado del Sol, lo que da paso al invierno.

Por otro lado, los meses que se encuentran entre el perihelio y el afelio coinciden con las estaciones de transición: primavera y otoño. En estos meses la radiación solar incidente no alcanzará ni su máximo ni su mínimo.

En conclusión, es la inclinación de la Tierra la que realmente define las estaciones. Por lo tanto, la radiación solar que recibimos no solo depende de la latitud, sino también de la posición de la Tierra durante el movimiento de traslación.

Pero el movimiento de rotación de la Tierra también juega un rol importante en la radiación solar que recibimos, porque define el día y la noche.



1.2.5. La variación de la radiación según la duración del día

La cantidad de radiación solar que recibimos depende de la duración del día solar o **fotoperiodo**: a mayor duración del día, mayor radiación solar recibimos. Pero la duración del día solar no es igual durante todo el año ni en todas partes del mundo. Recuerda que siempre es mayor la duración del día solar durante el verano; incluso en los polos existen días de verano en los que nunca es de noche (fotoperiodo = 24 horas). Es decir, la duración del día depende del lugar donde vivimos (latitud).

Como expusimos en la sección anterior, debido a la inclinación de la Tierra, en ciertas épocas del año un hemisferio recibe más radiación que otro. Podemos observar

en la **figura 36** que durante el verano austral, el hemisferio sur se encuentra inclinado hacia el Sol. En este caso, cuanto más cerca nos encontremos al polo sur, mayor duración del día solar y mayor tiempo de incidencia de radiación solar. En el caso extremo de encontrarnos en el polo norte, no recibiríamos ninguna radiación solar porque en ese momento del año siempre es de noche (fotoperiodo = 0).

Ahora observemos otras latitudes. Por ejemplo, en latitudes medias la duración del día varía de 10,5 horas (durante invierno) a 13,5 horas (durante el verano). Pero en los trópicos la duración del día no varía mucho (fotoperiodo = 12 horas) porque su exposición al Sol tampoco varía significativamente durante todo el año.

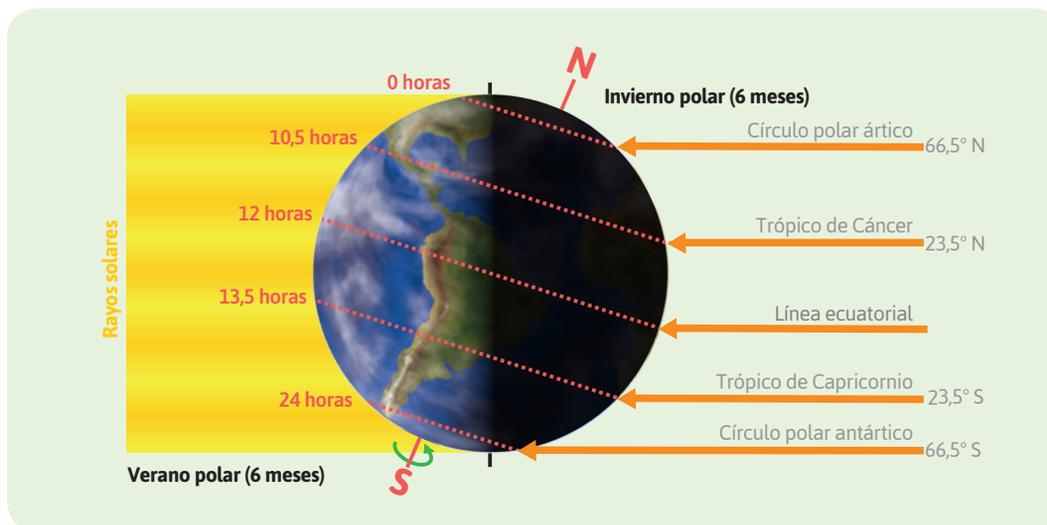
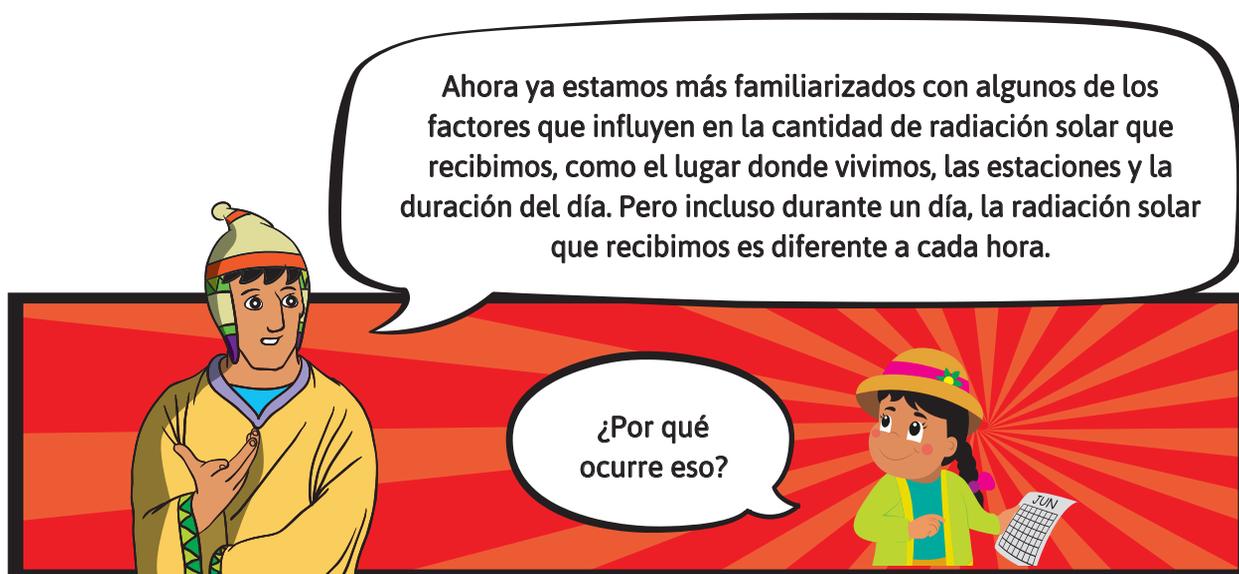


Figura 36. Duración del día solar respecto a la latitud



1.2.6 La variación horaria de la radiación incidente

Recibimos una cantidad diferente de radiación solar a diferentes horas del día debido al movimiento aparente del Sol. Decimos que es aparente porque en realidad el Sol no se mueve, es la Tierra la que lo hace cuando realiza su movimiento de rotación. Por ello, a nosotros nos parece que el Sol sale por el este, alcanza una máxima altura (mediodía) y atraviesa el cielo para ponerse hacia el oeste (**figura 37**).

Podemos observar que la ROC recorre una mayor distancia cuando se encuentra al extremo este y al oeste; además, alcanza la superficie con un ángulo de incidencia

menor de 90° . Esto supone una menor radiación solar en las primeras y últimas horas del día. Mientras, al mediodía los rayos solares tienen que recorrer una menor distancia e inciden directamente sobre la superficie. Esto hace que al mediodía exista una mayor radiación solar incidente. Es así como la radiación que recibimos también varía en el transcurso del día.

Entonces, deberíamos poder saber la cantidad de radiación que recibiremos si conocemos a qué latitud nos encontramos, la fecha y la hora del día. Sin embargo, podemos percibir que esto no siempre es así en la superficie terrestre. Por ejemplo, en un día

de verano aún podemos sentir frío porque no toda la radiación solar alcanza la superficie. Esto se debe a que existe un elemento muy

importante que no hemos tomado aún en consideración: las nubes.

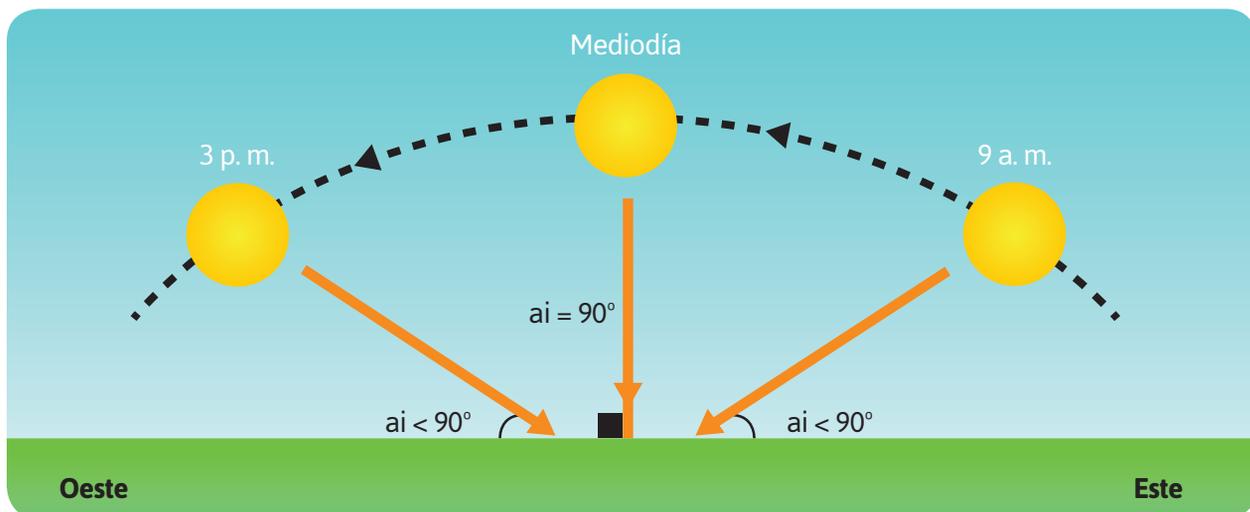


Figura 37. Movimiento aparente del Sol y la radiación incidente

1.2.7. El efecto de las nubes en la radiación incidente

Las nubes claramente influyen en la cantidad de radiación que recibe la superficie de la Tierra. Como podemos observar en la **figura 38**, en un día con cielo despejado, debido a los procesos de reflexión y absorción que ocurren en la atmósfera (**cap. II, secc. 1.2.1.**), llega a la superficie aproximadamente el 50 % de la radiación solar. Sin embargo, la presencia de nubes disminuye aún más la cantidad de radiación

que llega a la superficie, debido a que estas reflejan parte de la radiación solar.

La cantidad de radiación que logre alcanzar la superficie dependerá del tipo de nube, pero de esto nos ocuparemos más adelante (**cap. II, secc. 1.5.3.**). Por ahora, solo diremos que cuanto mayor es el desarrollo vertical de la nube, menor radiación solar alcanza la superficie. Entonces, aún si es verano, si el cielo se encuentra cubierto de nubes, menor radiación solar alcanzará la superficie y menor será la temperatura.

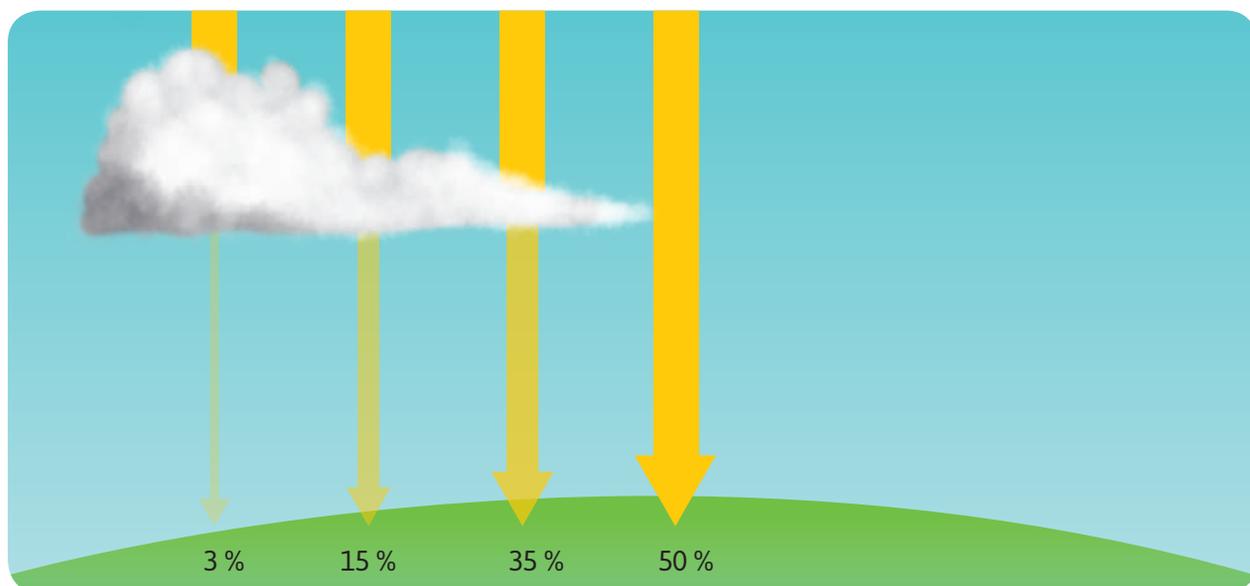


Figura 38. Influencia de las nubes en la radiación incidente. Según Ahrens (2009).

Hemos destacado los factores que influyen en la radiación solar incidente. La cantidad de radiación solar que recibimos es muy importante porque es la energía que usa la atmósfera para incrementar su

temperatura. Sin la radiación solar, la Tierra solo perdería energía; por tanto, su temperatura disminuiría lo suficiente para hacer imposible la vida en el planeta.



Autoevaluación

- Si la longitud de onda de máxima emisión de un cuerpo negro fuera $0,35 \mu\text{m}$, ¿cuál sería su temperatura?
- Menciona tres factores que determinan la radiación solar que recibimos.
- Sabemos que el vapor de agua es el gas invernadero más importante porque retiene mayor cantidad de radiación, además de ser el más abundante. ¿Cuáles son los otros dos gases de efecto invernadero importantes?
- En pocas palabras, explica el balance de radiación de la Tierra.

1.3. La temperatura del aire

Como todas las cosas en este planeta, el aire de la atmósfera está compuesto por átomos y moléculas. Estas moléculas se mueven en todas direcciones, a diferentes velocidades, chocando unas con otras. La energía asociada a este movimiento se conoce como **energía cinética**. Lo que hace la temperatura es medir la energía cinética promedio. En otras palabras, la temperatura es una medida de la velocidad promedio de los átomos y moléculas que componen un cuerpo; en este caso, una masa de aire.

Así, a mayor temperatura, mayor velocidad de las moléculas y átomos.

Cuando las moléculas del aire se mueven muy rápido, también se apartan unas de otras; esto significa que el aire se expande; por tanto, se vuelve menos denso. Por el contrario, cuando la temperatura disminuye, las moléculas del aire bajan su velocidad y se distribuyen más cerca unas de otras, es decir, el aire se comprime y, en consecuencia, se vuelve más denso.

↑ Temperatura = ↑ Velocidad de moléculas → ↓ Densidad → Expansión del aire

↓ Temperatura = ↓ Velocidad de moléculas → ↑ Densidad → Compresión del aire

Podemos probar esta proposición mediante la ley de gases ideales:

$$P \cdot V = R \cdot T \cdot n$$

Donde:

P = presión

V = volumen

R = constante de gases ideales

T = temperatura

n = cantidad de sustancia = número de moles

Esta es la ecuación de estado de un gas ideal hipotético. Si bien tiene sus limitaciones, es una buena aproximación al comportamiento de varios gases.

Entonces, si consideramos el aire como un gas ideal, podemos usar la ecuación para relacionar la densidad del aire (ρ) con su temperatura.

Sabiendo que: $n = m/M$ y $m = V \cdot \rho$

Entonces: $P \cdot V = R \cdot T \cdot \frac{m}{M} = \frac{R \cdot T \cdot V \cdot \rho}{M}$

Finalmente: $P = R_e \cdot T \cdot \rho$ o $\rho = \frac{P}{R_e \cdot T}$

Donde:

m = masa

M = masa molar

R/M = R_e = constante de gas específico

ρ = densidad

Ahora compararemos dos masas de aire iguales ($m_1 = m_2$) y mantendremos las otras variables constantes (P y Re). Esto significa que P/Re es una constante ($P/Re = C$).

Entonces, si m_1 se encuentra a $10\text{ }^\circ\text{C}$ y m_2 a $20\text{ }^\circ\text{C}$, la densidad de m_1 (ρ_1) es mayor que la densidad de m_2 (ρ_2).

$$\rho_1 = \frac{C}{T_1} = \frac{C}{10} \quad \text{y} \quad \rho_2 = \frac{C}{T_2} = \frac{C}{20} \quad \rightarrow \quad \frac{C}{10} > \frac{C}{20} \quad \rightarrow \quad \rho_1 > \rho_2$$

De esta forma, hemos probado que la temperatura tiene una relación inversa con la densidad: a menor temperatura, mayor densidad del aire. Además, ya que la densidad también mantiene una relación

inversa con el volumen, el volumen tiene una relación directa con la temperatura. Es decir, a menor temperatura, la masa de aire ocupará menos volumen, pero su densidad será mayor (**figura 39**).

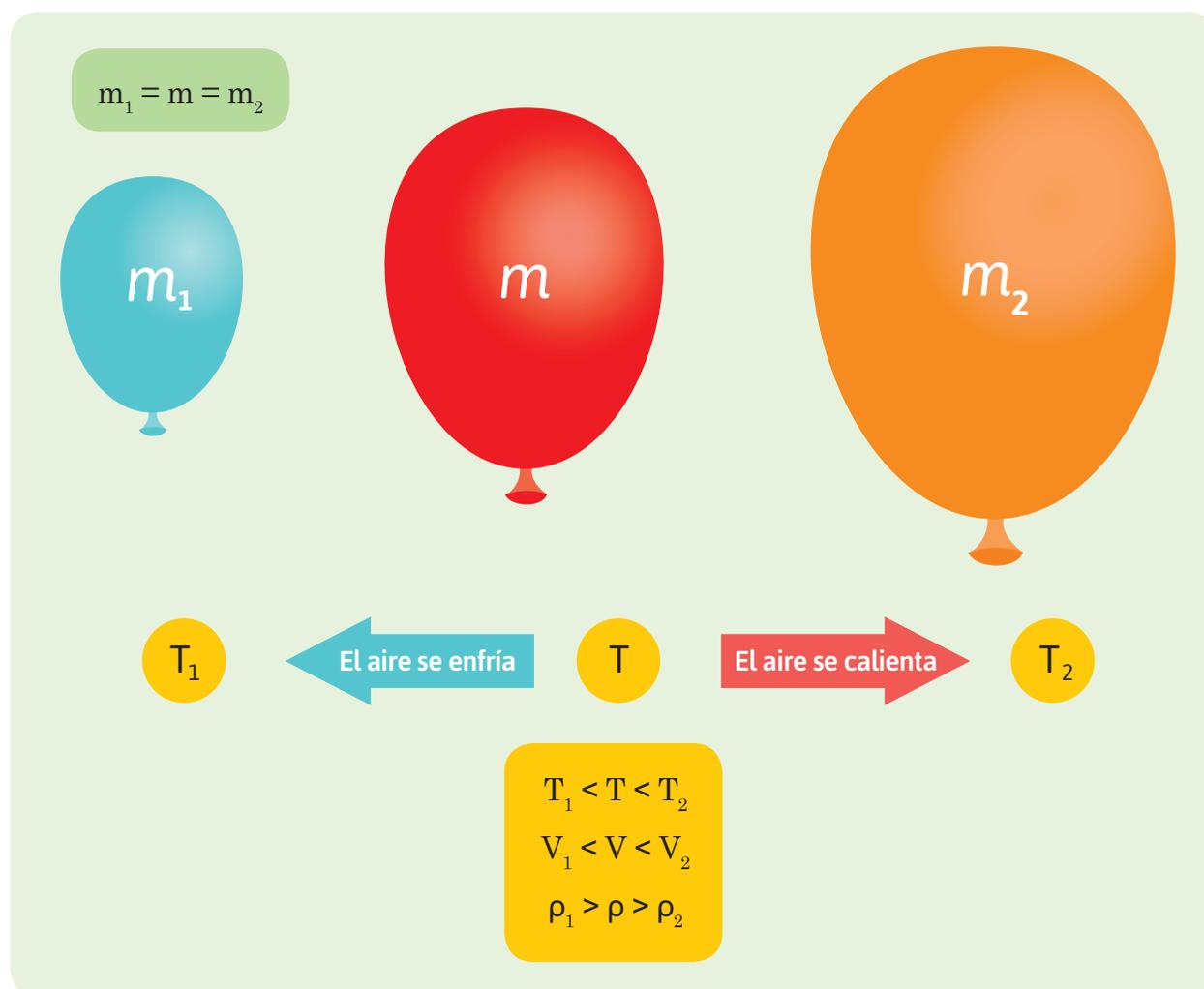


Figura 39. Relación entre la temperatura, la densidad y el volumen

Pero la temperatura solo mide cuán frío o caliente se encuentra algo en relación con un valor estándar dentro de una escala de temperatura. Esto significa que debemos familiarizarnos con este valor estándar para poder entendernos unos a otros.



1.3.1. Las escalas de temperatura

No existe una escala estándar para medir la temperatura; muchas sociedades han adoptado su propia escala. Por ello, vamos a mencionar las escalas más usadas en el mundo de las ciencias: la escala kelvin, la escala Celsius y la escala Fahrenheit.

La **escala absoluta**, también conocida como **escala kelvin (k)**, considera como cero absoluto la temperatura en que las moléculas del aire ya no tienen movimiento (-273 °C). La ventaja de esta escala es que no posee números negativos, ya que los objetos no pueden ser más fríos.

La **escala Celsius (°C)** considera el valor 0 como la temperatura en que el agua pura se congela (punto de fusión) y

100 como la temperatura en que el agua pura hierve (punto de ebullición) a nivel del mar. Entre estos dos valores existen 100 divisiones, las cuales se conocen como grados Celsius.

La **escala Fahrenheit (°F)** ha asignado el valor 32 a la temperatura en que el agua se congela y el valor de 212 a la temperatura en que esta hierve. Entre estos dos valores existen 180 divisiones.

Ahora que conocemos las escalas más usadas de temperatura, debemos aprender a relacionarlas (**figura 40**). Para esto, podemos convertir las temperaturas de una escala a otra usando las siguientes fórmulas:

De kelvin a Celsius	$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$
De kelvin a Fahrenheit	$^{\circ}\text{F} = 32 + \frac{9}{5}(\text{K} - 273,15)$
De Celsius a kelvin	$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$
De Celsius a Fahrenheit	$^{\circ}\text{F} = 32 + \frac{9}{5}(^{\circ}\text{C})$
De Fahrenheit a kelvin	$\text{K} = \frac{5}{9}(^{\circ}\text{F} - 32) + 273,15$
De Fahrenheit a Celsius	$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(^{\circ}\text{F} - 32)$

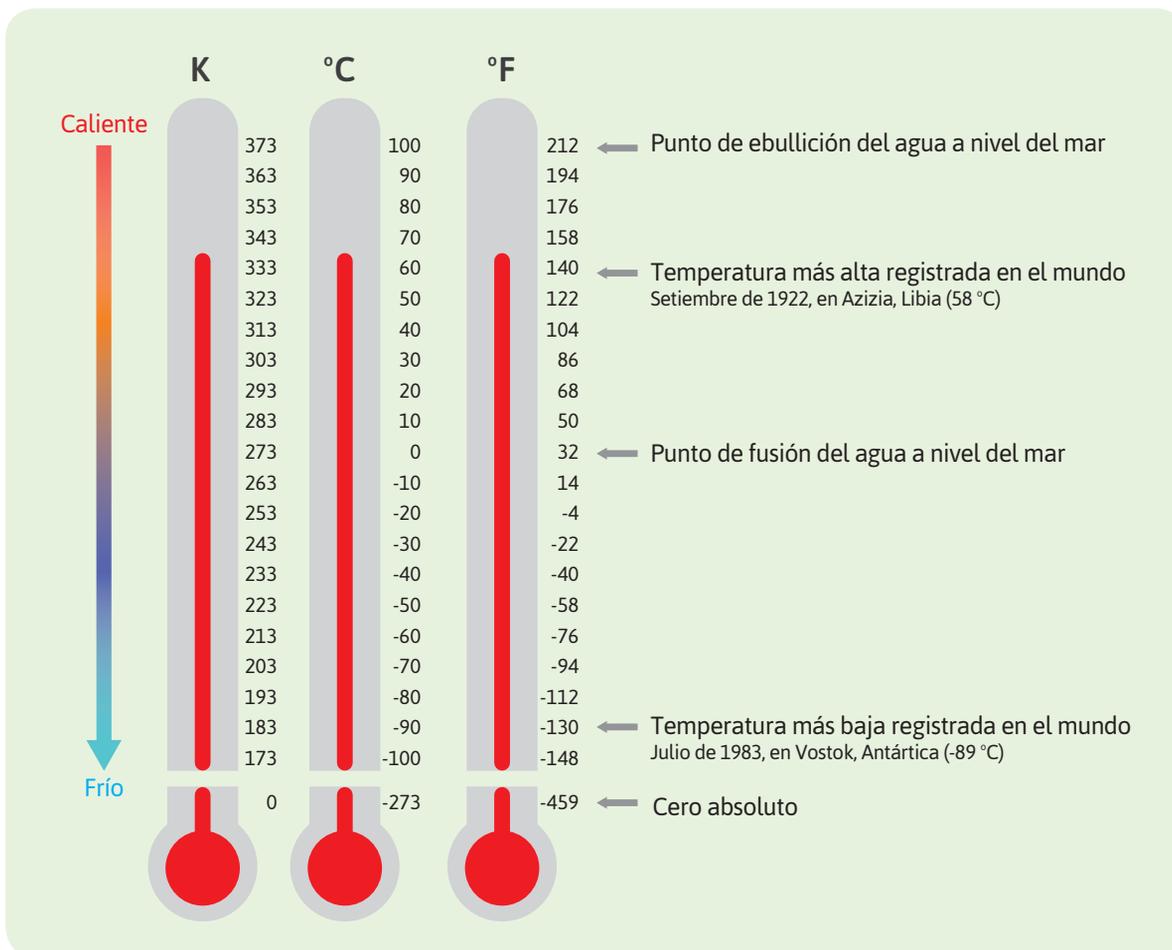


Figura 40. Comparación entre las escalas kelvin, Celsius y Fahrenheit

En el Perú utilizamos el Sistema Internacional de Unidades, el cual adopta la escala kelvin. Esta escala facilita los cálculos que realizan los científicos, ya que no posee números negativos. Sin embargo,

en el día a día estamos más familiarizados con la escala Celsius, que nos informa de la temperatura en nuestra ciudad o localidad.

Ahora, nos haremos cargo de las temperaturas cercanas a la superficie, pues en ella se desarrollan la vida y nuestras sociedades. También ahí la temperatura presenta las mayores variaciones, debido a la interacción intensa entre la superficie terrestre y la atmósfera.

1.3.2. La temperatura y el calor

Como vimos (**cap. II, secc. 1.2.1.**), existe un intercambio de energía entre la atmósfera y la superficie terrestre debido a la radiación solar. Las temperaturas de la atmósfera y la superficie varían constantemente porque transfieren energía del cuerpo más caliente al cuerpo

más frío de forma continua. Esta energía que está siendo transferida se conoce como **calor**.

Si la temperatura es la medida de la energía dentro de un cuerpo, el calor es la energía que está siendo transferida de un cuerpo a otro a causa de la diferencia de temperatura entre ellos (**figura 41**).

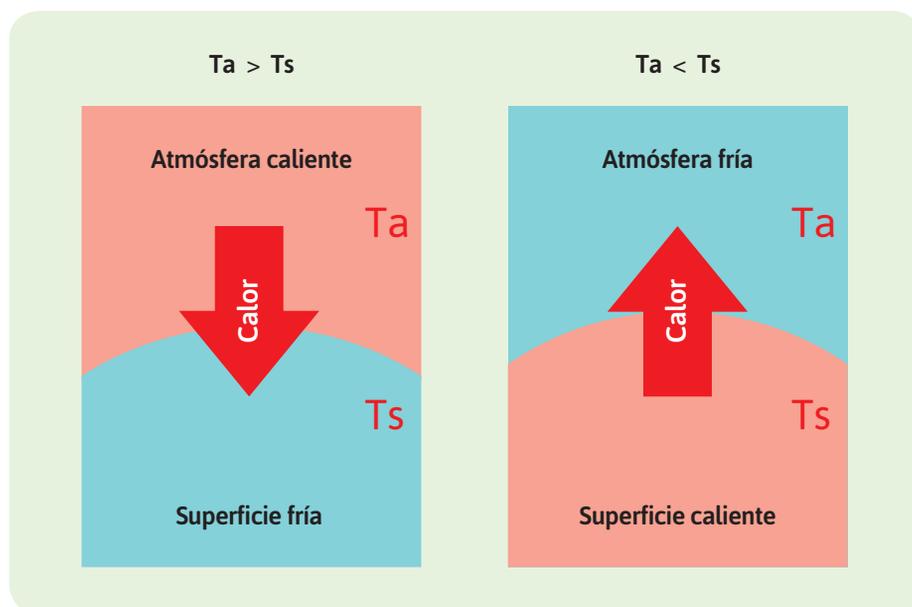


Figura 41. Transferencia de calor entre la atmósfera y la superficie terrestre

Existen dos formas de calor que pueden ser transferidas: el **calor sensible** y el **calor latente**. El calor sensible es la energía requerida para elevar la temperatura de un cuerpo sin que este cambie de estado (se puede observar a través del cambio de temperatura del cuerpo), mientras que el calor latente es la energía requerida para cambiar el estado de un cuerpo sin que cambie de temperatura.

Por ejemplo, si calentamos agua en un recipiente, le transferiremos el calor de la cocina (**figura 42 [a]**). Sabemos que el calor está siendo transferido al

agua (**figura 42 [b] y [c]**) porque su temperatura está aumentando. Hablamos, entonces, de calor sensible. Pero llegará el momento en que su temperatura dejará de aumentar, pues habrá alcanzado el punto de ebullición (**figura 42 [c]**). A esta temperatura, aunque sigamos transfiriendo calor, el agua no se calentará más (**figura 42 [d]**). ¿Dónde se encuentra este calor? En realidad, el agua continúa ganando energía, pero la está utilizando para cambiar de estado y no para aumentar su temperatura. Estamos frente a un caso de calor latente.

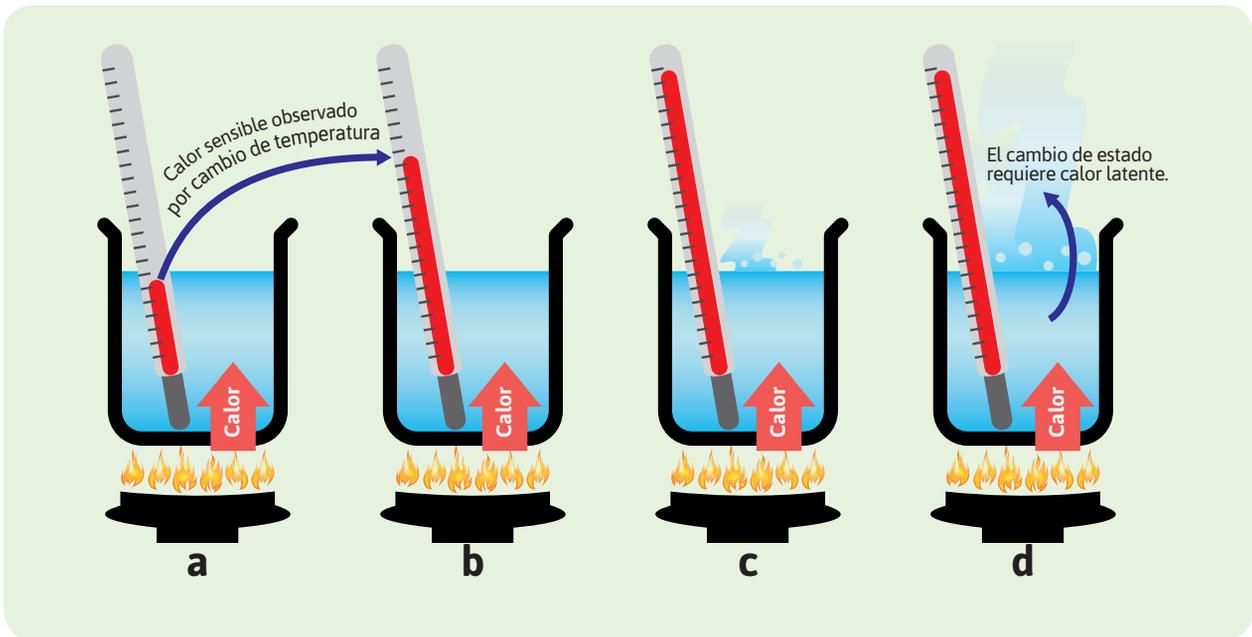


Figura 42. Diferencia entre calor sensible y calor latente a través de la transferencia continua de calor. El calor sensible se puede observar en el aumento de temperatura del agua (desde [a] hasta [c]), mientras que el calor latente no puede ser observado por un cambio de temperatura, sino por el cambio de estado de líquido a gaseoso (de [c] a [d]).

El calor latente es requerido en todo cambio de estado (**figura 43**). En el caso de la fusión, evaporación, y sublimación, el cuerpo toma el calor del ambiente. Por el

contrario, cuando ocurren los procesos de condensación, solidificación (congelamiento en el caso del agua) y deposición, el cuerpo libera calor al ambiente.

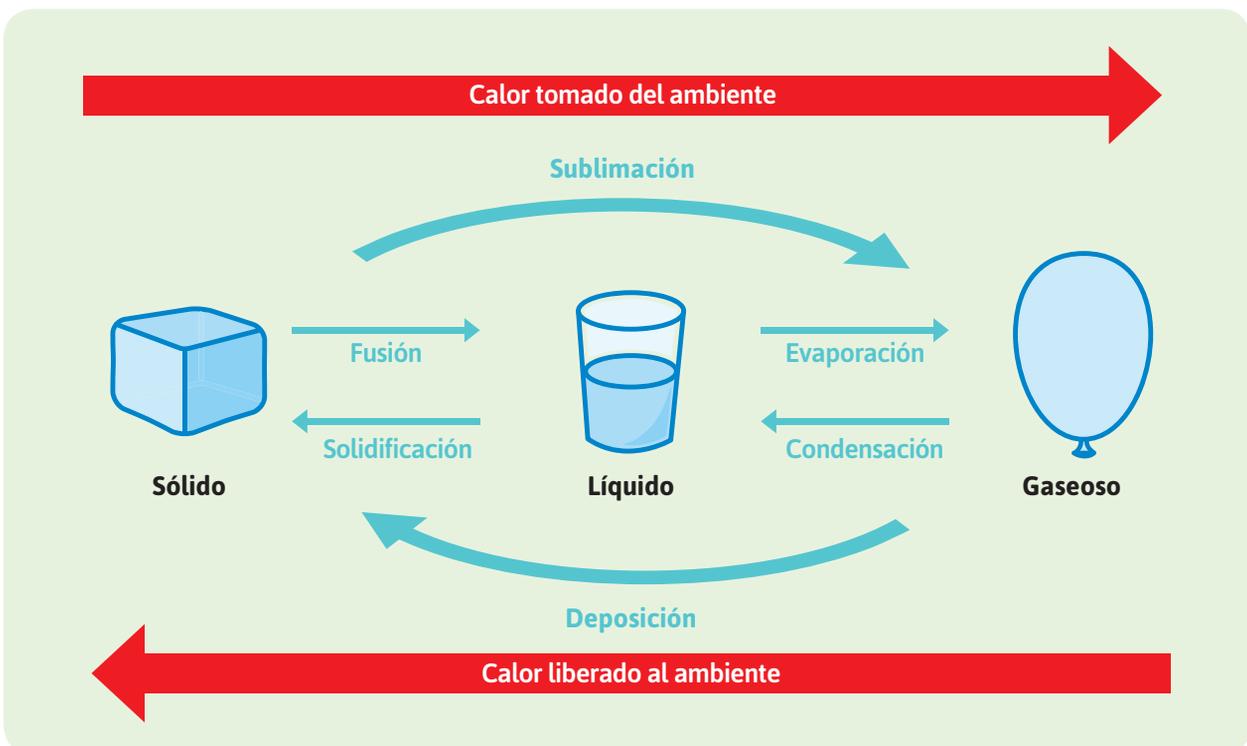


Figura 43. Calor absorbido y liberado en los procesos de cambio de estado del agua

El calor latente es una importante fuente de energía en la atmósfera y da lugar al transporte de calor de regiones cálidas a regiones frías (**figura 44**). Por ejemplo, cuando las cálidas aguas tropicales se calientan debido a la radiación solar, ocurre la evaporación. Esta gran cantidad de vapor de agua es liberada a la atmósfera y se eleva a los niveles más altos de la

tropósfera, donde el aire es mucho más frío. A esta altura, el vapor de agua se condensa para formar las nubes (gotas de agua) y produce una gran liberación de calor al ambiente. Las nubes son transportadas por el viento y junto con ellas, el calor. Es así como el calor es llevado de un lugar a otro.

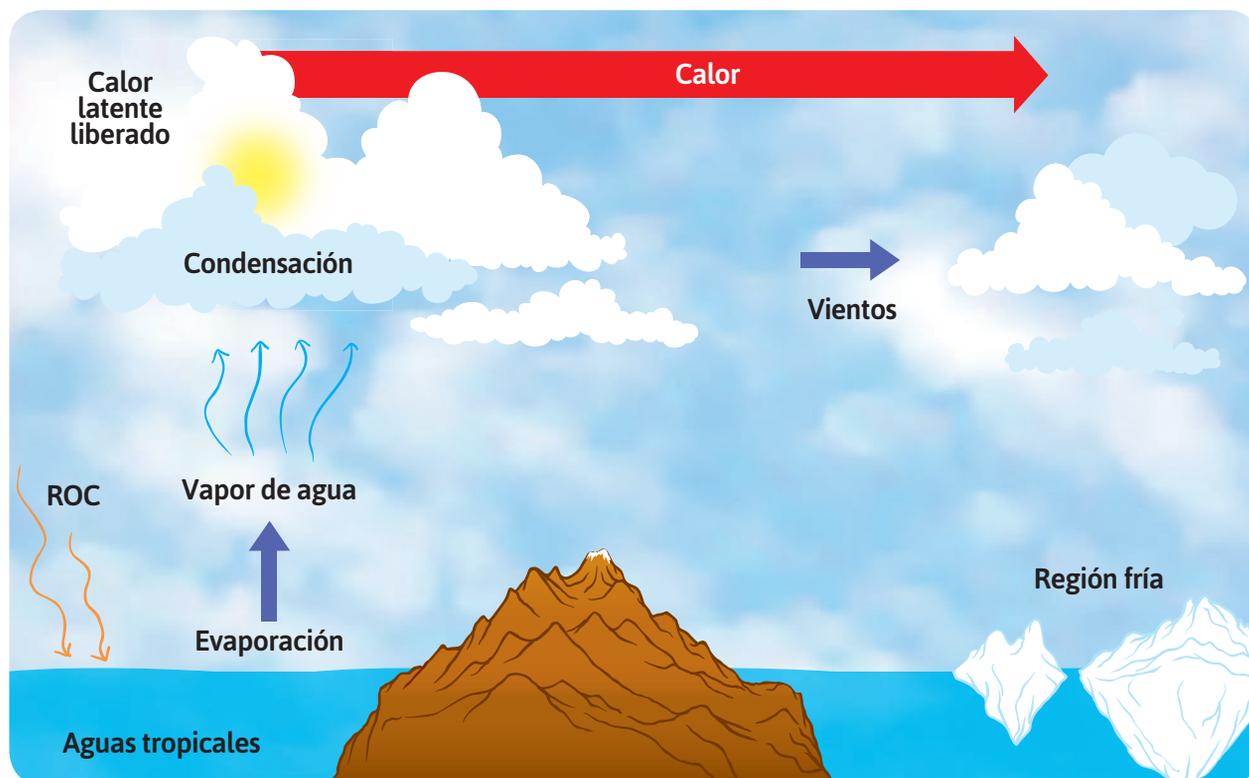


Figura 44. Transporte de calor desde regiones cálidas hacia regiones frías

Existen tres mecanismos para transferir el calor: conducción, radiación y convección. El calor transferido de molécula a molécula es conocido como **conducción**; las moléculas que vibran más rápido pasan energía a las moléculas vecinas. Por otro lado, ya vimos cómo el Sol y la superficie terrestre transfieren su energía a través de la **radiación**, en forma de ondas electromagnéticas (**cap. II, secc. 1.2.**). Finalmente, la **convección** es la transferencia de energía mediante el movimiento de masas que poseen diferentes temperaturas. Este tipo de transferencia solo sucede en líquidos y gases porque estos son capaces de moverse libremente.

La convección ocurre naturalmente en la atmósfera en tanto existen superficies que se calientan más que otras. Debido a que el aire es un mal conductor de calor, la superficie terrestre solo puede calentar el aire que se encuentra cerca de ella. Así, la superficie caliente transfiere calor al aire circundante; este aire caliente se expande y, por ser menos denso, se desplaza a los niveles más altos de la tropósfera, llevando consigo el calor. En el proceso, el aire frío es desplazado hacia la superficie para reemplazar el aire caliente. Mientras que el aire caliente, que se desplazó hacia arriba, se esparce y se enfría, se vuelve más denso y se desplaza hacia la superficie nuevamente.

Ya en la superficie, el aire que se encuentra allí vuelve a calentarse porque la superficie le transfiere calor, y así el ciclo se repite.

Este proceso, en el que el aire caliente sube a niveles más altos, se desplaza horizontalmente y desciende como aire frío a la superficie, se conoce como circulación convectiva o convección. Los meteorólogos

llaman convección solo al proceso de desplazamiento vertical ascendente del aire (**figura 45**). El desplazamiento horizontal recibe el nombre de advección.

Tal proceso no ocurriría si la superficie no fuera calentada por la radiación solar; esto quiere decir que existe una relación entre la temperatura y la radiación solar incidente.

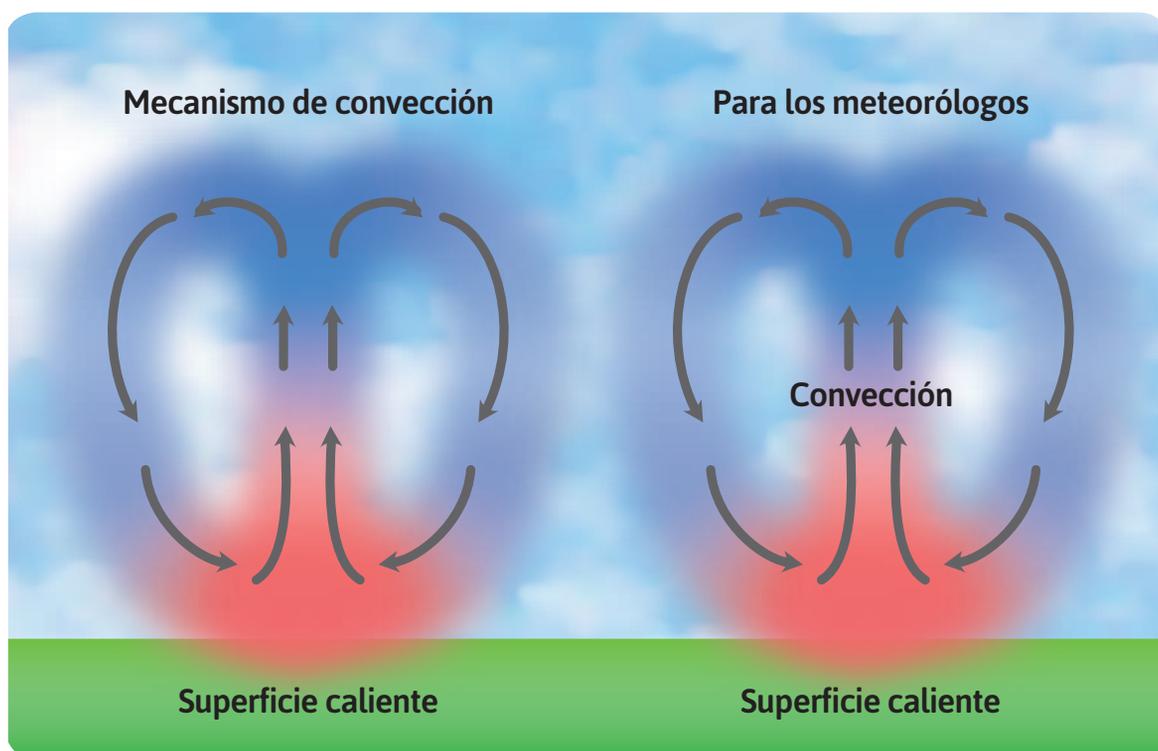
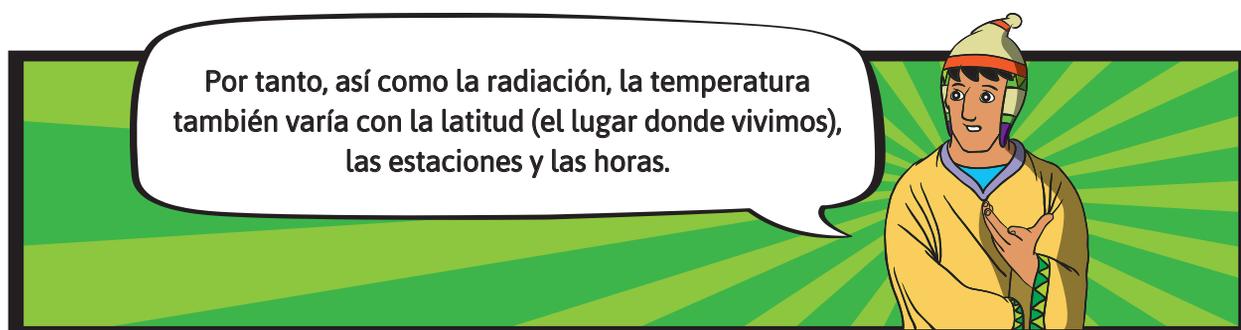


Figura 45. Convección del aire debido al calentamiento desigual de la superficie



1.3.3. La variación anual de la temperatura del aire

La temperatura varía con las estaciones de igual modo que la radiación que llega a la superficie varía de acuerdo con la posición de la Tierra durante su trayectoria alrededor del Sol (**cap. II, secc. 1.2.4.**). Durante el verano las temperaturas son más altas que

durante el invierno (**figura 46**). Esto se debe a que el tiempo de exposición de la Tierra a la radiación solar incidente es mayor durante el verano que durante el invierno. Por otro lado, durante las estaciones de transición (primavera y otoño) las horas de sol son alrededor de 12, por lo que las temperaturas no son extremas.

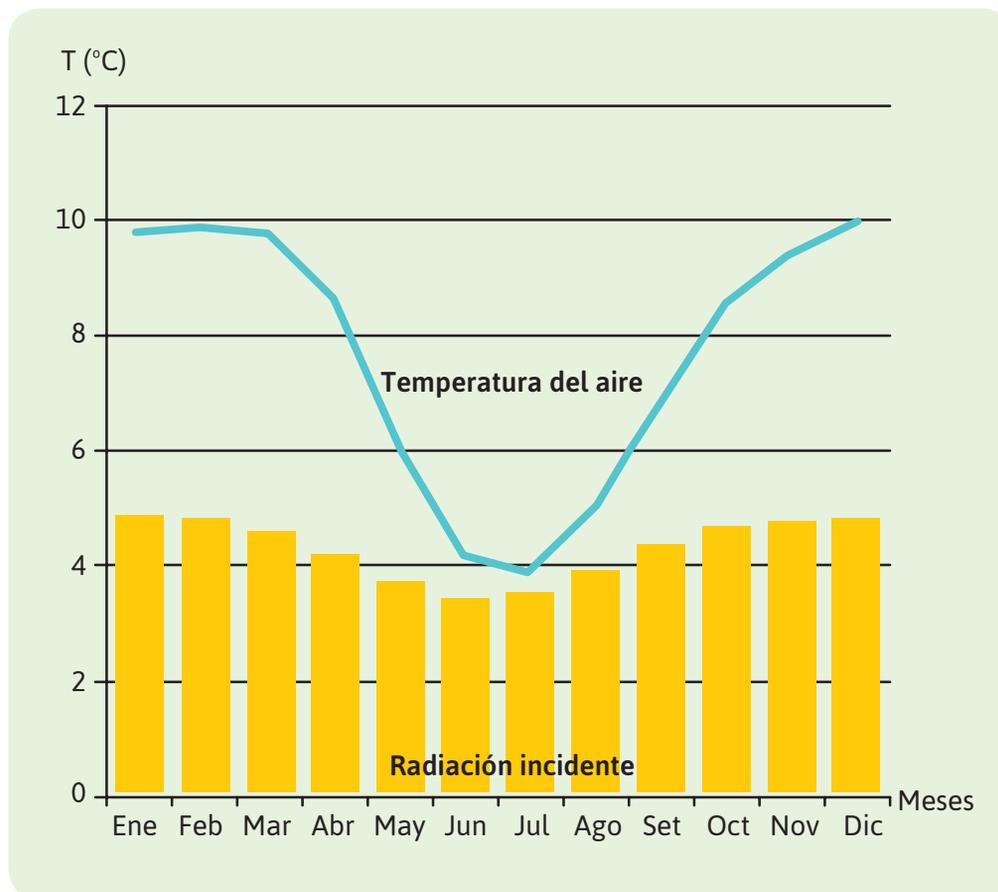


Figura 46. Variabilidad anual en la estación de Desagüadero, Puno. Relación entre la radiación incidente (barras amarillas) y la temperatura del aire (línea celeste).⁹

Como estudiamos en el **cap. II, secc. 1.2.3.**, la duración de las horas de sol también varía con la latitud. Por ello, es importante destacar que cuanto más cerca de la línea ecuatorial se encuentra nuestra localidad, la variación de la temperatura entre verano e invierno es menos perceptible, como es el caso de nuestro país. El efecto de la latitud en la temperatura será estudiado en el **cap. II, secc. 1.3.5.**

Entonces, con respecto a las estaciones, las temperaturas son más altas en promedio durante el verano. Sin embargo, con respecto a la variación de la temperatura durante el día (hora a hora), esta depende de otro factor, además de la radiación solar.

1.3.4. La variación diaria de la temperatura del aire

Como explicamos en el **cap. II, secc. 1.2.6.**, debemos tomar en cuenta el movimiento aparente del Sol, pues este define la variación horaria de la radiación solar incidente (ROC), que a su vez afecta la temperatura de la superficie y el aire. Sin embargo, tenemos ahora que considerar la radiación emitida por la Tierra (ROL) porque también afecta la temperatura del aire. Dicha temperatura aumenta cuando la radiación solar incidente (ROC) es mayor que la radiación terrestre que se pierde (ROL), y la temperatura disminuye cuando la ROL supera a la ROC.

⁹ Cálculo de la radiación incidente obtenido con ClearSky Calculator (<http://www.clearskycalculator.com/>).

Observemos la **figura 47**. La ROC surge con los primeros rayos de sol, alcanza su máximo al mediodía y desaparece cuando el Sol se oculta. Por otro lado, durante las horas de Sol, la ROL aumenta porque la superficie recibe la energía del Sol y puede transformarla en ROL, que emite a la atmósfera; pero después del ocaso, la superficie deja de recibir energía, por lo que la ROL disminuye. Entonces, en las primeras horas de la mañana, cuando la ROC y la ROL aumentan, la temperatura del aire también lo hace. Esto se debe a que la superficie terrestre recibe la energía solar y empieza a calentar el aire cercano a la superficie. Luego, al mediodía, cuando la ROC alcanza su máximo, la temperatura aún no lo consigue. De hecho, la

temperatura continúa aumentando hasta alcanzar su máximo (**T máx.**) alrededor de las 2 p. m. Esto ocurre porque la energía que gana la superficie (ROC) aún es mayor que la energía que pierde (ROL). Sin embargo, llegará un momento en que la superficie pierda más energía de la que gane, debido a que disminuirá la ROC; entonces, la temperatura empezará a bajar. Y cuando ya no reciba radiación solar (ROC), la superficie terrestre dejará de ganar y solo perderá más y más energía, por lo que la temperatura continuará disminuyendo hasta alcanzar su mínimo (**T mín.**) justo al amanecer, cuando los rayos del Sol empiezan a calentar nuevamente la superficie. El ciclo se vuelve a repetir, y es así como la temperatura varía durante el día.

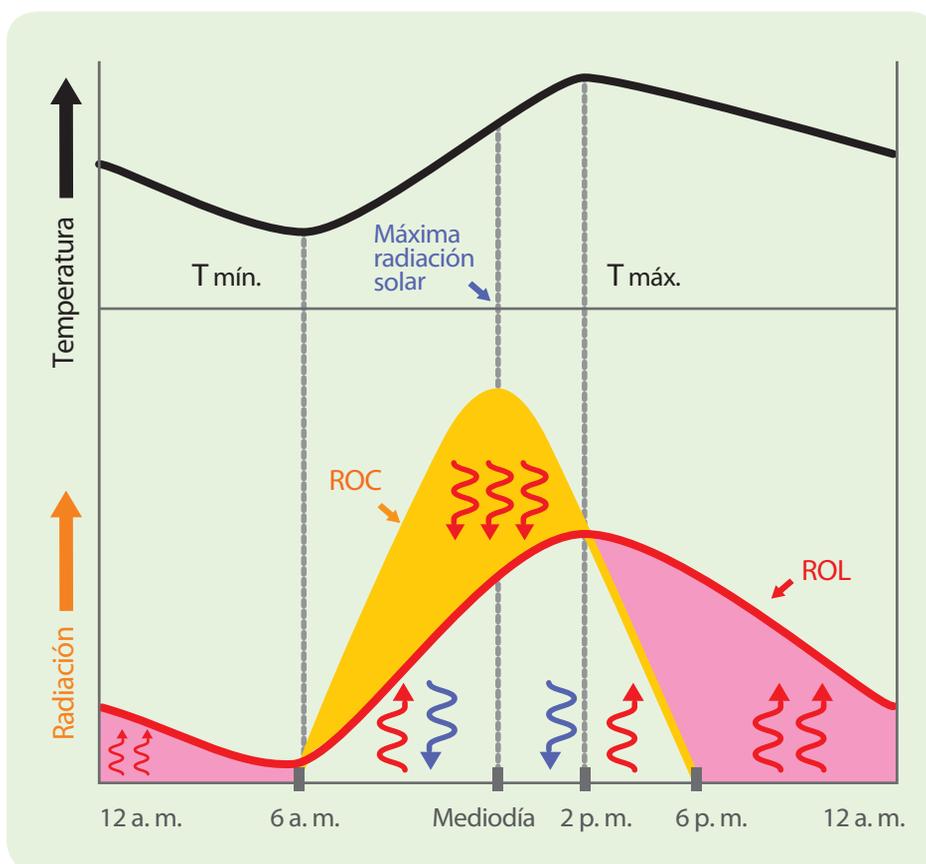


Figura 47. Variación horaria de la temperatura del aire. Relación entre la radiación incidente (ROC) y la radiación que emite la superficie (ROL).

La **figura 47** simula el comportamiento de la temperatura del aire en un día de cielo despejado. Como vimos en el **cap. II, secc. 1.2.7.**, las nubes controlan la radiación incidente en la superficie y, por tanto, también la temperatura del aire. Por ejemplo, en días nublados las temperaturas son más bajas durante las horas de sol que en días despejados, porque las nubes no dejan pasar toda la radiación solar. Sin embargo, las nubes tampoco dejan escapar la radiación que emite la superficie (ROL) durante la noche, de modo que las temperaturas son más altas en noches nubladas que en noches despejadas.

La nubosidad no es el único factor que puede afectar la temperatura del aire de un lugar en particular, también lo es el tipo de superficie (agua, suelo, vegetación, etc.), la humedad que contiene la atmósfera, el viento y, además, algunos fenómenos, como los friajes. Por ejemplo, las superficies desnudas y áridas calientan más rápido el aire que las superficies cubiertas de vegetación o húmedas. Ello se debe a que estas últimas usan la energía que reciben para la evaporación, de modo que dejan menos energía para calentar el aire. Por otro lado, las masas de aire frío que trae consigo el friaje (**cap. I, fig. 20**) pueden enfriar el aire varios grados por debajo de la temperatura normal.



1.3.5. Los controladores de la temperatura

Existen cuatro factores importantes que explican por qué las temperaturas varían de un lugar a otro: la latitud, la distribución de las masas de tierra y agua, las corrientes oceánicas y la altitud. Si bien la temperatura del aire está determinada por

la cantidad de radiación solar que alcanza la superficie —y esta depende de las horas de sol—, la **latitud** es el controlador de temperatura más importante, porque tanto la intensidad de la radiación como las horas de sol dependen de ella. Entonces, ya que las horas de sol dependen de la latitud (**tabla 7**), también la temperatura del aire está condicionada por ella.

Latitud	22 de setiembre	21 de diciembre	20 de marzo	21 de junio
0° S	12 horas	12,0 horas	12 horas	12,0 horas
5° S	12 horas	12,3 horas	12 horas	11,7 horas
10° S	12 horas	12,6 horas	12 horas	11,4 horas
15° S	12 horas	12,9 horas	12 horas	11,1 horas
20° S	12 horas	13,2 horas	12 horas	10,8 horas
30° S	12 horas	13,9 horas	12 horas	10,1 horas
40° S	12 horas	14,9 horas	12 horas	9,1 horas
50° S	12 horas	16,1 horas	12 horas	7,9 horas
60° S	12 horas	18,5 horas	12 horas	5,5 horas
70° S	12 horas	2 meses	12 horas	0 horas
80° S	12 horas	4 meses	12 horas	0 horas
90° S	12 horas	6 meses	12 horas	0 horas

Tabla 7. Horas de sol. En diferentes días del año y para diferentes latitudes del hemisferio sur.¹⁰

En promedio, cuanto más nos alejamos del ecuador, la temperatura disminuye. Esto lo podemos comprobar con los datos de la **figura 48**, donde la temperatura promedio de Lima, que se encuentra más alejada del ecuador (lat. 12,1° S), es menor que la de Puerto Pizarro (Tumbes), que se halla más cerca del ecuador (lat. 3,5° S).

Por otro lado, cuanto más cerca nos encontramos de la línea ecuatorial, menor es la variación de la temperatura. Esta información también podemos comprobarla con los datos de la **figura 48**, en la cual vemos que la diferencia entre la temperatura más alta y la temperatura más baja en Puerto Pizarro (3,7 °C) es menor que la de Lima (7,5 °C). Esto significa que existe una mayor variabilidad de temperatura en la estación que se encuentra más lejos del ecuador (Lima).

Otro factor relevante en nuestro país son las **corrientes oceánicas (cap. I, fig. 12)**. Como sabemos, la corriente de Humboldt transporta masas de agua fría por el mar de la costa sur y central del Perú (hasta los 5° S, aproximadamente). Estas aguas frías disminuyen la temperatura del aire circundante y por tal razón no contamos con temperaturas tropicales en estas regiones. Por otro lado, la costa norte presenta aguas más cálidas y, debido a la corriente de El Niño, la temperatura del aire es mayor en esta región, tal como podemos observar en la **figura 48**, donde dos estaciones meteorológicas que se encuentran en la costa se ven afectadas por diferentes corrientes oceánicas. La estación de Lima, según su ubicación latitudinal y la corriente de Humboldt, presenta temperaturas significativamente más bajas que Puerto Pizarro, que recibe los efectos de la corriente de El Niño.

¹⁰Información obtenida con Daylight Hours Explorer (<http://astro.unl.edu/classaction/animations/coordsmotion/daylighthoursexplorer.html>).

Mes	Tumbes	Lima
Ene	26,6	23,0
Feb	27,2	23,8
Mar	27,3	23,4
Abr	27,0	21,6
May	26,3	19,2
Jun	25,2	17,3
Jul	24,1	16,5
Ago	23,6	16,3
Set	23,9	16,6
Oct	24,5	17,5
Nov	25,0	18,9
Dic	26,0	20,9
Prom.	25,6	19,6



Figura 48. Variación anual de temperatura (°C) en las estaciones de Puerto Pizarro (Tumbes) y A. Von Humboldt (Lima), periodo 1971-2000. Los valores en rojo muestran las temperaturas más altas y los valores en azul, las temperaturas más bajas.

Es importante destacar la importancia de la **distribución de las masas de tierra y agua**. Existe una diferencia en el comportamiento de la temperatura entre las localidades que se encuentran cerca de un cuerpo de agua y aquellas que se encuentran lejos de él. Esto se debe a que las propiedades del agua difieren de las propiedades del suelo. Cuando la radiación solar llega a la superficie del suelo, no penetra muy profundamente; en cambio, transmite el calor rápidamente al aire circundante. Por el contrario, la radiación que alcanza un cuerpo de agua es usada para la evaporación y penetra en capas más profundas de agua, en vez de calentar el aire. Así, el suelo superficial

se calienta muy rápido, pero también se enfría muy rápido; mientras que el agua se calienta lentamente, pero también se enfría lentamente. Esto significa que las temperaturas son más extremas en las localidades que se encuentran a la mitad del continente que en las localidades que se ubican cerca de un cuerpo de agua.

Debido a que nosotros poseemos una cordillera muy elevada, es difícil comparar las localidades que se ubican en la costa con otras que se encuentran lejos de esta porque sus temperaturas también se ven influidas por otros factores, como la altitud. Sin embargo, el lago Titicaca es un cuerpo de agua lo suficientemente grande como para influir en la temperatura de

las localidades aledañas. En la **figura 49**, podemos observar cómo la diferencia entre la temperatura más alta y la temperatura más baja en Juli (4,3 °C) es menor que la de Mazocruz (7,3 °C). Esto significa que existe una mayor variabilidad de temperatura

en la estación que se encuentra más lejos del lago Titicaca (Mazocruz). Además, la temperatura promedio de la estación que se encuentra cercana al lago (Juli) es mayor que la que se encuentra lejos de este (Mazocruz).

Mes	Juli	Mazocruz
Ene	9,5	8,0
Feb	9,5	7,6
Mar	9,4	7,5
Abr	8,9	5,9
May	7,3	2,9
Jun	6,0	1,0
Jul	5,7	0,7
Ago	6,7	1,8
Set	7,9	3,4
Oct	9,2	5,3
Nov	9,7	6,4
Dic	10	7,5
	↓	↓
Prom.	8,3	4,8

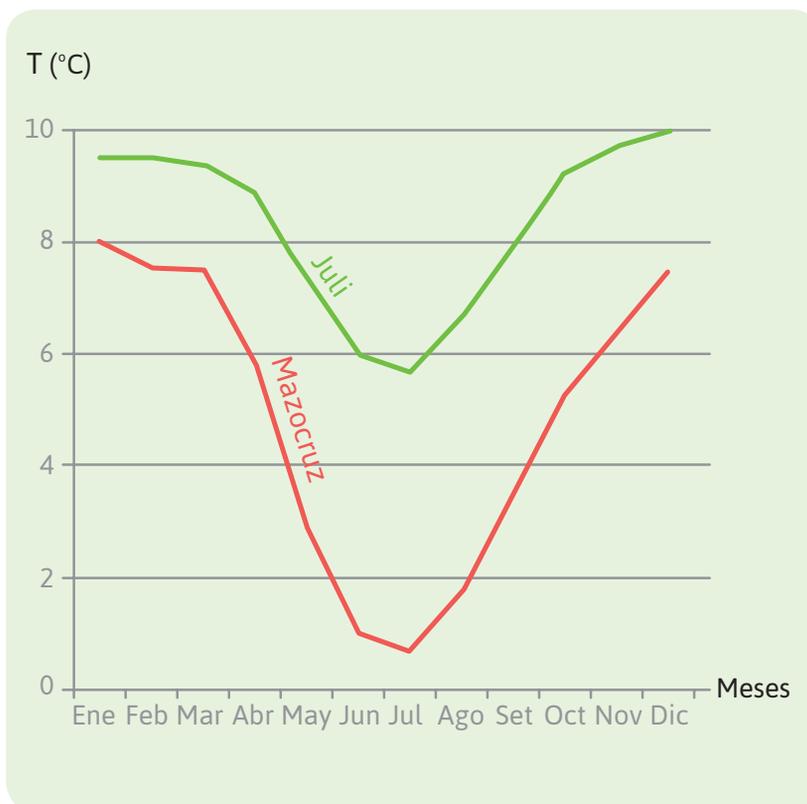


Figura 49. Variación anual de temperatura (°C) en las estaciones de Juli (localizada en las orillas del lago Titicaca) y Mazocruz (a 70 km del lago Titicaca, aproximadamente), periodo 1981-2010. Los valores en rojo muestran las temperaturas más altas y los valores en azul, las temperaturas más bajas.

Finalmente, debido a que la temperatura del aire disminuye con la **altitud (cap. II, fig. 28)**, las localidades que se encuentran a mayor altura presentan, en promedio, temperaturas más bajas que las localidades que se encuentran cerca del nivel del mar. Para probarlo, solo debemos dar un paseo por la carretera Central y atravesar la cordillera de los Andes.

Tomemos como ejemplo las estaciones de Ñaña (246 m s. n. m.), Matucana (2431 m s. n. m.) y Jauja (3360 m s. n. m.). Observamos en la **figura 50** que las localidades que se encuentran a una mayor altitud muestran, en promedio, temperaturas más bajas que las localidades que se hallan a menor altitud.

Mes	Ñaña	Matucana	Jauja
Ene	21,7	15,3	12,4
Feb	22,7	15,2	12,2
Mar	22,8	15,2	12,0
Abr	21,3	15,4	11,9
May	-	15,5	10,9
Jun	17,0	15,2	9,8
Jul	16,3	15,1	9,3
Ago	16,2	15,2	10,3
Set	16,7	15,5	11,6
Oct	17,6	15,7	12,3
Nov	19,0	15,5	12,6
Dic	20,3	15,5	12,6

	↓	↓	
Prom.	19,6	15,4	11,5

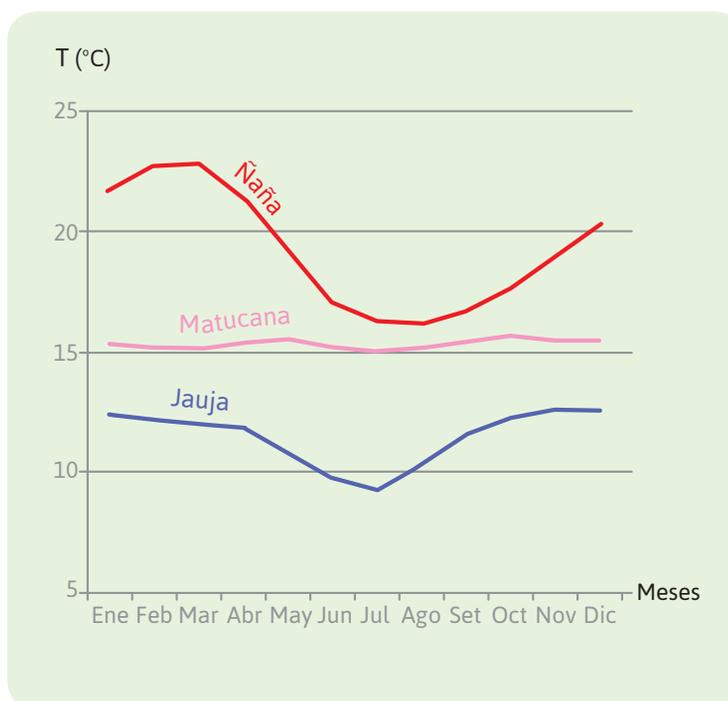


Figura 50. Variación mensual de la temperatura promedio (°C) en las estaciones de Ñaña, Matucana y Jauja, periodo 1971-2000. El valor faltante se debe a la ausencia de datos en la estación.

Entonces, para conocer todas estas características de nuestra localidad es importante aprender a trabajar con los datos de las estaciones meteorológicas y comprender los términos utilizados por los meteorólogos.



1.3.6. Las mediciones de la temperatura

Como vimos en la variación diurna de la temperatura (**figura 47**), podemos reconocer dos variables importantes: **la temperatura máxima** ($T_{\text{máx.}}$) y **la temperatura mínima** ($T_{\text{mín.}}$), es decir, la temperatura más alta y la temperatura más baja registradas en un día. En una estación meteorológica convencional (**cap. II, secc. 3.2.1.**), estas dos variables ($T_{\text{máx.}}$ y $T_{\text{mín.}}$) se obtienen directamente de los termómetros, mientras que en una estación automática estas variables se

obtienen reconociendo la temperatura más alta y más baja registradas cada minuto, generalmente, por el instrumento de medición.

Podemos extender estas variables y aplicarlas a diferentes periodos de tiempo. Por ejemplo, veamos la **tabla 8**. Podemos obtener la temperatura mínima mensual solo con determinar la menor temperatura mínima registrada durante el mes (datos en fondo celeste). De igual manera, podemos obtener la temperatura mínima anual, determinando la menor temperatura mínima mensual (dato en fondo azul).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1	6,6	10,2	9,4	10,4	5,4	3,8	3,8	4,8	7,2	9,4	5,4	10,0
2	9,2	9,0	11,0	10,0	8,6	4,8	3,4	4,2	6,4	-	5,2	8,4
3	8,6	10,4	11,2	9,2	7,0	8,6	3,6	3,6	5,0	6,8	6,0	9,6
4	10,2	10,8	9,2	9,0	7,2	4,4	3,2	4,0	4,6	9,6	7,0	-
5	7,8	11,4	11,4	10,6	6,6	5,6	4,2	4,8	4,8	8,8	7,8	6,0
6	7,4	10,6	10,4	8,4	7,0	5,4	6,8	5,0	4,4	10,2	6,2	10,2
7	10,6	9,6	10,2	10,0	7,6	4,6	7,6	5,4	5,8	8,4	7,0	7,8
8	10,8	10,4	9,0	8,4	8,0	5,4	5,8	5,6	5,4	9,6	9,2	10,2
9	9,8	10,8	10,0	10,2	10,4	5,0	5,4	5,2	7,2	5,8	7,8	9,4
10	8,0	11,4	9,4	10,4	6,4	4,6	5,0	4,4	6,4	7,0	8,6	9,8
11	7,8	9,8	10,4	10,8	9,0	3,4	4,2	5,2	4,4	9,6	7,2	9,2
12	10,0	8,0	11,0	10,6	8,0	5,2	4,4	4,8	4,0	7,6	4,8	10,0
13	9,4	7,4	9,4	9,2	6,4	4,0	3,8	5,4	5,0	8,4	5,2	9,2
14	7,2	6,4	9,6	8,4	5,2	3,2	4,2	5,2	5,4	9,0	2,4	6,8
15	6,8	10,4	8,8	7,4	6,8	3,8	4,8	6,0	7,4	7,2	4,0	9,6
16	6,4	7,4	10,6	10,0	6,6	1,8	5,0	5,2	6,8	7,6	3,6	10,8
17	9,8	10,6	8,6	8,8	11,0	2,8	4,8	5,0	5,8	8,8	3,2	9,4
18	9,6	9,6	8,8	8,2	2,2	2,6	4,4	6,0	7,8	7,4	5,6	7,4
19	10,4	9,2	7,8	10,2	4,4	3,8	4,2	7,6	7,2	7,2	4,4	9,2
20	10,8	12,4	9,8	8,0	7,2	3,8	2,4	6,6	8,0	8,2	3,2	8,2
21	11,2	10,4	10,8	7,4	4,2	4,6	3,0	5,4	6,4	6,2	2,8	9,0
22	9,0	11,4	8,8	7,0	9,0	4,8	2,4	6,0	7,0	6,0	3,8	9,8
23	11,2	11,0	11,2	9,4	7,8	4,2	2,8	6,2	8,2	6,6	3,6	7,0
24	7,4	10,8	12,2	10,2	7,2	4,4	3,8	6,8	7,6	6,2	5,0	8,6
25	12,0	11,2	-	10,4	7,0	3,8	4,2	5,4	8,8	6,4	6,8	8,4
26	11,0	11,4	11,4	7,2	7,2	4,0	4,4	5,0	5,8	7,0	7,4	7,8
27	8,8	10,2	12,2	6,8	4,6	6,8	4,0	4,8	6,0	5,0	6,2	10,6
28	11,2	10,0	11,0	7,0	6,2	6,2	3,4	5,8	7,2	6,0	7,2	10,2
29	10,8	9,8	10,2	7,2	5,2	5,4	4,4	4,6	7,4	7,8	7,8	10,0
30	10,6	-	8,0	5,0	4,8	4,2	2,8	4,8	7,6	5,8	9,2	7,8
31	10,8	-	9,4	-	4,6	-	4,6	6,6	-	5,6	-	9,2

	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
T mín. (°C) mensual	6,4	6,4	7,8	5,0	2,2	1,8	2,4	3,6	4,0	5,0	2,4	6,0

↑
T mín. anual

Tabla 8. Temperaturas mínimas (°C) diarias de Huaraz, 2016. Se determinan las temperaturas mínimas mensuales escogiendo la temperatura mínima más baja de cada mes (en celeste). La temperatura mínima anual se determina escogiendo la temperatura mínima mensual más baja del año (en azul) (SENAMHI).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1	24,2	21,0	24,0	23,4	24,8	24,2	25,4	25,4	24,8	23,8	26,6	23,2
2	26,0	22,4	22,8	22,0	24,4	24,0	24,4	23,2	25,0	23,8	26,0	26,8
3	25,4	20,2	24,0	22,2	24,2	23,8	24,0	25,2	25,2	25,4	25,2	25,0
4	25,0	20,0	24,8	23,6	24,6	24,2	25,4	23,8	25,4	24,4	26,4	23,2
5	24,6	23,4	23,2	24,6	24,4	24,8	24,8	25,6	25,6	24,6	23,0	25,8
6	24,4	25,2	20,4	23,8	24,6	24,0	24,2	26,0	26,6	22,8	26,4	21,4
7	25,4	24,4	16,8	25,6	25,0	22,8	25,0	26,2	26,8	25,0	26,6	23,2
8	25,0	23,8	22,8	26,4	23,2	22,4	25,4	25,4	28,0	25,4	27,2	22,6
9	25,4	24,2	24,4	25,8	24,2	22,2	24,0	26,0	26,8	24,8	27,0	22,8
10	25,0	22,6	23,0	24,6	24,0	24,4	24,6	24,8	26,0	26,0	26,4	21,2
11	24,6	23,2	21,0	22,4	24,8	24,8	24,8	24,6	26,0	23,8	26,6	24,8
12	25,6	24,0	24,6	23,4	24,4	23,6	24,6	25,8	27,4	24,2	26,2	24,6
13	26,0	25,2	24,8	24,4	24,6	23,6	24,4	25,6	25,6	24,0	26,6	26,0
14	26,2	25,6	25,8	24,2	25,4	25,2	25,4	26,6	26,4	23,8	25,0	25,2
15	27,4	25,0	24,8	25,0	26,4	24,2	24,8	26,8	24,0	24,8	23,4	26,6
16	27,2	25,4	26,4	22,0	25,6	25,4	24,0	25,8	25,4	24,2	24,4	21,8
17	24,8	24,4	26,2	24,2	25,0	25,6	24,2	25,4	24,8	25,2	25,4	26,8
18	24,6	24,6	26,4	23,2	25,0	24,6	25,2	26,2	26,8	25,6	24,6	25,4
19	25,4	26,6	25,4	22,4	24,8	24,0	24,6	25,4	24,8	25,4	24,8	22,4
20	25,0	27,0	25,4	21,8	25,0	23,4	24,0	26,2	25,0	24,8	25,0	22,8
21	24,2	25,6	23,6	25,6	22,4	25,0	25,2	25,6	24,8	24,4	25,6	23,4
22	25,2	26,2	26,0	25,8	24,4	24,8	25,4	26,2	25,4	24,6	26,4	19,4
23	25,8	22,6	23,4	23,6	23,8	24,6	25,0	26,0	26,6	26,0	26,0	20,8
24	27,4	23,8	26,4	24,2	23,8	25,4	25,2	26,4	26,8	25,6	26,4	22,2
25	22,0	24,2	-	25,2	25,0	25,0	26,0	26,4	22,2	25,8	25,8	25,4
26	24,2	24,0	26,8	25,5	26,2	24,4	26,2	24,6	24,6	24,6	26,0	25,4
27	25,2	24,6	21,6	25,4	24,8	22,8	25,2	25,4	24,4	23,8	26,4	24,0
28	24,6	25,6	23,8	24,2	24,6	24,2	25,4	25,2	24,8	24,8	26,6	22,4
29	22,0	25,0	23,8	25,2	24,4	25,2	24,4	25,6	26,4	25	28,2	23,4
30	21,6	-	24,4	25,4	25,4	25,0	24,8	25,4	26,0	26,2	24,4	23,8
31	22,4	-	25,0	-	25,0	-	24,6	24,8	-	25,8	-	20,4

	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
T máx. (°C) mensual	27,4	27,0	26,8	26,4	26,4	25,6	26,2	26,8	28,0	26,2	28,2	26,8

↑
T máx. anual

Tabla 9. Temperaturas máximas (°C) diarias de Huaraz, 2016. Se determinan las temperaturas máximas mensuales escogiendo la temperatura máxima más alta de cada mes (en rosado). La temperatura máxima anual se determina escogiendo la temperatura máxima mensual más alta del año (en rojo) (SENAMHI).

En la **tabla 9**, trabajamos del mismo modo con las temperaturas máximas: reconocemos la temperatura más alta del mes (datos en fondo rosado) y luego la temperatura máxima más alta del año (datos en fondo rojo).

Existe una variable importante denominada **temperatura media**, que se obtiene calculando el promedio de la temperatura máxima y la temperatura mínima del día

(**figura 51 [a]**). También podemos obtener la temperatura media mensual promediando las temperaturas medias diarias del mes (**figura 51 [b]**), y la **temperatura media anual** promediando las temperaturas medias mensuales (**figura 51 [b]**).

Finalmente, existe una variable, muy usada en la meteorología, que nos informa cuánto varían las temperaturas en nuestra localidad: el rango de temperatura.



Figura 51. Temperaturas medias (°C) diaria, mensual y anual de Huaraz, 2016. [a] Cálculo de la temperatura media diaria (se calcula promediando la temperatura máxima y la temperatura mínima del día) y de la temperatura media mensual (se calcula promediando las temperaturas medias diarias); **[b]** la temperatura media anual (se calcula promediando las temperaturas medias mensuales); **[c]** variación de la T máx., T media y T mín. (SENAMHI).

1.3.7. El rango de temperatura

La diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura mínima de un día en particular se conoce como **rango de temperatura diurno**.

Rango diurno de T = T máx. - T mín.

Esta variable, por extensión, también puede ser anual. El **rango de temperatura anual** se obtiene restando la temperatura máxima del mes más cálido menos la temperatura mínima del mes más frío (**tabla 10**, en amarillo); en otras palabras, restando la temperatura mínima mensual más baja de la temperatura máxima mensual más alta.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
T máx. (°C)	27,4	27,0	26,8	26,4	26,4	25,6	26,2	26,8	27,4	26,2	28,2	26,8
T mín. (°C)	6,4	7,4	7,8	7,0	4,2	1,8	2,4	3,6	4,0	5,0	2,4	6,0

$$\begin{array}{rcl}
 \mathbf{28,2} & - & \mathbf{1,8} & = & \mathbf{26,4} \\
 \text{T máx. mensual} & - & \text{T mín. mensual} & = & \text{Rango anual de} \\
 \text{más alta} & & \text{más baja} & & \text{temperatura}
 \end{array}$$

Tabla 10. Cálculo del rango de temperatura (°C) anual en Huaraz, 2016. Según SENAMHI.

Esta variable nos indica cuánto han variado las temperaturas durante el día o durante el año, respectivamente. Dicha información es de suma importancia porque nos permite conocer las condiciones de tiempo que enfrentaremos. Por ejemplo, si el rango de temperatura diurno es muy grande (ej.: 15 °C), significa que durante el día tendremos que tolerar temperaturas muy altas y muy bajas durante la noche; entonces, necesitaremos ropa ligera de día, pero ropa abrigadora de noche. Por otro lado, si el rango de temperatura media anual es pequeño, significa que durante todo el año la temperatura media mensual no ha variado mucho con las estaciones. Pero cuidado, eso no significa que el rango de temperatura diurno no pueda ser grande en Huaraz. Debemos diferenciar ambos rangos de temperatura: uno es para ver cuánto varía la temperatura media durante el día en enero (21 °C) y el otro es para saber cuánto varía la temperatura durante el año (26,4 °C).

Los rangos de temperatura diurnos más grandes ocurren en los desiertos, donde los cielos despejados permiten que la superficie se caliente y se enfríe rápidamente. Allí las temperaturas máximas sobrepasan los 35 °C, mientras que las temperaturas mínimas están por debajo de los 5 °C, de modo que resulta en un rango de temperatura diurno mayor a 30 °C. Por otro lado, los rangos de temperatura anual más grandes ocurren en altas latitudes (**cap. II, secc. 1.3.5.**). Por ejemplo, en Gobernador Gregores (48,8° S), Argentina, la temperatura media en enero (verano) es de aproximadamente 15,5 °C y la temperatura media en julio (invierno) es de 1,5 °C; esto implica un rango de temperatura anual de 14 °C. Mientras, en Quito (0,2° S), Ecuador, la temperatura media en mayo es 14,1 °C, la temperatura media en junio es 13,6 °C, esto conlleva un rango de temperatura anual de 0,5 °C, en otras palabras, no existe variación de temperatura.

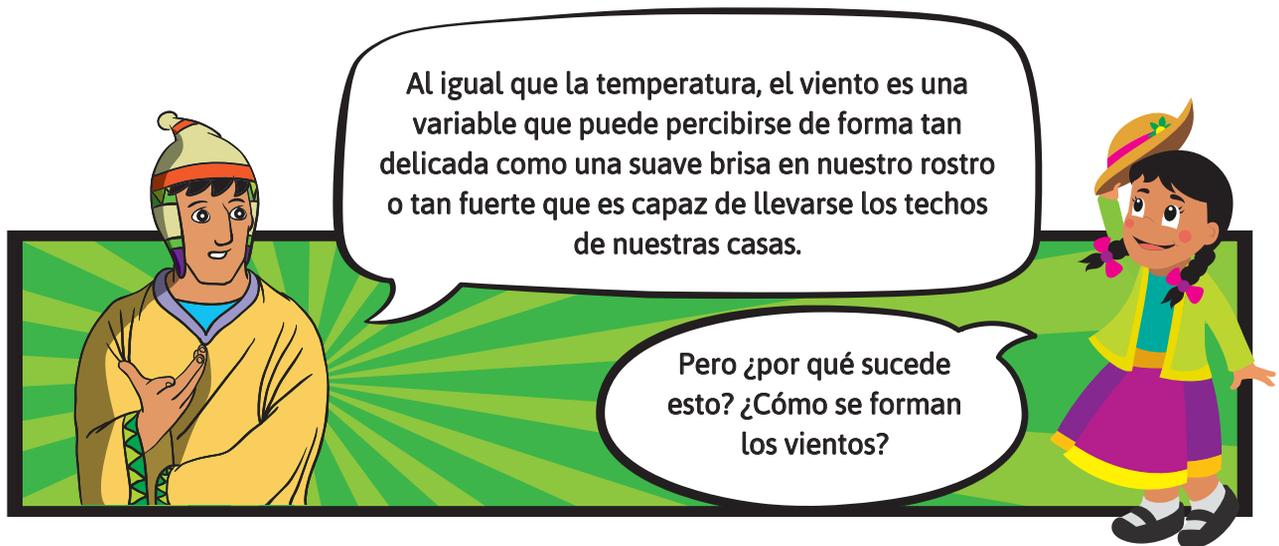
La temperatura es una importante variable meteorológica porque es la más sencilla de obtener, entender y procesar. Además, influye en el comportamiento

de otras propiedades de la atmósfera y explica de forma sencilla las condiciones de nuestra localidad.



Autoevaluación

- Explica por medio de un gráfico la diferencia entre temperatura y calor.
- Explica brevemente los mecanismos de transferencia de calor y determina cuál de ellos permite que el calor se transfiera de regiones cálidas a regiones polares.
- ¿Cuál es el efecto de la nubosidad en la temperatura del aire?
- La ciudad de Puno se encuentra a las orillas del lago Titicaca a 3840 m s. n. m., y la ciudad de Azángaro, a 55 km del cuerpo de agua principal del lago y a 3863 m s. n. m. En teoría, ¿cuál de estas ciudades presentará la temperatura máxima más alta y cuál la temperatura mínima más baja? ¿En cuál de ellas existiría una mayor variación de la temperatura diaria? Justifica tu respuesta.
- Las localidades de Camaná (Arequipa), Pampa de Majes (Arequipa), y Ubinas (Moquegua) se encuentran a altitudes de 15 m s. n. m., 1434 m s. n. m. y 3491 m s. n. m., respectivamente. Además, se encuentran casi a la misma latitud. En teoría, ¿cuál de estas localidades presenta una menor temperatura media? ¿Por qué?



1.4. La presión atmosférica y el viento

El movimiento del aire depende de distintas variables, pero principalmente de la presión atmosférica. Aunque esta no es una variable que se pueda percibir con frecuencia, es muy importante porque ayuda a determinar el comportamiento de otras variables.

La **presión atmosférica** se puede definir simplemente como la presión que ejerce la masa de aire que se encuentra sobre nuestras cabezas. Si bien no podemos ver o sentir el aire que nos rodea, sabemos que está allí porque podemos respirarlo. Como todas las cosas en este planeta, el aire también posee masa, es decir, se puede

pesar. Esta pesada masa de aire que rodea la Tierra, a la cual llamamos atmósfera, se encuentra sobre nosotros ejerciendo una fuerza que nos aplasta. Entonces, la fuerza que ejerce una masa de aire sobre nosotros es lo que conocemos como presión (**figura 52**).

Sin embargo, para medir la presión atmosférica tenemos que ser más específicos. Diremos, entonces, que es la fuerza que ejerce una columna de aire

$$P = \frac{F}{A}$$

Donde:

P = presión atmosférica
F = fuerza de la masa de aire en newton ($N = kg \cdot m/s^2$)
A = área en $m^2 = 1 m^2$

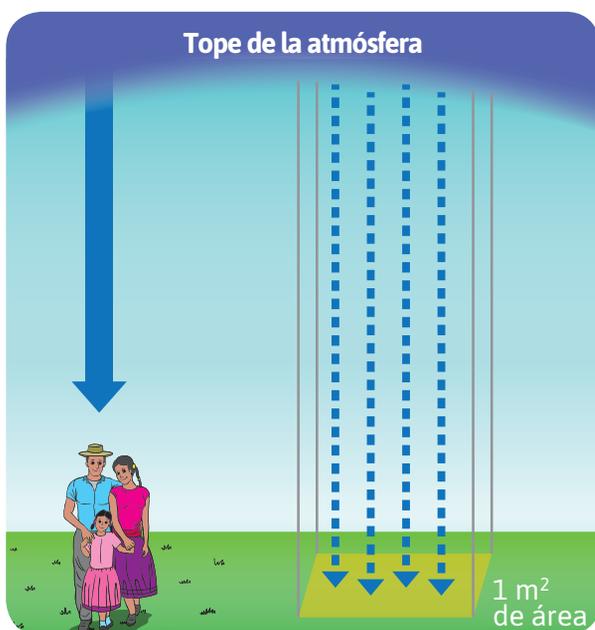


Figura 52. Presión atmosférica

sobre un área determinada de $1 m^2$. Así, la fórmula es la siguiente:

Pero sabemos que $F = m \cdot g$

$$P = \frac{m \cdot g}{m^2}$$

Unidades: pascal (Pa) = $\frac{N}{m^2}$

Donde, en el caso de la presión atmosférica, m es la masa y g la gravedad. Entonces:

Entonces, la presión atmosférica depende de la cantidad de masa de aire. Además,

$$P = Re \cdot T \cdot \rho$$

Donde:

T = temperatura del aire
 ρ = densidad del aire
Re = constante de gas específico

sabemos que la presión está relacionada con la temperatura y la densidad del aire por medio de la ley de gases (**sección 1.3.**).

Esto significa que si una de estas variables cambiaran, las otras dos también lo harán. Por ejemplo, si mantenemos la temperatura constante, la presión del aire será proporcional a su densidad; es decir, cuanto mayor es la densidad, mayor también es la presión. Por otro lado, si mantenemos la presión constante, entonces la temperatura será inversamente proporcional a la densidad, lo que significa que si la temperatura del aire aumenta, su densidad

disminuirá. Estas relaciones explican la variación de la presión atmosférica respecto a la altitud ya distintos puntos sobre una misma superficie horizontal (distribución horizontal de la presión).

1.4.1. La variación de la presión atmosférica con la altitud

Ya que la presión atmosférica depende del peso de la masa de aire que se encuentra sobre nosotros ($P = F/A$), podemos deducir que a diferentes alturas esa masa de aire será diferente; por tanto, la presión atmosférica también lo será (**figura 53**).

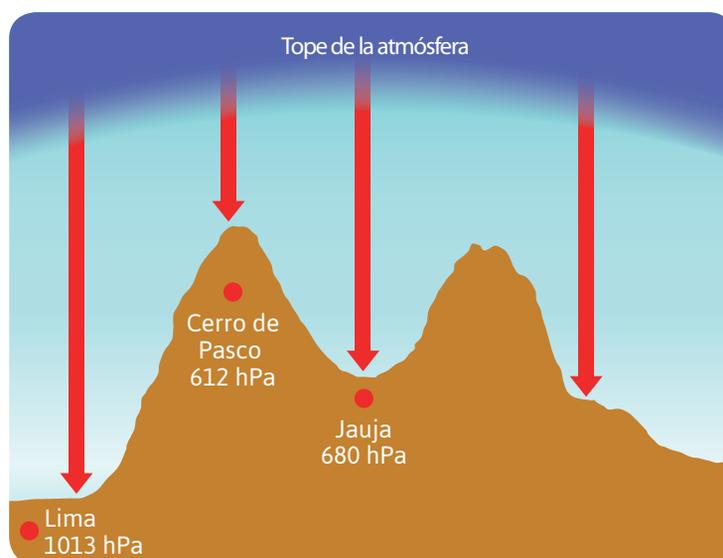


Figura 53. Variación de la presión atmosférica con la altura

A mayor altitud, la columna de aire es más pequeña, lo que significa una menor masa de aire y en consecuencia una menor presión atmosférica.

$$P = T \cdot \rho \cdot Re$$

Además, existen menos moléculas de aire a mayor altitud, y este aire es menos denso; por tanto, la presión atmosférica es menor.

Por ello, la presión a nivel del mar es de 1013 hPa (hectopascales¹¹) y en Cerro de Pasco (4330 m s. n. m.) es de 612 hPa, aproximadamente.

Entonces, la presión atmosférica disminuye con la altura, como vimos en la **figura 28**. De esta manera, si conocemos la presión de un lugar, podemos determinar su altitud aproximada. De hecho, los meteorólogos consideran algunos niveles mandatorios de presión (**tabla 11**) y estos les proporcionan información de su altitud aproximada en atmósfera libre. A estos niveles mandatorios, los meteorólogos analizan los datos obtenidos a través de las radiosondas (**cap. II, secc. 2.3.**).

¹¹ Un hectopascal es igual a 100 pascales. Ver **anexos 5 y 6.**

Presión hPa	Altitud m
1000	50
925	750
850	1500
700	3000
500	5500
400	7000
300	9100
250	10 500
200	12 000
150	13 600
100	16 100

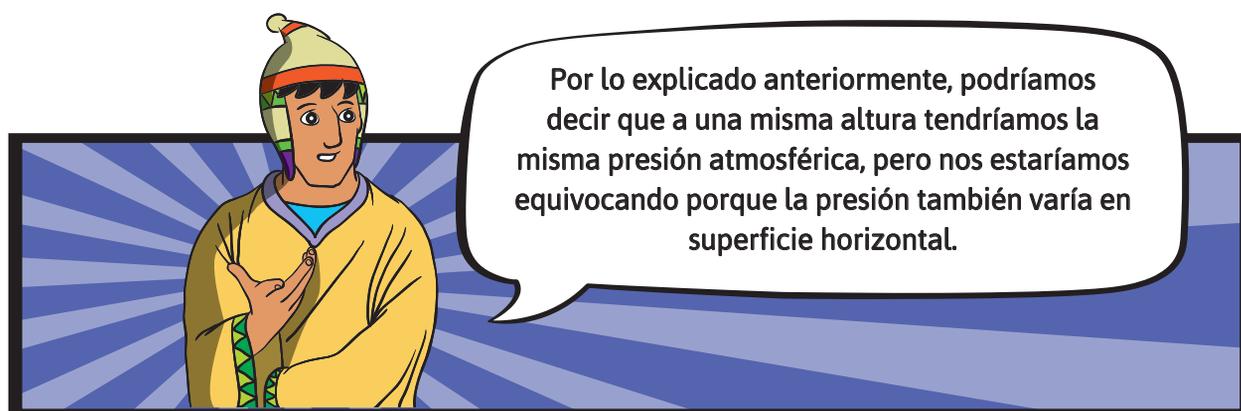
< 1084 hPa: mayor presión a nivel del mar registrada en Agata, Siberia (dic, 1968).

< 870 hPa: menor presión a nivel del mar registrada en Tifón Tip (oct, 1979).

Tabla 11. Niveles mandatorios de presión y su altitud aproximada

Hasta ahora hemos descrito la presión como el efecto que ejerce una masa de aire que se encuentra sobre un nivel en particular. Pero en realidad, la presión es la fuerza que ejercen las moléculas de aire sobre un área en particular. Esta fuerza se ejerce igualmente en todas direcciones y nos afecta, pero no la podemos percibir fácilmente porque las moléculas de nuestro cuerpo responden a esta presión empujando en dirección contraria.

Sin embargo, sí podemos notar el efecto de la presión cuando viajamos a través de los Andes. Si viajamos de la sierra a la costa, nos movemos hacia niveles más bajos rápidamente, lo que puede causar que nuestros oídos se tapen. Esto ocurre porque al bajar de altitud la presión aumenta, pero dentro de nuestros oídos la presión aún continúa baja. Entonces, nuestros oídos empiezan a tronar para tratar de igualar la presión de la nueva altura en la que nos encontramos.



1.4.2. La distribución horizontal de la presión

Recordemos que la presión depende del peso de la columna de aire: si el peso aumenta, la presión se incrementa; si el peso disminuye, la presión también. Entonces, la pregunta que surge es la siguiente: si nos encontramos a la misma altura, ¿cómo puede cambiar el peso de la misma columna de aire?

Observemos la **figura 54**. Las columnas de aire son iguales porque se encuentran a la misma altura. Sin embargo, la columna roja está llena de aire caliente; y la columna azul, de aire frío. Sabemos que las moléculas del aire frío se encuentran más juntas, lo que hace el aire más denso; esto significa que será más pesado. Por el contrario, el aire caliente es menos denso porque sus moléculas se encuentran más separadas unas de otras, lo que implica que será menos pesado. En otras palabras, aunque la columna de aire es igual, la azul es más pesada que la roja porque contiene mayor número de moléculas; por tanto, en el punto A la presión será mayor que en el punto B. Visto desde otra perspectiva, podríamos decir que una columna pequeña de aire frío puede ejercer la misma presión que una columna alta de aire caliente.

Entonces, el aire es más denso sobre un área de alta presión y menos denso en áreas de baja presión. Esto significa que la densidad del aire debe cambiar para formar áreas de alta o baja presión. Y ya que la densidad está relacionada con la temperatura, podemos decir que las áreas de baja presión son zonas cálidas, mientras que las áreas de alta presión son zonas frías.

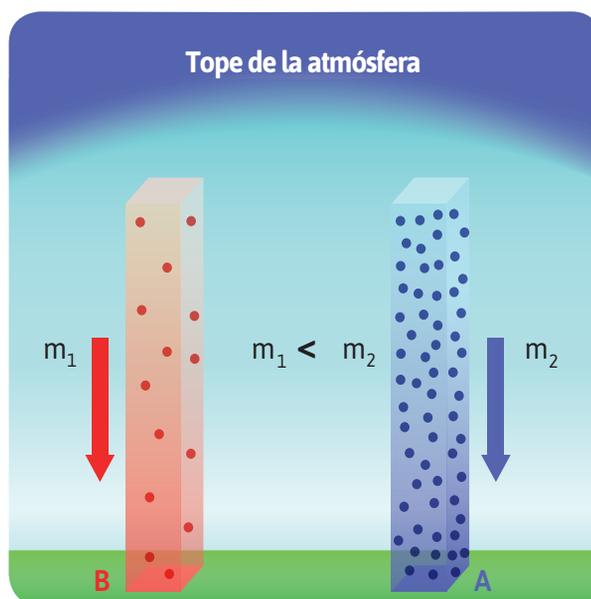


Figura 54. Variación de la presión atmosférica al mismo nivel de altura

Los meteorólogos señalan en mapas las zonas de baja presión con una **B** y las zonas de altas presiones con una **A** (**figura 55**). Las zonas de baja presión se conocen como ciclones y las zonas de alta presión como anticiclones.

Otro importante aspecto del mapa es la distribución de las líneas de presión (isóbaras¹²). Las zonas en que se observan las isóbaras muy juntas representan áreas donde la presión cambia rápidamente en la superficie horizontal, mientras que en las áreas con isóbaras muy separadas la presión casi no cambia. Este cambio de presión por unidad de distancia se conoce como gradiente de presión. Entonces, los lugares donde existe un cambio rápido de presión (isóbaras muy juntas) se conocen como áreas con un alto gradiente de presión.

Haciendo uso de estos mapas, tendremos una idea del comportamiento de la temperatura y también del viento.

¹²Las isóbaras son líneas que pasan por donde existe la misma presión.

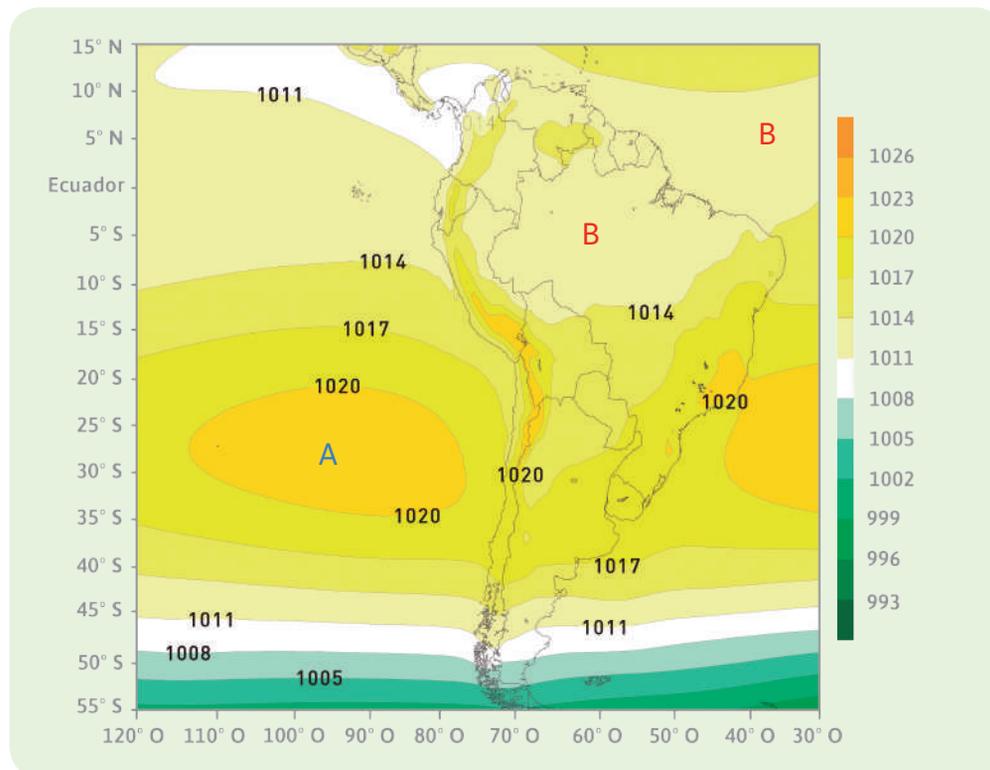


Figura 55. Líneas de presión. Mapa que muestra las líneas de presión (isóbaras) y las zonas de altas y bajas presiones



1.4.3. El viento

El viento es el movimiento del aire que resulta de la diferencia de presiones. Las masas de aire, por lo general, se desplazan desde una zona de alta presión hasta una zona de baja presión. Cuando la diferencia de presiones es muy grande (alto gradiente de presión), la velocidad del viento es alta; y cuando la diferencia de presiones es pequeña (bajo gradiente de presión), la velocidad del viento es baja.

Como podemos observar en la **figura 56**, el viento se representa con una línea con apéndices conocida como barba de viento. La línea principal indica la dirección del viento (desde donde está soplando); y

los apéndices, la magnitud. La dirección del viento sigue las reglas de la rosa de viento (**figura 57**): norte (arriba, N), sur (abajo, S), este (derecha, E) y oeste (izquierda, O). La magnitud, por otro lado, se presenta en la **figura 56**.

En el hemisferio sur los vientos se mueven como las agujas de un reloj en dirección al centro de una baja (B); y contrarios a las agujas de un reloj fuera del centro de una alta (A). Como podemos observar, el viento no se mueve directamente de una zona de alta presión a una zona de baja presión. Esto se debe a que el viento está controlado, además, por otros factores, como el gradiente de presión, el efecto Coriolis y la fricción.

El gradiente de presión está relacionado con la velocidad del viento. Así:

$$\text{Gradiente de presión} = \frac{\text{diferencia de presiones}}{\text{distancia}} = \frac{(P_1 - P_2)}{d}$$

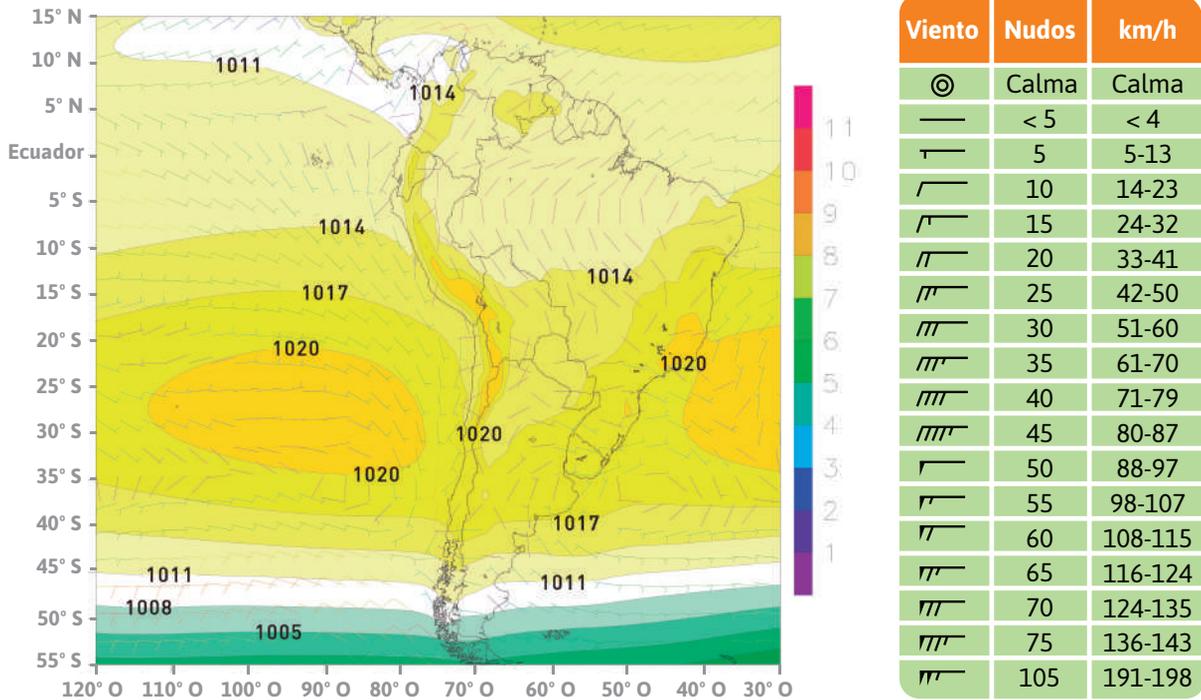


Figura 56. Representación del viento. Dirección y magnitud de vientos y su relación con la presión atmosférica.

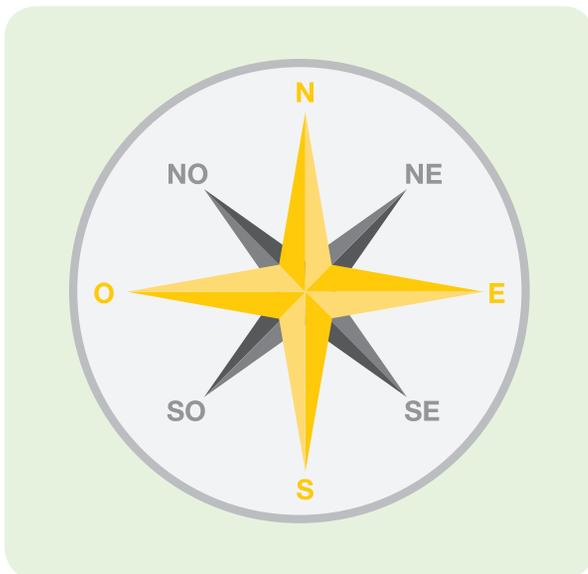


Figura 57. Rosa de viento

Si consideramos la distancia como una constante (ej.: 100 km), entonces el gradiente de presión será mayor cuando la diferencia de presiones sea mayor. Si el gradiente de presión es alto, los vientos se aceleran. Por otro lado, si las presiones P_1 y P_2 son similares, el gradiente de presión será inexistente; esto es, una velocidad de viento cercana a 0 (calma).

El **efecto Coriolis** influye en la dirección del viento. Por medio de él se explica que debido al movimiento de rotación de la Tierra (de izquierda a derecha), cualquier desplazamiento de norte a sur o de sur a norte parecerá ser desviado (**figura 58**).

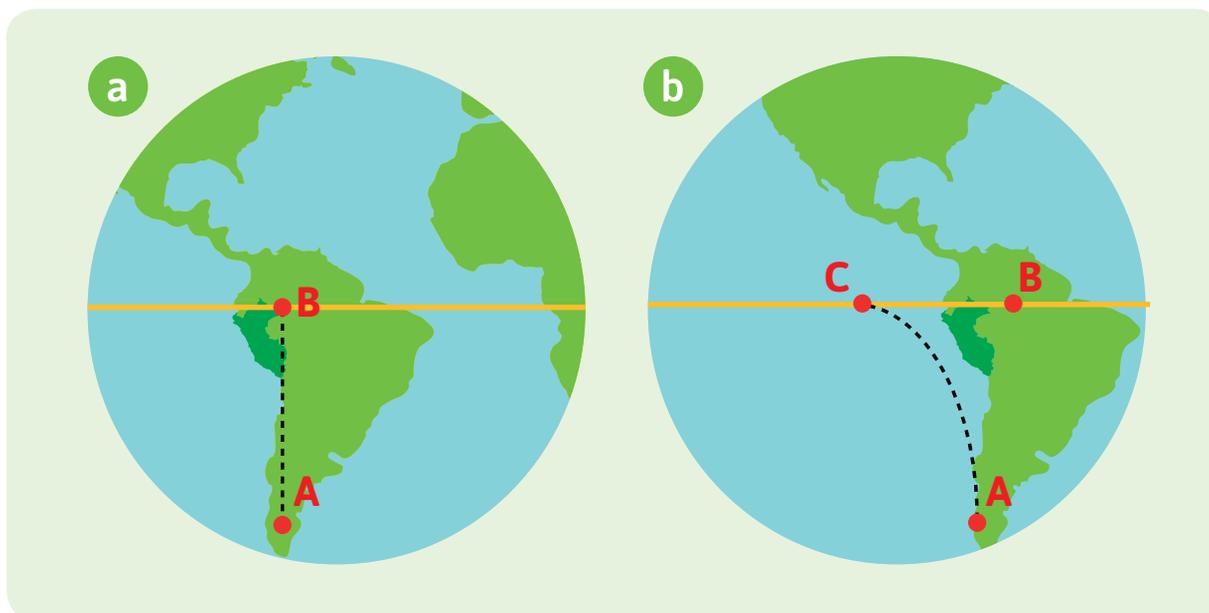


Figura 58. Efecto Coriolis. [a] Movimiento en línea recta si la Tierra no rotara; [b] trayectoria desviada aparente debido al movimiento de rotación de la Tierra.

En el caso hipotético de que la Tierra no rotara (**figura 58 [a]**), el punto rojo, al moverse en línea recta, alcanzaría la posición B. Sin embargo, la Tierra tiene un movimiento de rotación (**figura 58 [b]**); por tanto, mientras el punto rojo se está desplazando en línea recta hacia el norte, la Tierra continúa su rotación; esto hace que finalmente el punto rojo termine en la posición C en vez de la posición B. El desplazamiento aparente hacia la izquierda, que crea una trayectoria curva, se conoce como el efecto Coriolis.

Entonces, el efecto Coriolis causa que el viento se desvíe hacia la izquierda en el hemisferio sur. Debemos tener en cuenta que para que el efecto sea significativo, los vientos tienen que recorrer grandes distancias.

La fricción afecta la velocidad de los vientos en la superficie. Cabe agregar que el efecto de la fricción es menor a mayor altura y que en la superficie la fricción disminuye la velocidad del viento. Entonces, por lo general, el viento aumenta su velocidad con la altitud.

En la superficie los vientos también se ven afectados por los obstáculos. Si bien los vientos son un intento de la atmósfera por equilibrar su temperatura, cuando el viento se topa con un obstáculo, desvía su dirección. En el caso de nuestro país, la fisiografía de los Andes crea un complejo patrón de vientos de superficie. Los vientos suben las montañas, bajan las montañas, soplan paralelos a los valles interandinos e, incluso, se filtran por las quebradas y los cañones.

Si bien en superficie los vientos pueden lucir caóticos, existe un flujo del aire promedio alrededor de la Tierra que se conoce como **Circulación General de la Atmósfera**.



1.4.4. La circulación general de la atmósfera

En el mundo real el flujo del aire es complejo. Por esta razón, usaremos modelos¹³ que expliquen de una forma sencilla el movimiento promedio de las masas de aire. Primero debemos decir que, en general, el aire se desplaza de un lugar a otro en un intento por equilibrar las diversas temperaturas entre diferentes regiones de la Tierra. Esto se debe a que la radiación solar no llega por igual a todas partes del planeta, por lo que los trópicos se calientan mucho más que los polos (**cap. II, secc. 1.2. y 1.3.**). Entonces, la atmósfera transporta aire caliente hacia los polos y aire frío hacia los trópicos.



Vamos a empezar por un modelo básico, de una sola célula de circulación (**figura 59**). Para ello, tenemos que imaginar que la Tierra está cubierta solo de agua, que no se encuentra inclinada (es decir, que no posee estaciones) y que no rota. De esta manera, evitamos la diferencia de temperaturas entre suelo y agua, la diferencia de temperaturas estacionales y la desviación de los vientos por el efecto Coriolis.

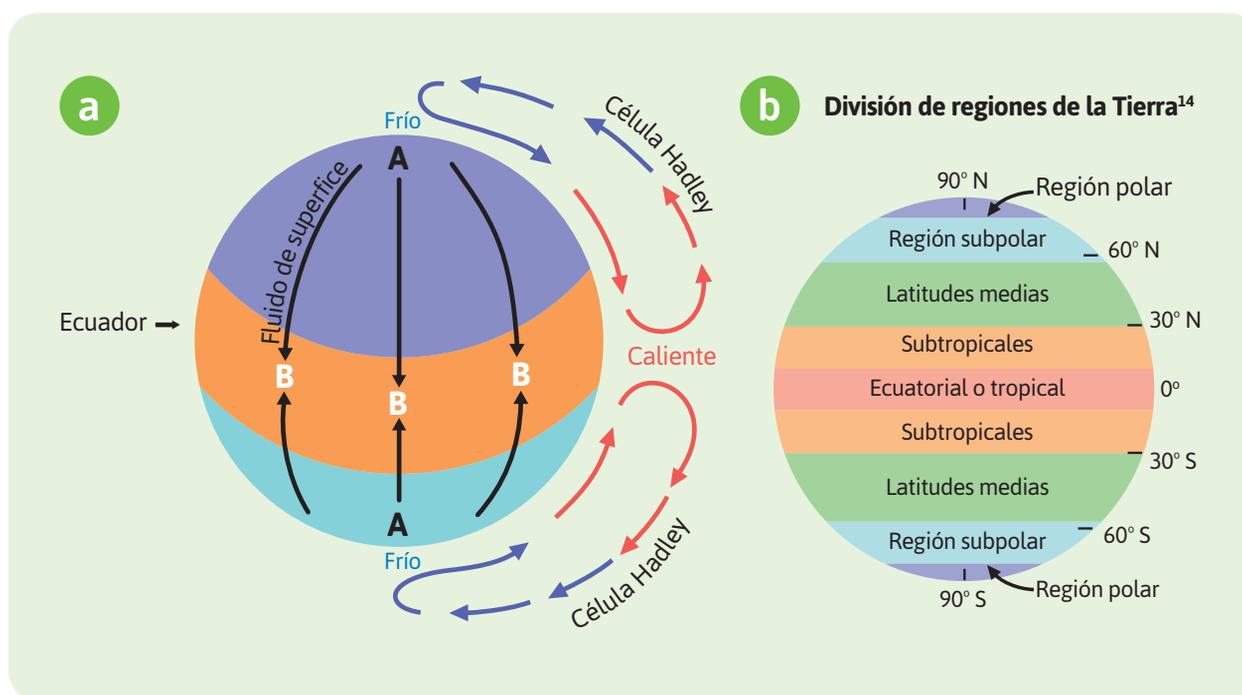


Figura 59. Modelo de circulación atmosférica de una sola célula

Esta circulación de una sola célula se conoce como **célula de Hadley**, que no es más que una célula de convección en cada hemisferio (**figura 45**). De acuerdo con

el modelo, en la superficie de la Tierra el aire frío de los polos crea una zona de alta presión, y el aire caliente de los trópicos, una zona de baja presión. Debido a esta

¹³ Los modelos son representaciones simplificadas de la realidad en las que se obvian algunas propiedades o características para que la realidad sea más fácil de entender.

diferencia de presiones el viento transporta aire frío de los polos hacia los trópicos (de la alta hacia la baja). En su camino hacia el ecuador, el aire frío desplaza el aire caliente de los trópicos. Este aire caliente se traslada a alturas superiores debido a su baja densidad y luego se dirige hacia los polos. Ya en los polos, el aire se enfría, su densidad aumenta y se desplaza hacia la superficie empezando nuevamente el ciclo. En este tipo de circulación existe aire caliente ascendente en los trópicos y aire frío descendente en los polos. De

esta manera, el intercambio de calor entre ambas regiones permite disminuir el déficit de calor de los polos.

Si bien el modelo de la célula de Hadley permite explicar de forma sencilla la circulación promedio de la atmósfera, este no es un modelo que se aplique a la Tierra que posee movimiento de rotación. Por esta razón, presentamos ahora un modelo de tres células (**figura 60**). En él la Tierra rota, pero aún tenemos que asumir que la Tierra está cubierta de agua y que no es inclinada.

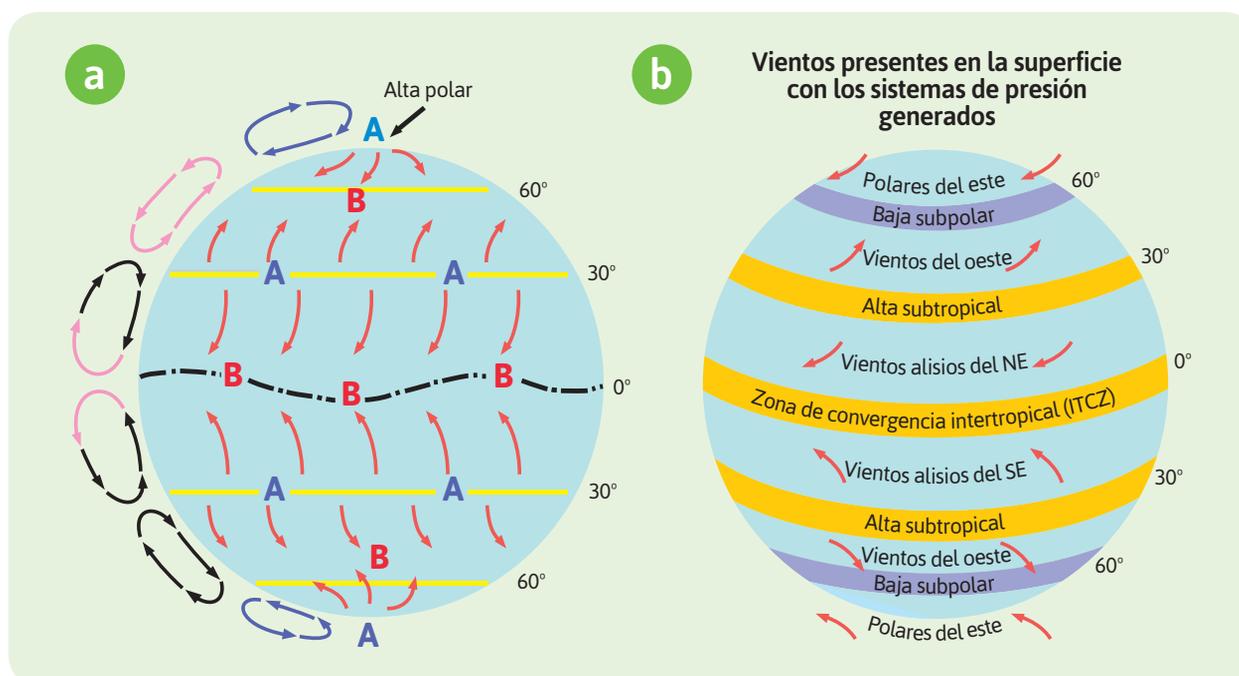


Figura 60. Modelo de circulación atmosférica de tres células

Al rotar la Tierra, la célula de Hadley se fragmenta en varias células. Debido a que los polos aún reciben menor cantidad de radiación solar, aún existen zonas de alta presión. De igual forma, la zona de baja presión continúa en el trópico debido a que recibe mayor cantidad de radiación solar. Por esta razón, las células de circulación que se encuentran en los trópicos y en los

polos se parecen a la célula de Hadley, porque aún transportan aire caliente hacia regiones más frías (hasta los 30° de latitud aproximadamente) y aire frío hacia regiones más cálidas (hasta los 60° de latitud aproximadamente).

En el trópico, el aire es caliente y asciende a los niveles más altos de la tropósfera para luego condensarse y producir nubes

¹⁴ Para tener una idea más completa de cuáles son las regiones de la Tierra, ver **anexo 7**.

de gran desarrollo vertical. Dicha región es conocida como la **zona de convergencia intertropical**. Estas nubes de tormenta se dirigen hacia el norte y sur, transportando calor en su interior o calor latente (**cap. II, secc. 1.3.2.**). A esta gran altitud, el aire se enfría y desciende hasta cerca de los 30° latitud norte y sur, generando en la superficie una zona de alta presión (**alta subtropical**). Aquí, el aire de la superficie se dirige al trópico, hacia la baja, y también hacia los polos. El viento que se dirige hacia el trópico se desvía hacia la izquierda en el hemisferio sur, por efecto Coriolis, y crea los vientos alisios o del este. El viento que se dirige hacia los polos también se desvía, creando vientos del oeste en la superficie. El aire que se dirige hacia los polos no es tan caliente como el de los trópicos, pero es mucho más caliente que el de esas zonas (los polos). De esta manera, se transporta calor a regiones más frías, pero en la superficie. Sin embargo, este aire tibio no llega a los polos. En su camino se encuentra con el viento que viene de los polos, alrededor de los 60° de latitud, y crea una zona de convección (**baja subpolar**). En esta baja se generan nuevamente nubes de tormenta

por la ascensión de aire cálido; una vez que el aire se encuentra en los niveles más altos de la tropósfera, una parte se dirige hacia el norte y otra parte se dirige hacia los polos. A esta altitud, los vientos que se dirigen hacia los trópicos se encuentran con los vientos que se dirigen a los polos de la célula que se encuentra en los trópicos. Por otro lado, los vientos que se dirigen hacia los polos transportando aire tibio se enfrían y descienden a la superficie. Una vez en la superficie, el viento se dirige hacia las zonas de baja presión, pero debido al efecto de Coriolis, se desvía y genera una zona de vientos del este. De esta manera se cierra el ciclo de la circulación atmosférica.

Es así como la presión, la temperatura y el viento están relacionados. Por ello, si observamos un mapa de presiones como el de la **figura 55**, podemos deducir cómo se distribuyen la temperatura y la dirección y magnitud de los vientos.

Este modelo explica mejor las condiciones que se observan en la Tierra. Si bien la circulación real de la atmósfera no sigue el modelo a la perfección, este explica la presencia de los sistemas de presión y vientos en la superficie.



Autoevaluación

- Por medio de un gráfico, explica por qué a una misma altura podemos tener diferentes valores de presión atmosférica.
- ¿Qué es el gradiente de presión y cómo influye en el viento?
- Explica el efecto de Coriolis en el hemisferio sur, dibujando una masa de aire que se dirige hacia los trópicos y otra masa de aire que se dirige hacia los polos.
- Sabemos que en los trópicos el aire es mucho más caliente que en los polos. Entonces ¿hacia dónde se dirigirá el viento? Justifica tu respuesta.

1.5. El ciclo del agua

Otras importantes variables meteorológicas son la precipitación, la humedad y la cantidad de nubes en el cielo. Vamos a

estudiarlas en conjunto porque estas variables en realidad son parte de lo mismo: agua en diferentes estados que forman parte del ciclo más importante de nuestro planeta, el ciclo del agua (**figura 61**).

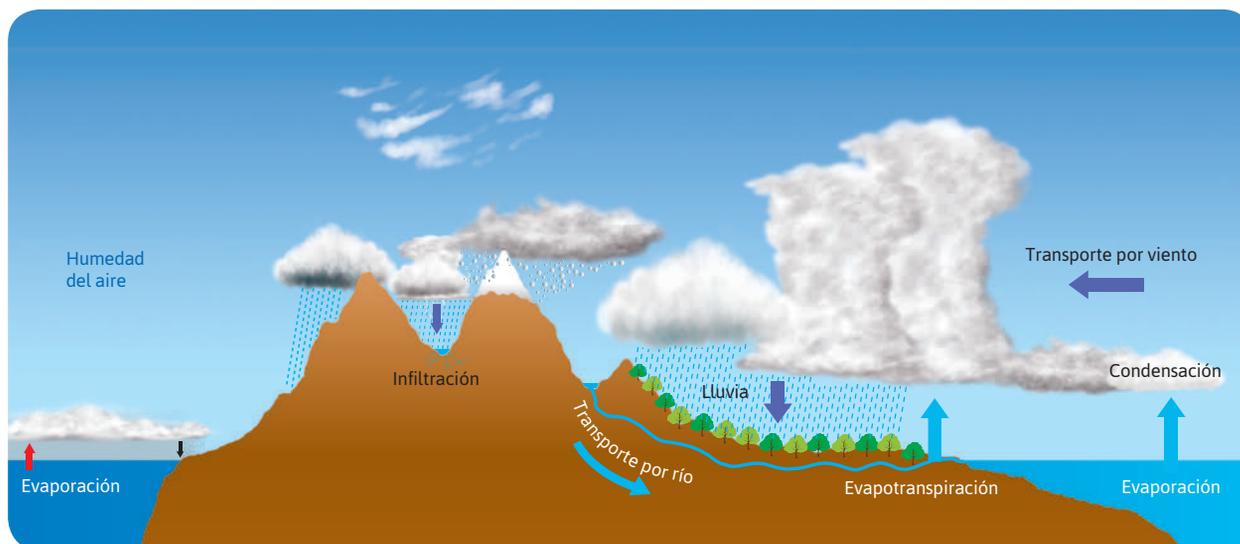


Figura 61. El ciclo del agua y sus principales componentes

La Tierra tiene una cantidad limitada de agua que se mantiene en movimiento en el sistema climático (**cap. II, secc. 2.**). El agua que bebemos todos los días estuvo en el océano hace algunos meses, formó parte de algún río o laguna hace unos días, cayó del cielo en forma de lluvia o nieve hace décadas, se desplazó en forma de nube hace cientos de años, alimentó a alguna planta hace miles de años y probablemente estuvo entre las rocas hace millones de años. Esa misma agua que bebemos pudo haber sido bebida también por los primeros dinosaurios o los primeros *Homo sapiens* que llegaron a América. El agua se ha desplazado de un sistema a otro una y otra vez, y por esta razón a este desplazamiento se le conoce como el ciclo del agua.

Para poder desplazarse de un sistema a otro, o de un lugar a otro, el agua tiene que pasar por diferentes procesos que le permiten cambiar de estado y así continuar en movimiento, como vimos en la **figura 43**. Empezaremos la explicación de los diferentes procesos y estados por los

que atraviesa el agua, tratando el tema de las nubes.

Una **nube** es un conjunto de gotitas de agua o cristales de hielo suspendidos en el cielo. Se forma cuando el vapor de agua que se encuentra en la atmósfera asciende hasta alcanzar una altura en la que las temperaturas son tan frías, que se condensa formando pequeñas gotitas de agua. Cuando muchas de estas gotitas se unen, se puede observar una nube. A veces, las temperaturas son tan frías que se forman cristales de hielo.

Entonces, a través del proceso de condensación el agua en forma de nube pasa a formar parte de la atmósfera. De esta manera, se desplaza a lo largo de grandes distancias gracias al viento. La nube transporta consigo el agua de un lugar a otro y luego la deja caer a la superficie en forma de precipitación.

La **precipitación** ocurre cuando las gotas de agua o los cristales de hielo crecen tanto que no pueden continuar suspendidos en el

aire. Entonces, el agua cae a la superficie en forma de lluvia (agua líquida), granizo (agua sólida) o nieve (agua sólida). Esta puede acumularse en los nevados, formar parte de los ríos o lagunas, o infiltrarse en el suelo para formar parte de la litósfera (veremos esto en la **sección 2.**).

Una vez en la superficie, el agua es aprovechada por las plantas, los animales y por nuestra sociedad. El agua se puede

quedar por algún tiempo en reservorios, como el océano o los lagos, o puede transportarse de un lugar a otro a través de los ríos. Luego, vuelve a la atmósfera en forma de vapor de agua, debido a la evaporación de las superficies húmedas, la transpiración de las plantas y animales. Una vez en la atmósfera se puede mantener como humedad o puede condensarse para formar nubes. Es así como el ciclo vuelve a comenzar.



1.5.1. Midiendo la precipitación (pp)

En las estaciones meteorológicas convencionales se mide la precipitación diariamente mediante un instrumento llamado pluviómetro (**figura 62 [a]**). Este instrumento receptiona el agua de lluvia y la almacenan hasta la hora de la observación, que es generalmente a las

07:00 hora local (HL). Esto quiere decir que la observación del día representa la precipitación acumulada desde las 07:00 hora local del día anterior. Por otro lado, las estaciones automáticas registran la precipitación de manera continua, generalmente, de forma horaria. Esto nos permite un mejor análisis de las condiciones atmosféricas locales.

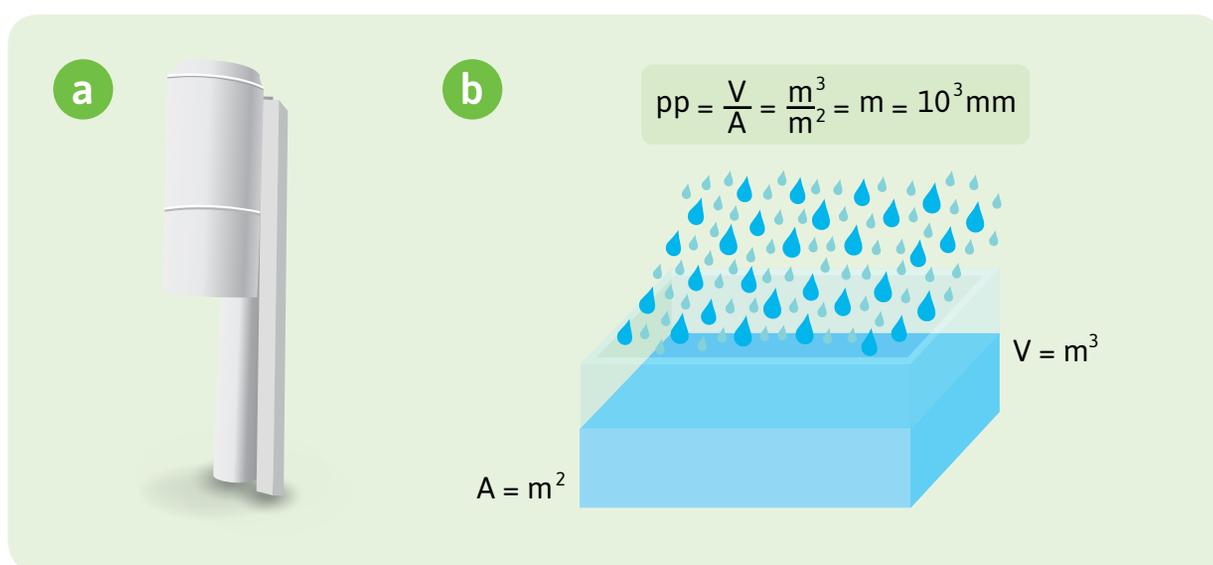


Figura 62. Medición de la precipitación. [a] Pluviómetro (aparato para medir la precipitación); [b] representación de la unidad de medida oficial de la $pp=V/A$.

La precipitación (pp) es la relación entre la cantidad de agua que llueve (volumen: V) sobre la unidad de superficie (área: A); $pp = V/A$, y la unidad de medida es el mm (**figura 62 [b]**). Podemos observar que existe una gran diferencia entre la unidad de medida y la capacidad del instrumento que realiza la medición. Si bien los pluviómetros no son cajas de 1 m² de área, se adaptan a esta medida a través de relaciones matemáticas. Su área de captación (boca del pluviómetro)

y el volumen deben representar la medida oficial.

Sin importar la forma de los pluviómetros, estos están adaptados para representar la misma unidad de medida. Por ejemplo, los pluviómetros de la costa suelen ser más pequeños y de boca ancha para captar la mayor cantidad de lluvia, porque la precipitación es mínima en esta región; pero en la selva los pluviómetros suelen ser grandes para poder contener una mayor cantidad de lluvia.

Si bien las estaciones meteorológicas usan pluviómetros estándar que pasan por muchas pruebas de control para ser más precisos, los pluviómetros caseros suelen hacer un buen trabajo también. Sin embargo, debemos adaptar sus medidas; de otro modo, solo tendremos una referencia de la cantidad de precipitación.



1.5.2. Las medidas de humedad

La medida de humedad más conocida es la **humedad relativa** (HR) y nos indica cuán saturado se encuentra el aire. Cuando el aire está saturado, significa que por cada molécula que se evapora, existe otra que se está condensando. Para entender la real definición de esta variable, tendríamos

que entender conceptos más avanzados de meteorología; pero podemos simplificar esta definición diciendo que la humedad relativa es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire respecto a la cantidad de agua que es capaz de contener a una determinada temperatura, expresada en porcentajes.

$$HR = \frac{\text{cantidad de vapor de agua que contiene el aire}}{\text{cantidad de vapor de agua que puede contener el aire}} \cdot 100$$

Entonces, si la humedad relativa es de 100 %, significa que el aire está saturado. En este caso, el aire contiene toda el agua que puede albergar. Por tanto, la humedad relativa nunca puede ser mayor de 100 % porque no puede albergar más agua. Si la humedad relativa es cercana al 100 %, se dice que la atmósfera no admite más vapor

de agua. Por el contrario, si el aire tiene una humedad relativa menor de 40 %, se considera que la atmósfera admitirá más vapor de agua. Por lo general, las áreas cercanas a cuerpos de agua (océanos o lagos) y los bosques tropicales poseen una alta humedad relativa, mientras que los desiertos poseen una humedad relativa muy baja.

Debemos tener en cuenta que la temperatura afecta la humedad relativa. Cuando la temperatura aumenta, el aire incrementa su capacidad de contener vapor de agua. Esto significa que si la cantidad de vapor de agua que tiene el aire se mantiene igual, la humedad relativa será menor al aumentar la temperatura. Por otro lado, si la temperatura disminuye, también disminuye la capacidad del aire para contener vapor de agua. Entonces, si la cantidad de vapor de agua que contiene el aire se mantiene igual, la humedad relativa será mayor al disminuir la temperatura. En lugares donde la cantidad de vapor de agua en el aire se mantiene casi constante, la temperatura regula la humedad relativa. Por ejemplo, en las horas de altas temperaturas (día), la humedad relativa será menor, y durante las horas de bajas temperaturas (noche), la humedad relativa será mayor.

Además, nosotros también nos vemos afectados por el contenido de vapor de agua en la atmósfera. En una región árida, el aire seco extrae humedad de todas las cosas que se encuentren en ese ambiente, como las plantas y los animales: se produce una rápida evaporación de la superficie de nuestros cuerpos que podría secar nuestra piel si el aire fuera muy seco. Sin embargo, este proceso de evaporación en nuestro cuerpo ayuda cuando las temperaturas son altas porque permite que el cuerpo se enfríe. Por el contrario, cuando el aire es húmedo y la temperatura es alta, la evaporación es escasa; esto significa que nuestro cuerpo no tendrá la capacidad de enfriarse. En conclusión, nuestra percepción de calor varía con la humedad. En un día cálido, si la humedad es baja se siente menos calor; pero si la humedad es alta, se siente más calor.

Por esta razón es importante conocer el contenido de vapor de agua en la atmósfera. Sin embargo, no olvidemos que

este concepto de humedad relativa es una idea simple de la definición real. A pesar de ello, lo hemos incluido en esta sección porque es una variable muy usada cuando se informa de las condiciones del tiempo a la población. Por tanto, es importante que nuestros estudiantes tengan una idea de qué significa, pero también deben saber que solo es una definición muy general.

1.5.3. Observando las nubes

Anteriormente aprendimos que las nubes influyen significativamente en la radiación incidente, en la distribución de las temperaturas y, en consecuencia, en las demás variables que dependen de estas. Por esta razón, es importante conocer la cantidad y el tipo de nubes que hay en nuestra localidad.

Para medir la cantidad de nubes que hay (cobertura), debemos mirar al cielo y dibujar un círculo imaginario (bóveda celeste) sobre nosotros (**figura 63 [a]**). Luego, dividimos ese círculo en ocho partes iguales, mentalmente juntamos las nubes y contamos cuantas divisiones ocupan.

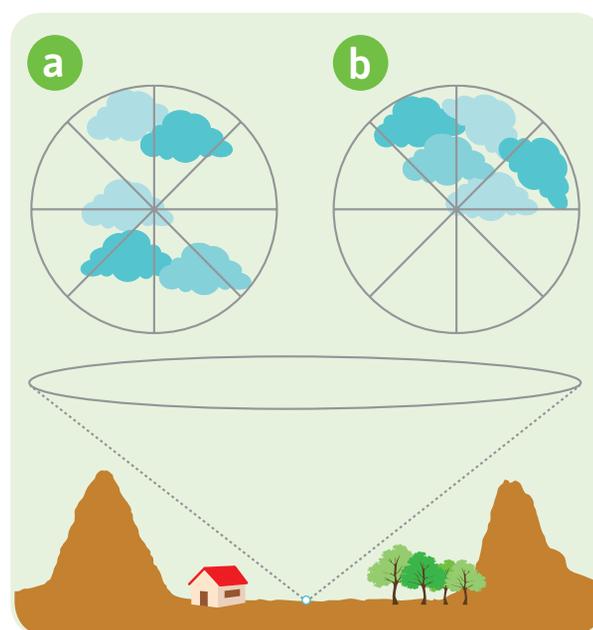


Figura 63. Uso de la bóveda celeste para medir la cantidad de nubes

Por ejemplo, en la **figura 63 [a]**, las nubes ocupan tres divisiones de las ocho que existen; entonces decimos que hay tres octavos o tres oktas de nubes. Sin embargo, los Servicios Meteorológicos no informan a

la población sobre la cobertura de nubes con oktas, sino mediante un código (**tabla 12**). En nuestro caso, 3 significa parcialmente nublado.

Oktas	Definición	Observación
0	Despejado	Cielo despejado
1	1/8 cubierto de nubes	Nubes dispersas
2	2/8 cubierto de nubes	Nubes dispersas
3	3/8 cubierto de nubes	Parcialmente nublado
4	4/8 cubierto de nubes	Parcialmente nublado
5	5/8 cubierto de nubes	Parcialmente nublado
6	6/8 cubierto de nubes	Nublado
7	7/8 cubierto de nubes	Nublado
8	8/8: completamente cubierto	Cubierto

Tabla 12. Relación entre la cobertura de nubes y las oktas

El tipo de nubes también se determina por observación. Para ello, vamos a considerar los 4 grupos más importantes de nubes y sus tipos (**figura 64**). Según Ahrens, la clasificación se hace de acuerdo con la altitud de la base de las nubes (**tabla 13**). En la región ecuatorial y tropical, las nubes bajas se denominan estratos (ej.: estratocúmulos) y su base se encuentra debajo de los 2500 m de altitud en los trópicos. Las nubes en niveles medios se denominan altos (ej.: altocúmulos) y su

base se encuentra entre los 2.5 y 7 km de altitud en los trópicos. Las nubes en niveles altos se denominan cirros (ej.: cirroestratos) y su base se encuentra entre los 7 y 18 km de altitud. Finalmente, el cuarto grupo está compuesto por las nubes que muestran más desarrollo vertical que horizontal, y se denominan **cúmulos** (ej.: cumulonimbos). Aunque sus bases pueden encontrarse en niveles bajos, sus topes pueden alcanzar los niveles más altos de la tropósfera.

Grupo de nubes	Región tropical	Latitudes medias	Regiones polares
Bajas	0-2000 m	0-2000 m	0-2000 m
Medias	2000-8000 m	2000-7000 m	2000-4000 m
Altas	6000-18 000 m	5000-13 000 m	3000-8000 m

Tabla 13. Altura aproximada de la base de las nubes en diferentes regiones. Según Ahrens (2010).

Las nubes altas están compuestas, casi exclusivamente, por cristales de hielo. No producen sombra porque se encuentran en niveles muy altos. Las más comunes son los cirrocúmulos (Cc) y los cirroestratos (Cs). Los **cirrocúmulos** se ven como algodones pequeños, blancos y algunas veces forman filas, mientras que los **cirroestratos** son muy delgados y con frecuencia se puede ver el Sol o la Luna a través de ellos. Usualmente, producen un halo alrededor

del Sol. Estas nubes con frecuencia se presentan antes de una tormenta, por lo que pueden ser usadas para predecir lluvia o nieve.

Las nubes medias, por lo general, están compuestas por gotas de agua; pero cuando las temperaturas son muy bajas, también pueden presentar cristales de hielo. Las nubes medias más comunes son los altocúmulos (Ac) y los altoestratos (As).

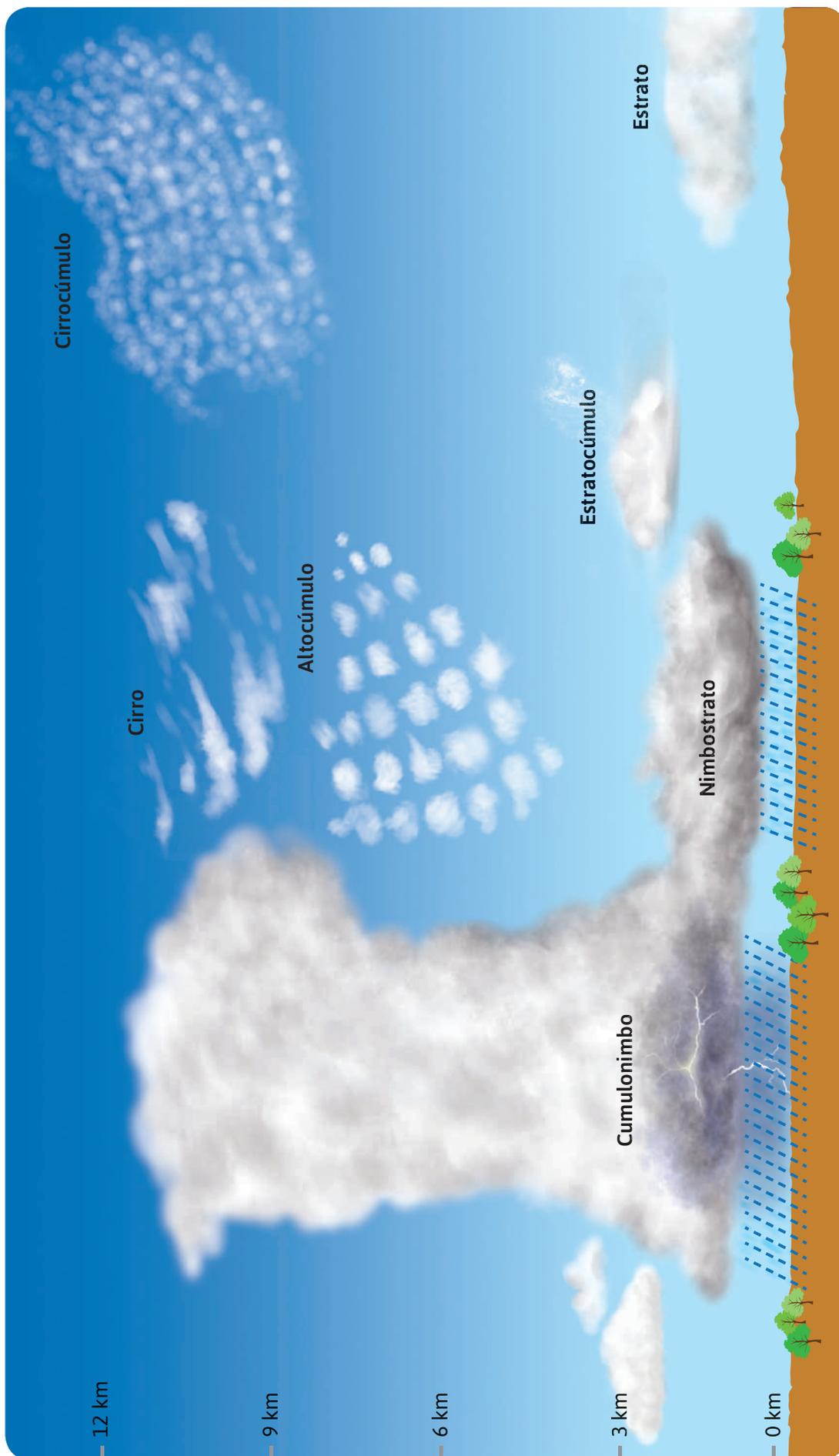


Figura 64. Clasificación de las nubes

Los **altocúmulos** se ven como algodones redondos, de color gris claro, a veces formando bandas. Usualmente, una parte de la nube es más oscura que la otra, lo que ayuda a diferenciarla de las Cc. Los **altoestratos** son nubes grises o grises azuladas que cubren grandes áreas casi siempre. Poseen áreas delgadas por las que sutilmente se puede ver el Sol. Con frecuencia los altoestratos se presentan antes de las tormentas y también pueden producir precipitación, pero si esta precipitación alcanza la superficie, entonces son clasificadas como nimbostratos.

Las nubes bajas casi siempre están compuestas por gotas de agua. Sin embargo, en regiones muy frías pueden estar formadas de cristales de hielo y nieve. Las nubes bajas más comunes son los nimbostratos (Ns), los estratocúmulos (Sc) y los estratos (St). Los **nimbostratos** son grises oscuros y se les asocia con la precipitación continua, pero solo ligera o media, nunca precipitación fuerte; son nubes gruesas y no se puede ver a través de ellas. Los **estratocúmulos** aparecen como nubes grandes, redondas y grises que se encuentran en grupo cubriendo un área grande. A través de ellas se puede ver el cielo y con frecuencia son los restos de las nubes cúmulos. Los **estratos** son nubes grises uniformes que cubren el cielo por completo y se ven como niebla que no alcanzó la superficie; por lo general no presentan precipitaciones, pero a veces puede suceder una llovizna fina; estas nubes se pueden confundir con un nimbostrato, pero los estratos tienen una base mucho más definida.

Finalmente, los cúmulos son nubes algodoadas de contornos definidos. Su base es blanca o gris, y el tope puede presentar torres redondeadas. Los cúmulos que tienen un pobre desarrollo vertical se conocen

como *cumulus humilis*, y los cúmulos que parecen fragmentos rotos de una nube se conocen como *cumulus fractus*. Cuando el tope de la nube *cumulus* se ve como una coliflor, reciben el nombre de *cumulus congestus*; y si esta continúa su desarrollo vertical se convierte en cumulonimbo. Esta nube de tormenta tiene una base oscura y se puede desarrollar hasta la tropopausa. Los cumulonimbos están relacionados con precipitaciones muy fuertes de lluvia, nieve o granizo. También originan fenómenos eléctricos (rayos y relámpagos), y en regiones con las condiciones adecuadas pueden desarrollar tornados.

1.5.4. El balance hídrico

Sabemos que el agua es nuestro recurso más preciado; la usamos en la producción de energía, en las industrias, en la recreación, y en la agricultura. Por eso, es importante conocer cuánta agua disponemos para realizar estas actividades de manera satisfactoria.

Para estimar la disponibilidad de agua (DA) en un sistema o una cuenca debemos evaluar la **entrada** y **salida** de agua; esto se conoce como **balance hídrico**. Si la entrada de agua supera la salida, implica que tendremos agua disponible para utilizar en nuestras actividades. Por el contrario, si la salida de agua supera la entrada de agua, eventualmente no existirá agua disponible y nuestras actividades sufrirán las consecuencias.

Por tanto, analicemos los elementos de entrada y de salida: el sistema gana agua con la precipitación (pp), la condensación (C) y la escorrentía de entrada (fi); el sistema pierde agua por evaporación (E) y escorrentía de salida (fo).

Por lo general, la cantidad de agua que proviene del proceso de condensación es

$$DA = \text{elementos de entrada} - \text{elementos de salida}$$

$$DA = pp + C + fi - E - fo$$

despreciable, especialmente si se trata de suelos desnudos (sin vegetación). Entonces:

Ahora analicemos la escorrentía. La escorrentía de entrada es la lámina

$$DA = pp + fi - E - fo$$

superficial de agua que se vierte al sistema, ya sea por exceso de precipitación o por el rebalse de un depósito de agua (río, laguna, etc.). En oposición, la escorrentía de salida es el agua que se pierde. Si no consideramos el rebalse de un depósito de agua, tenemos que la escorrentía solo depende de la intensidad de la precipitación y la capacidad de infiltración del suelo. Si la intensidad de precipitación es menor que la capacidad de infiltración del suelo, el agua no se escurrirá sobre el suelo porque este será capaz de absorber el agua que le

sobre (**figura 65 [a]**). Sin embargo, si la intensidad de la precipitación es mayor que la capacidad de infiltración del suelo, el agua se escurrirá sobre el suelo porque este no será capaz de retener ese exceso (**figura 65 [b]**). Finalmente la escorrentía final (Δf) del sistema se puede expresar así:

$$\Delta f = fi - fo$$

$$\text{Entonces: } DA = pp + \Delta f - E$$

Por otro lado, la estimación de la evaporación

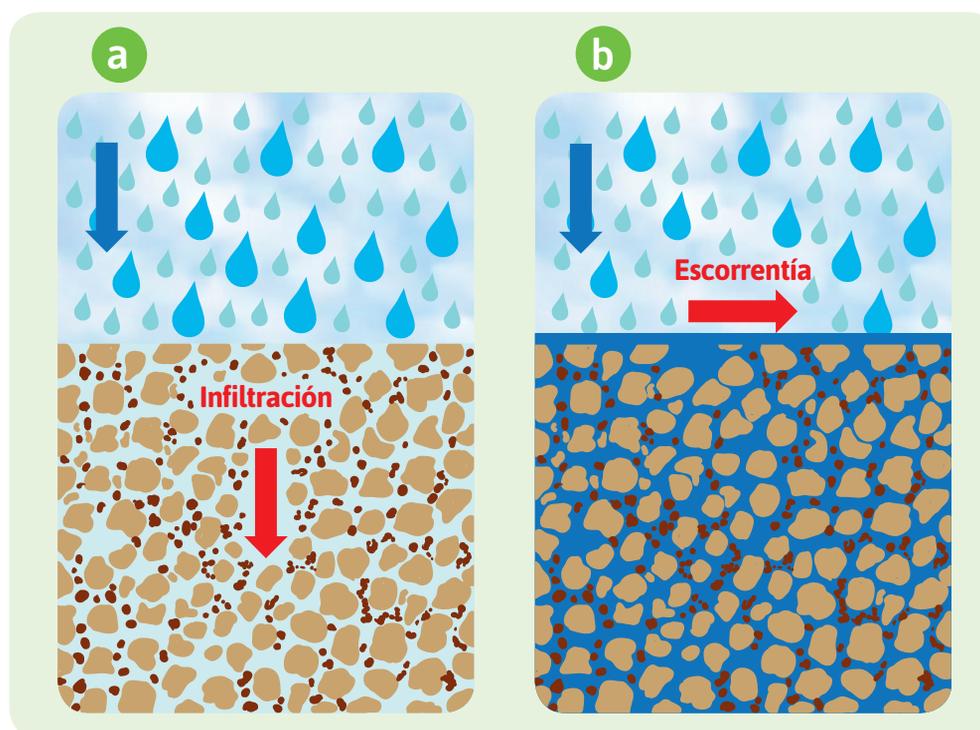


Figura 65. Escorrentías según la intensidad de la precipitación. [a] Cuando la intensidad de la precipitación es menor que la capacidad de infiltración del suelo; **[b]** cuando la intensidad de la precipitación es mayor que la capacidad de infiltración del suelo.

es compleja porque esta depende de la radiación solar incidente, la temperatura, la humedad, la presión atmosférica y el viento, además de si el suelo tiene vegetación (ej.: cultivo). También se debe considerar la transpiración del cultivo, de modo que la evaporación (E) se convierte en evapotranspiración (Et); además, su estimación depende de otras variables, como el tipo de cultivo y la etapa del desarrollo.

Entonces: $DA = pp + \Delta f - Et$

Finalmente, se considera precipitación a la lluvia, la nieve y el granizo. Por lo general su medición se realiza una vez al día (cap. II, secc. 1.5.1.). Ya sea a través de las instituciones del Estado o mediante un pluviómetro casero, la precipitación es una variable fácil de obtener.

Entonces nos damos cuenta de que los elementos que conforman el balance hídrico son los mismos que componen el ciclo del agua (**figura 66**). Algunos de ellos aportan al sistema (**flechas azules**) y otros extraen agua de él (**flechas rojas**). El balance hídrico es básicamente la cuantificación del ciclo del agua.

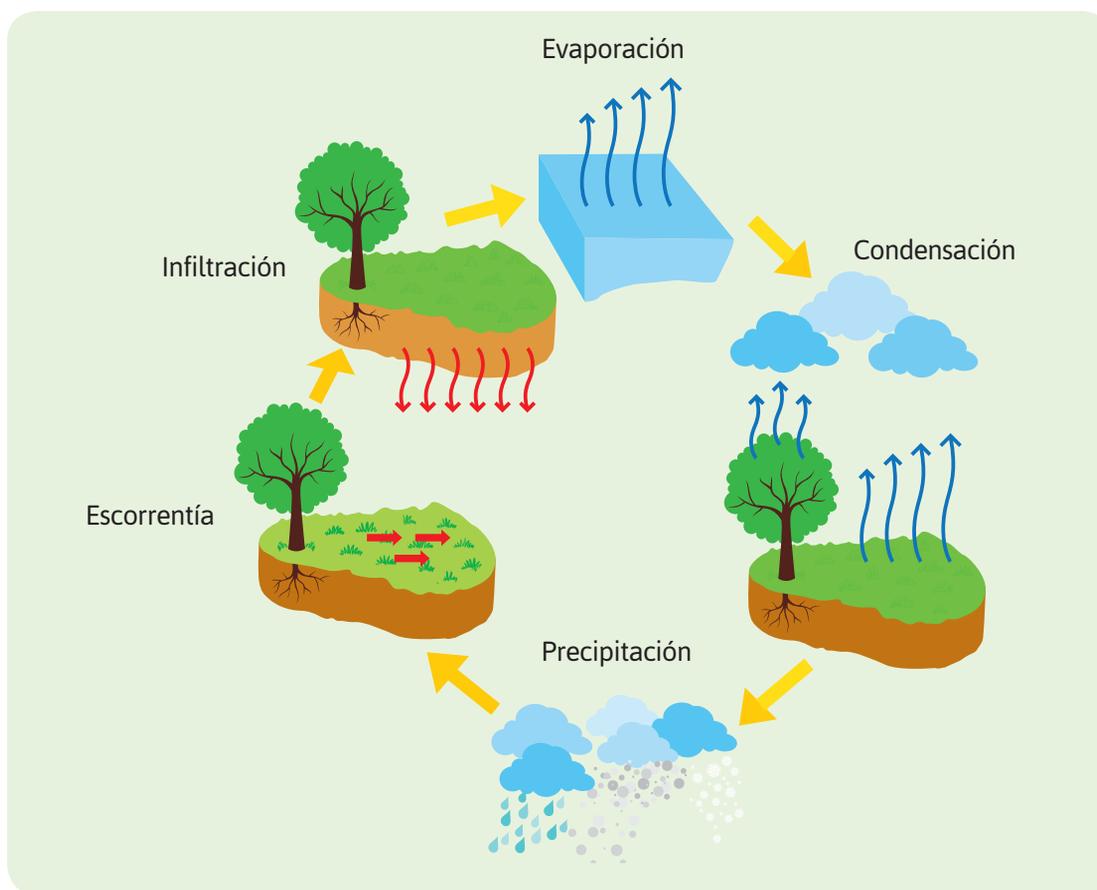


Figura 66. Componentes del balance hídrico

Si consideramos una cuenca¹⁵, el balance hídrico (**figura 67**) determinaría de cuánta agua se dispone para que se puedan desarrollar las actividades económicas (ej.: agricultura y ganadería) y para el

consumo humano de las localidades que allí se ubican. Lo ideal es que el agua disponible (**oferta**) sea mucho mayor que la de consumo (**demanda**).

¹⁵Una cuenca es un territorio en donde el agua que cae por precipitación se reúne y fluye (superficial o subterráneamente) hacia un punto común (río, lago o mar). Incluye todos los elementos del sistema climático.

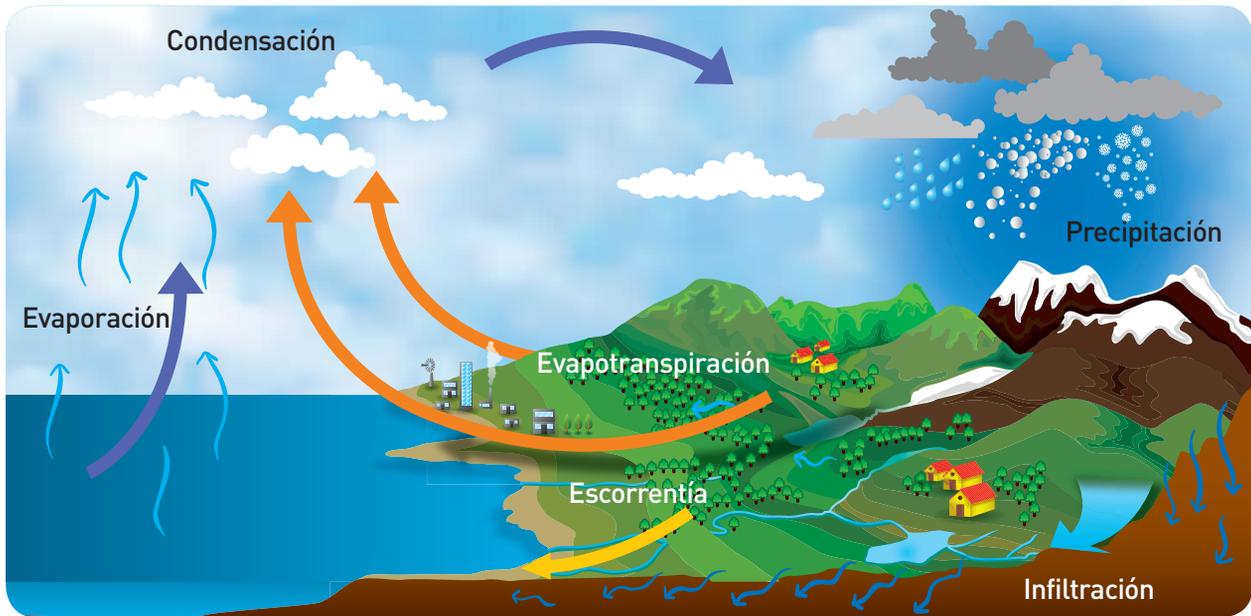
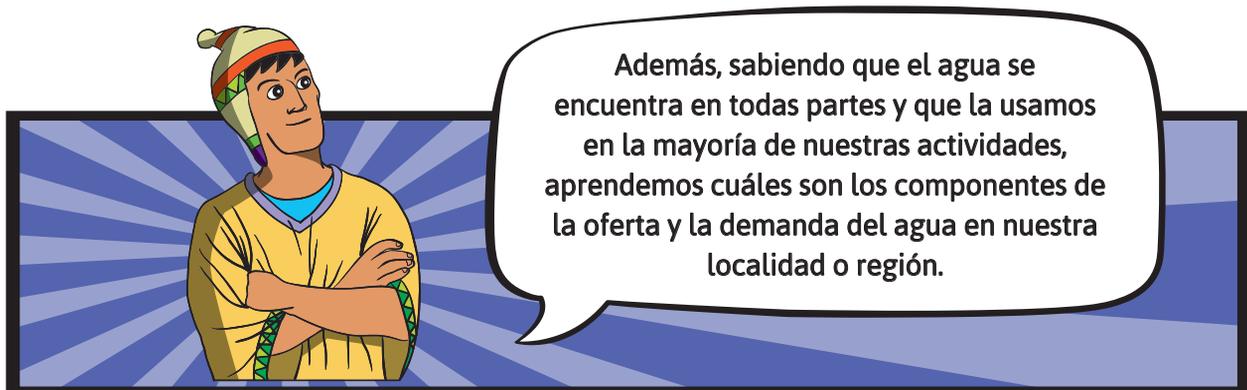


Figura 67. Distribución de los componentes del balance hídrico de una cuenca

Mediante el estudio de la precipitación, la humedad y la nubosidad nos damos cuenta de la relación que estas tienen con otras variables y cómo influyen en su comportamiento. La precipitación

y la nubosidad son variables de fácil observación y, por ello, importantes para describir el comportamiento de la atmósfera en nuestra localidad. (Anexo 9).



Autoevaluación

- ¿De dónde viene el agua del caño de la escuela? ¿Hacia dónde va? ¿Cómo forma parte del ciclo del agua?
- Realiza un mapa conceptual acerca del ciclo hidrológico.

2. EL SISTEMA CLIMÁTICO

Hemos estudiado cómo las variables meteorológicas describen el tiempo. Hemos descubierto de qué manera estas pueden afectar las plantas, los animales, el suelo, y hasta a nuestra sociedad. Pero también hemos visto cómo las plantas, los animales,

el suelo y nosotros mismos podemos alterar el comportamiento de algunas variables meteorológicas. Y es que todos estos elementos pertenecen al mismo sistema: el sistema climático (**figura 68**).

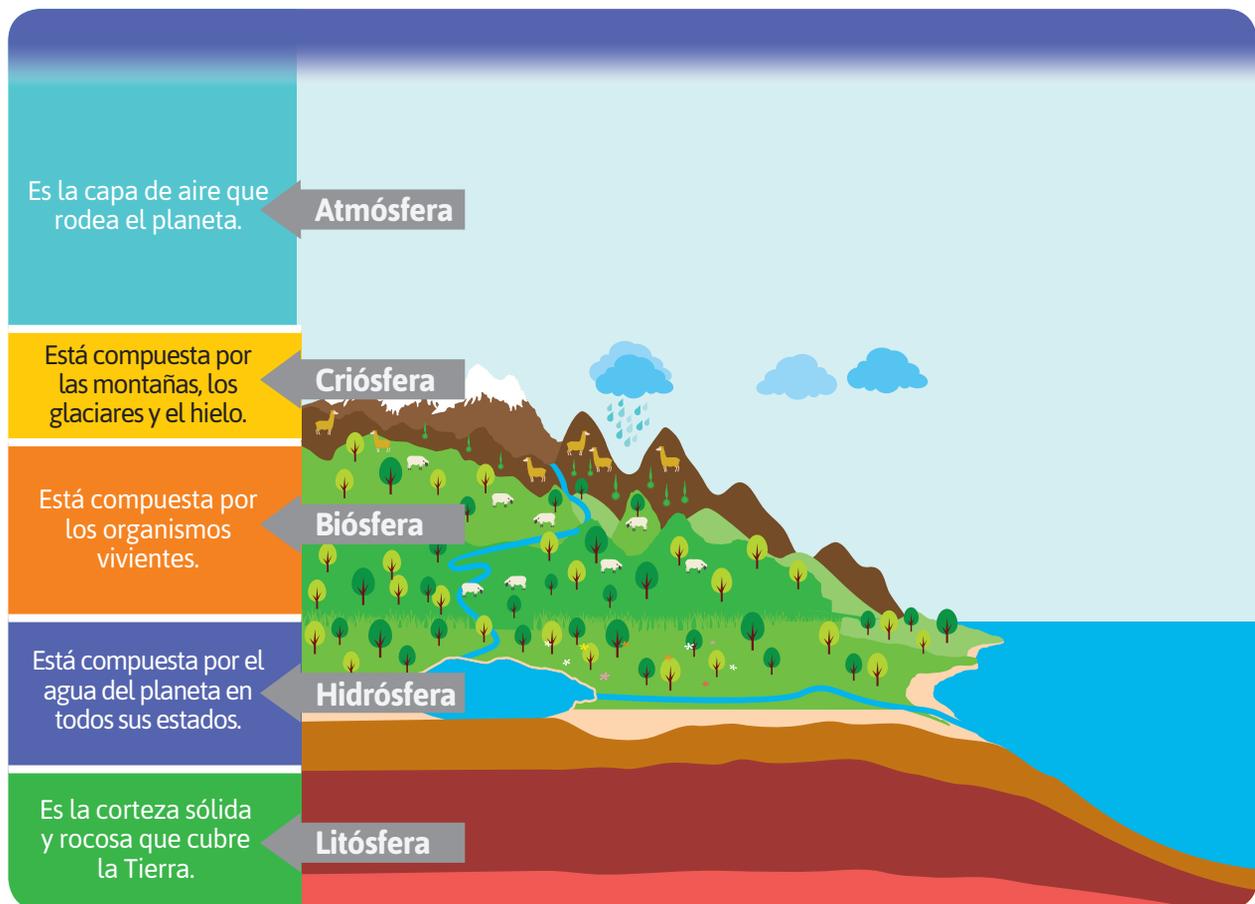


Figura 68. Los componentes del sistema climático

El sistema climático consta de cinco componentes: la litósfera, la hidrosfera, la biósfera, la criósfera y la atmósfera. La **litósfera** está compuesta por la corteza sólida y rocosa de la Tierra. La hidrosfera, por toda el agua líquida del planeta (océanos, lagos, ríos y agua subterránea). La biósfera, por los organismos vivos, los cuales ocupan una capa muy delgada de aire (atmósfera), agua (hidrosfera) y tierra (litósfera). La **criósfera**, por los hielos polares, las montañas glaciares, el hielo del suelo, los hielos marinos y la nieve

estacional. Finalmente, la **atmósfera** es la capa gaseosa que rodea el planeta y donde se presentan el tiempo y el clima.

Estos componentes están bien definidos y parecen no tener relación el uno con el otro. Pero, como ya mencionamos anteriormente, el sistema climático es un sistema unificado y sus componentes no solo están relacionados, sino que pueden interactuar. Esta interacción se lleva a cabo a través de procesos de transporte de materia y energía de un componente a otro.

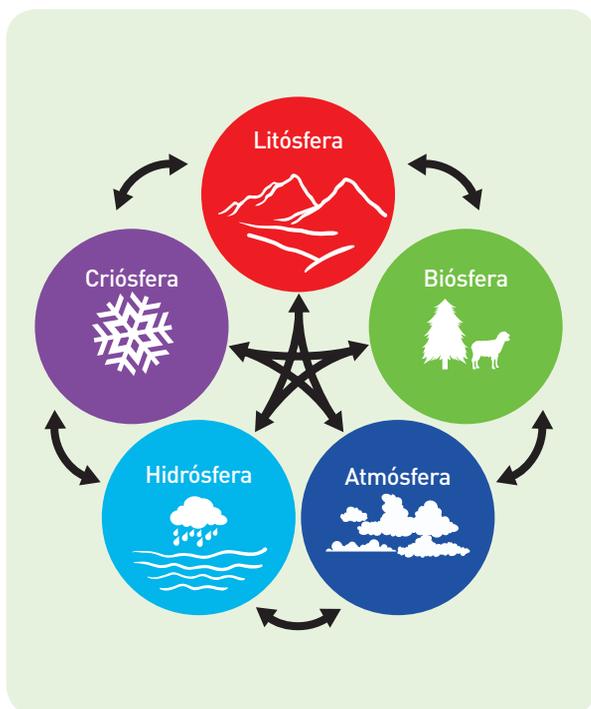
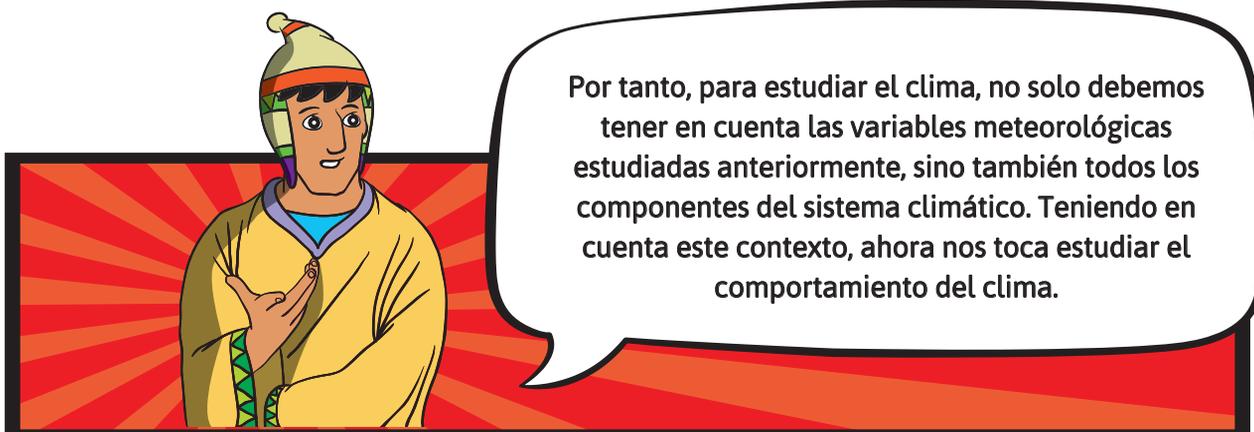


Figura 69. Interacción entre los componentes del sistema climático

Veamos la **figura 69**. Para entender esta interacción empezemos por la atmósfera. Esta se compone de diversos gases que son aprovechados por los organismos que se encuentran en la biósfera. Nosotros, al igual que estos organismos, hacemos uso de los nutrientes de la litósfera y el agua de la hidrósfera. También somos afectados por los eventos que ocurren en estos componentes, como las sequías, los huaicos y las inundaciones. Y, como sabemos, recientemente hemos descubierto el impacto de nuestras actividades en el sistema climático; incluso, somos capaces de alterar el clima.

En conclusión, el sistema climático unifica los diversos elementos que se encuentran en la Tierra: el aire, las nubes, los océanos, los ríos, las capas de hielo, las montañas, los valles, los animales, las plantas y todo lo que podemos observar.



2.1. El sistema climático a través del tiempo

Cuando hablamos del clima, debemos ubicarnos en un periodo largo de tiempo. Este periodo puede abarcar desde décadas hasta millones de años. Sí, millones de años, ya que los cambios en el clima pueden ser tan graduales que necesitan grandes periodos de tiempo para ser observables. Por eso, necesitamos conocer el tiempo geológico (**figura 70**).

Para comprender mejor qué sucede dentro de estos periodos largos de tiempo, haremos uso de dos nuevos términos: variabilidad climática y cambio climático. Si bien existe una diferencia entre variabilidad climática y cambio climático, ambos términos significan movimiento y pasar de un estado a otro. Esto indica que la atmósfera siempre está cambiando, sin importar el periodo de tiempo.

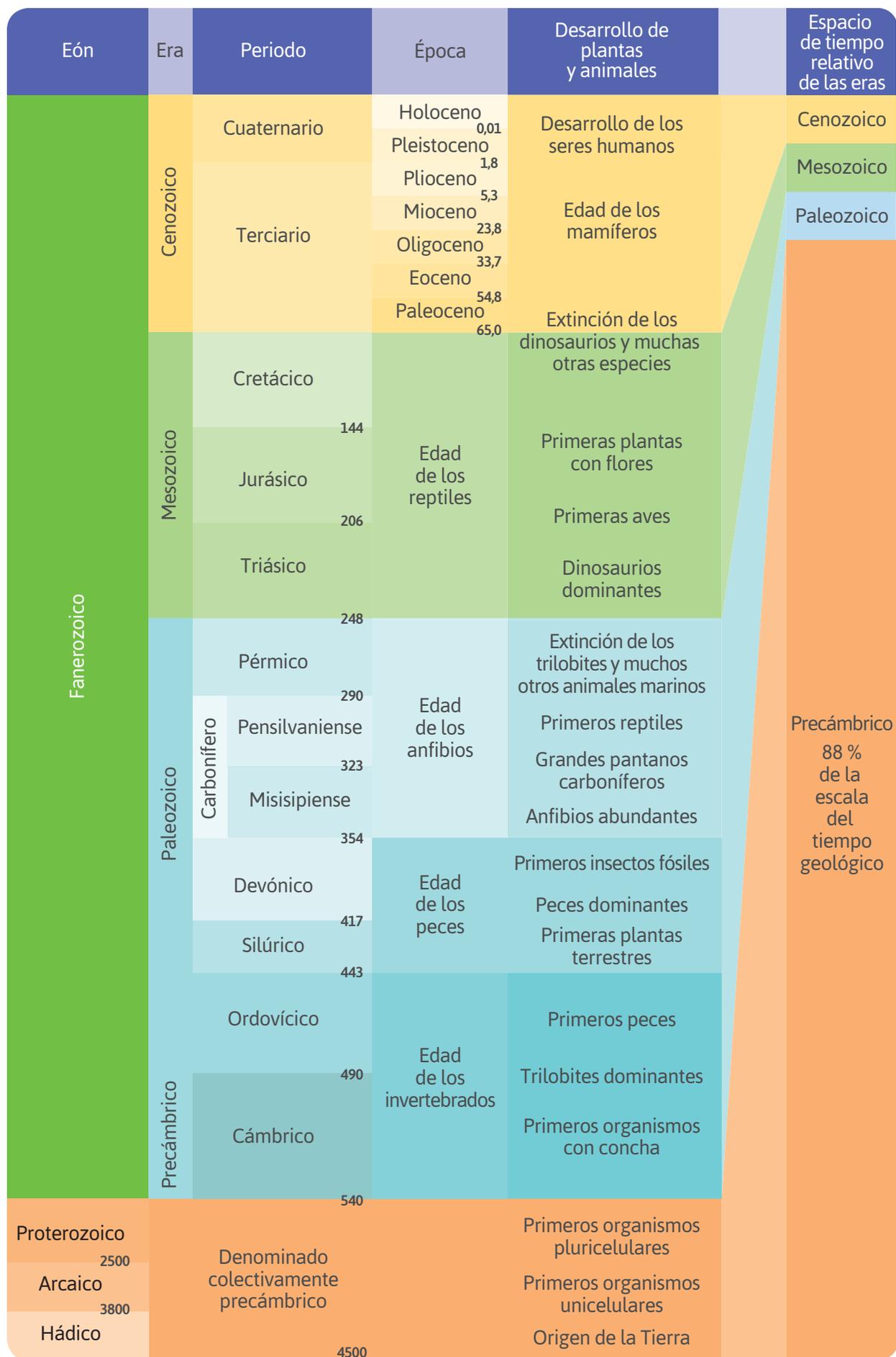
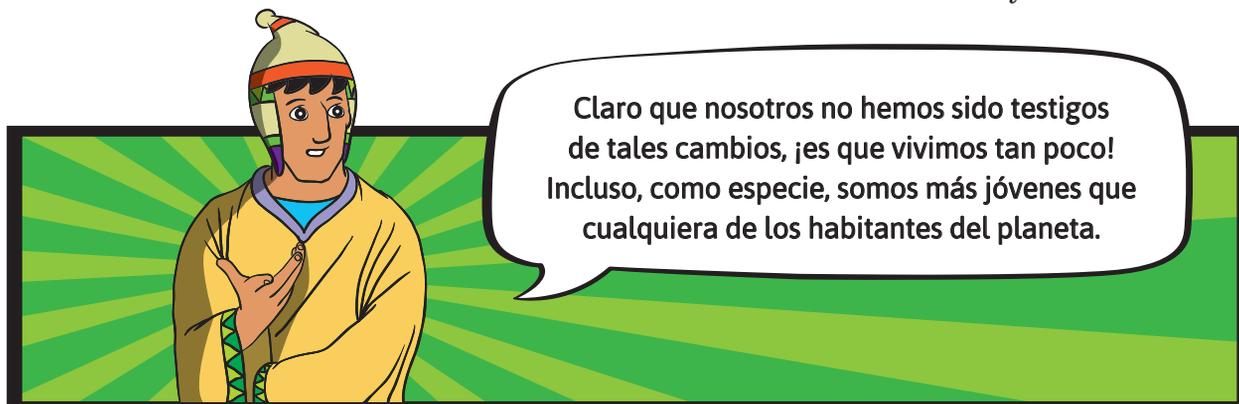


Figura 70. Escala de tiempo geológico. La Tierra se formó hace 4500 millones de años y estuvo dominada por los primeros organismos unicelulares y pluricelulares el 84 % del tiempo (Tarbuck, 2000).

Por tanto, aprender sobre variabilidad climática y cambio climático es aprender sobre el cambio. Es una oportunidad para revelar la importancia del cambio a nuestros estudiantes. Si bien el cambio implica dificultad para algunos, también representa una oportunidad para otros. No olvidemos que, como especie, somos el

resultado de todos los cambios ocurridos en la historia de nuestro planeta.

El cambio existe. Recordemos nuestra época de estudiantes, cuando nuestros profesores nos decían que a lo largo de la historia del planeta las especies de plantas y animales habían cambiado junto con la forma de los continentes y los océanos.

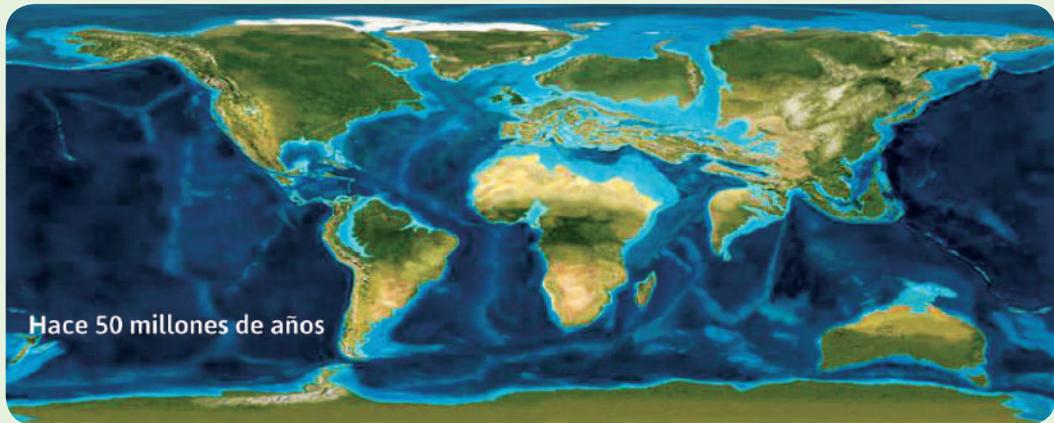
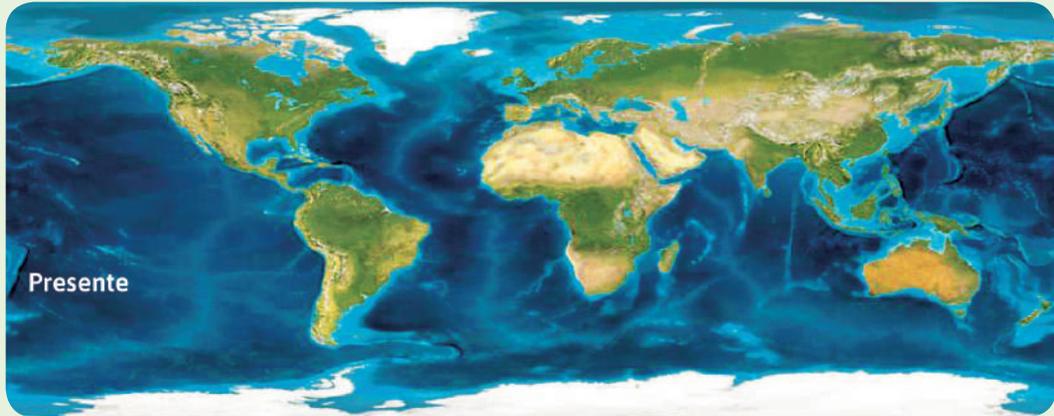


Hemos aprendido a buscar evidencia de nuestro pasado en las rocas, en el hielo, en el fango y hasta en los árboles. Desde hace cientos de años que sabemos cómo registrar los eventos del presente para poder usarlos en el futuro. Así, los científicos tienen suficiente evidencia del cambio.

Todos los componentes del sistema climático han cambiado. Por ejemplo, observemos el mapa actual de la Tierra y el de hace 150 millones de años (**figura 71**); casi no podemos reconocer nuestro continente. Además, existe un detalle aún más importante: hace 150 millones de años los Andes no existían, nuestro hogar era irreconocible. Pero no solo la superficie ha cambiado, también lo han hecho los océanos. ¿Dónde se encontraba el Atlántico hace 150 millones de años? Pues casi no existía. Sí, nuestra litósfera e hidrósfera han cambiado, no hay duda de ello.

Nuestra atmósfera también ha cambiado. La atmósfera que originalmente rodeaba la Tierra, hace 4,6 mil millones de años aproximadamente, estaba compuesta de manera principal por hidrógeno y helio

(los gases más abundantes en el universo), además de metano y amonio. Luego se desarrolló una atmósfera más densa, compuesta de dióxido de carbono, vapor de agua y nitrógeno, debido a la intensa actividad geológica. Millones de años después, la gran cantidad de vapor de agua de la atmósfera empezó a condensarse y a formar nubes. Las lluvias que resultaron duraron miles de años y formaron los ríos, lagos y océanos del mundo. Durante esta época, grandes cantidades de dióxido de carbono se disolvieron en el océano, haciendo del nitrógeno un gas abundante. Luego, lentamente, apareció el oxígeno como resultado de la fotólisis del agua; mientras que el hidrógeno resultante se liberó al espacio. Esta atmósfera más oxigenada pudo haber beneficiado la evolución de plantas primitivas, lo que a su vez (gracias a la fotosíntesis) elevó rápidamente la concentración de oxígeno en la atmósfera y la dejó con la composición actual.



© Dr. Ron Blakey

Figura 71. Transformación de la superficie terrestre. Cambios en los últimos 150 millones de años debido al movimiento de placas tectónicas.

Entonces, existe evidencia de que la atmósfera cambió en el pasado y estamos seguros de que lo seguirá haciendo en el futuro. Hace más de 100 millones de años, en el periodo cretácico (cuando los dinosaurios poblaban el planeta), el clima era muy diferente del actual.

La concentración de dióxido de carbono (CO₂) era mayor que en el presente, y esto condujo a un incremento significativo de la temperatura. Incluso existe evidencia de un clima tropical dominante a altas latitudes, donde ni siquiera había capas de hielo polares.



Pero no tenemos que retroceder tanto en el tiempo para ser conscientes del cambio en el clima. Solo tenemos que recordar a nuestros padres o abuelos hablando sobre estos cambios, como los pastos que desaparecen y se convierten en suelos áridos por falta de lluvia o la creciente bruma que se observa sobre las ciudades a medida que estas también crecen. ¿No hemos escuchado suficiente sobre el cambio climático estos últimos años?

2.1.1. La variabilidad climática frente al cambio climático

Todos hemos escuchado sobre el cambio climático probablemente sin estar seguros de su significado real. Pero además tenemos tan poca información acerca de la variabilidad climática, que solemos confundir ambos términos. Entonces, para explicar la diferencia, primero vamos a escoger un lugar: la ciudad de Puno.

En la **figura 72**, podemos observar la variación horaria de la temperatura

durante el periodo de 1 semana. Estos altibajos de la temperatura son un tipo de variabilidad que no es climática, pero que nos ayuda a entender el concepto, porque la variabilidad es la variación con respecto al promedio. Este gráfico no solo nos ayuda a definir variabilidad, sino también a comprender que existen factores que propician la variabilidad. En este caso, tales aumentos y disminuciones de temperatura se deben, principalmente, al movimiento de rotación de la Tierra: al día y la noche (**cap. II, secc. 1.3.4.**)

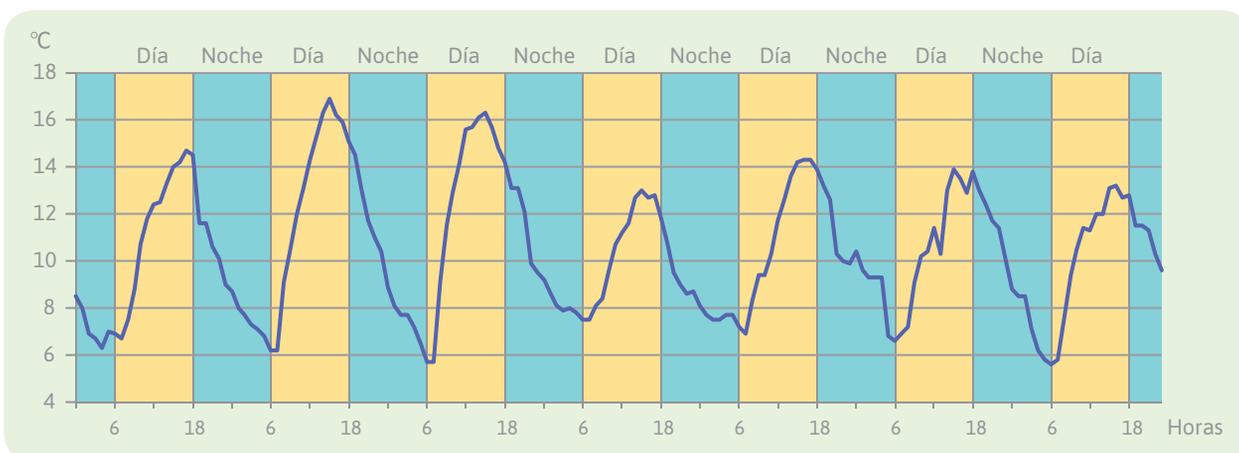


Figura 72. Variación horaria de la temperatura en Puno. Según SENAMHI.

Ahora, observemos la variación de temperatura mensual durante un periodo de 5 años (**figura 73**). En este caso también existe una causa para los altos y bajos de la temperatura: las estaciones (**cap. II, secc. 1.2.4.**). La temperatura

es mayor durante los meses de verano y menor durante los meses de invierno. Sin embargo, este tipo de variabilidad tampoco es climática, ya que hablamos de un corto periodo de tiempo.

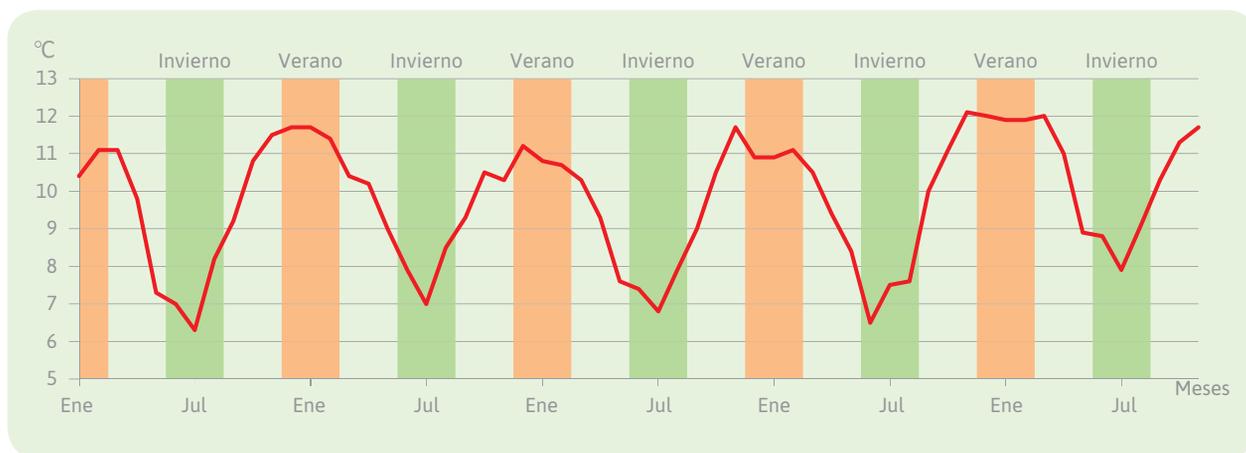


Figura 73. Variación anual de la temperatura media mensual en Puno. Según SENAMHI.

A continuación, se muestra un periodo suficientemente largo como para explicar la variabilidad climática y el cambio climático (**figura 74**). Al igual que en los ejemplos anteriores, la variabilidad climática está representada por los altos y bajos de temperatura; pero en esta

oportunidad podemos observar un cambio entre los periodos 1964-1990 y 1995-2013. El cambio es tan obvio que fue necesario calcular una nueva temperatura media (de T_{media_1} a T_{media_2}). Esta tendencia de un estado de equilibrio a otro se conoce como cambio climático.

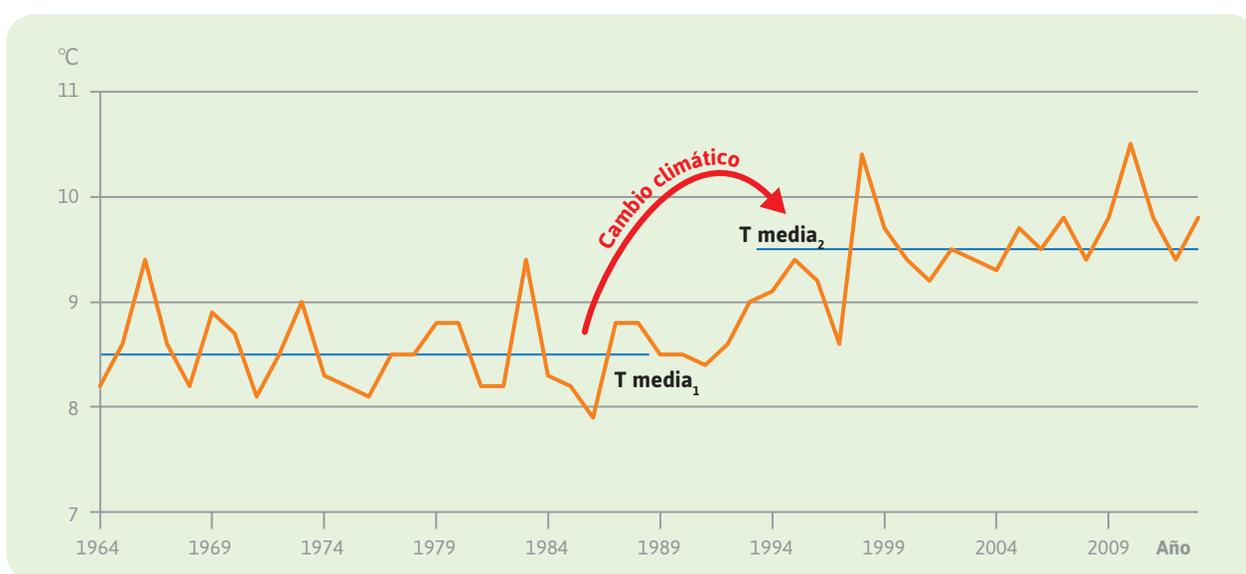


Figura 74. Variación de la temperatura media anual en Puno, 1964-2013. Según SENAMHI.

Para saber qué causa los cambios en el clima, primero tenemos que determinar periodos de tiempo, ya que cada uno conllevan diferentes factores que afectan el clima. Así que, considerando la **figura 75**, nuestro periodo de estudio será menor de 100 años.

Los factores que modifican el clima se denominan forzamientos; estos pueden ser naturales o antropogénicos (causados por el hombre). La variabilidad climática resulta de eventos periódicos naturales, como el fenómeno de El Niño, la oscilación decadal

del Pacífico o la oscilación del Atlántico norte, mientras que el cambio climático es causado por eventos naturales que no ocurren periódicamente, como las erupciones volcánicas, o por forzamiento antropogénico, como el incremento del dióxido de carbono debido a las actividades humanas.

De todos los forzamientos mencionados, existe uno que influye significativamente en el clima de nuestro país y que resulta en un impacto directo en nuestras actividades económicas, nuestra seguridad y nuestra salud. Estamos hablando del fenómeno de El Niño.

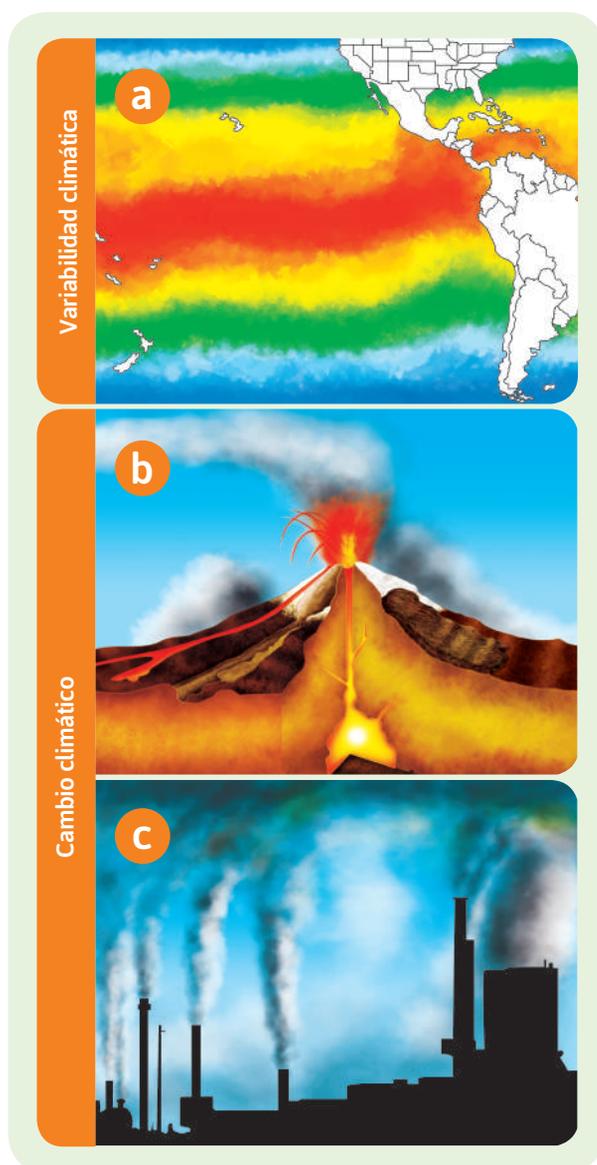


Figura 75. Causas de variabilidad climática y cambio climático. [a] Variabilidad natural: fenómeno de El Niño; [b] forzamiento natural: erupción volcánica; [c] forzamiento antropogénico: incremento de CO₂ por actividades humanas.

2.1.2. El fenómeno de El Niño

La historia del fenómeno de El Niño comienza en el norte del Perú con los pescadores de Paita (Piura). Ellos llamaban El Niño a una corriente cálida que aparecía en la época de Navidad y que interrumpía sus actividades pesqueras. Luego de la llegada de El Niño, esperaban la siguiente temporada de pesca para continuar con sus actividades, usualmente en marzo; pero algunos años tenían que esperar unos meses más porque esta corriente cálida era tan fuerte que podía invadir la costa central de nuestro país. Tal evento extraordinario se conoce como fenómeno de El Niño.

Sin embargo, el fenómeno de El Niño no es un evento que pueda ser explicado solo por la llegada de la corriente de El Niño. En realidad, existen cuatro elementos atmosféricos y oceánicos importantes que pueden definir las condiciones de la región (**figura 76 [a]**):

- **El anticiclón del Pacífico Sur (APS)** es una zona de alta presión, localizada en el océano Pacífico, frente a las costas de Chile y alrededor de los 30° S. Aquí los vientos giran en el sentido contrario de las agujas del reloj. Estos vientos intensifican la corriente de Humboldt.

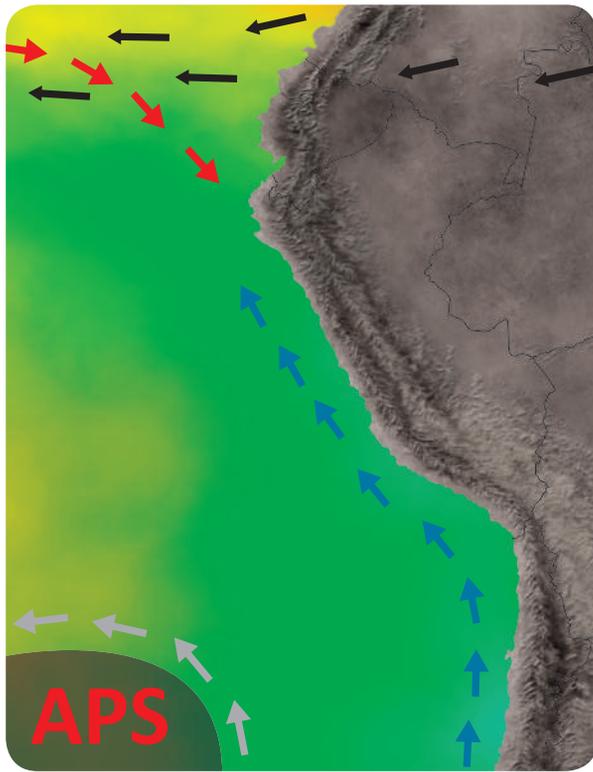
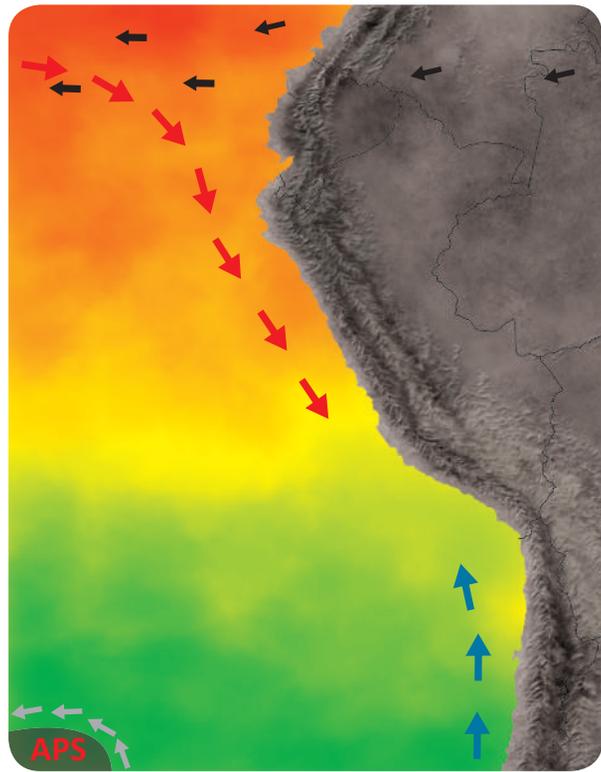
a**b**

Figura [a]		Figura [b]	
Condiciones normales		Fenómeno de El Niño	
Anticiclón del Pacífico sur APS	Se ubica cerca de la costa sudamericana y sus vientos empujan la corriente de Humboldt.	Se debilita y aleja de la costa sudamericana.	Anticiclón del Pacífico sur APS
Vientos alisios ←	Soplan hacia el oeste.	Se debilitan.	Vientos alisios ←
Corriente de Humboldt ↑	Sus aguas frías bañan las costas peruanas.	Sus aguas frías se alejan y profundizan	Corriente de Humboldt ↑
Corriente de El Niño →	Sus aguas cálidas se concentran en el océano Pacífico occidental.	Sus aguas cálidas llegan a las costas del Perú.	Corriente de El Niño →

Figura 76. Corriente de El Niño. [a] Condiciones normales; [b] fenómeno de El Niño.

- Los **vientos alisios** soplan de este a oeste en los trópicos.
- La **corriente de El Niño** transporta aguas cálidas que provienen del Pacífico ecuatorial central.
- La **corriente de Humboldt** viaja hacia el norte, de forma paralela a la costa, transportando aguas frías desde altas latitudes.

En condiciones normales, la temperatura superficial del mar (TSM) es fría a lo largo de la costa peruana: aproximadamente 18 °C (promedio anual). Esto se debe a la corriente de Humboldt, que es intensificada por los vientos del APS. Al mismo tiempo, los vientos alisios controlan la entrada de la corriente de El Niño, de modo que esta solo ingresa muy al norte durante los meses de verano (**figura 76 [a]**).

Durante el fenómeno de El Niño, la TSM aumenta porque la corriente de El Niño logra avanzar a lo largo de la costa peruana; esto se debe a un debilitamiento de los vientos alisios. Además, el APS también se debilita y se aleja de la costa que está frente a Chile, lo que lleva a una pérdida de fuerza de la corriente de Humboldt (**figura 76 [b]**).

Hasta ahora hemos aprendido sobre la fase cálida de la variabilidad climática; pero sabemos que también existe una fase fría: La Niña, que está asociada con temperaturas superficiales del mar más bajas que lo normal. En tales condiciones, las aguas frías invaden el Pacífico ecuatorial y se extienden al oeste debido al fortalecimiento de los vientos alisios (**figura 77**).

El Niño y La Niña, ambos fenómenos naturales, son las caras opuestas de la variabilidad climática y tienen repercusiones significativas alrededor del mundo (ej.: sequías e inundaciones). Por ello, los científicos mejoran día a día su conocimiento del tema y desarrollan diversos métodos de predicción que sean útiles a la sociedad.

Actualmente, El Niño y La Niña son conocidos en el mundo científico como la fase cálida y fría del ENOS (**El Niño – Oscilación Sur**). Esta no es solo una nueva denominación, sino que incluye en su estudio otros elementos atmosféricos y oceánicos relevantes. Sin embargo, nosotros no profundizaremos en el tema porque creemos que la información proporcionada, si es bien aprendida, sentará las bases para los siguientes niveles de aprendizaje.



Para concluir con esta sección de la guía, es importante señalar que ahora contamos con el conocimiento científico necesario para entender el tiempo y el clima. Comprender la ciencia detrás de estos fenómenos atmosféricos nos ayudará a enfrentar eventos futuros, como los posibles desastres naturales (eventos meteorológicos extremos) o el cambio climático.

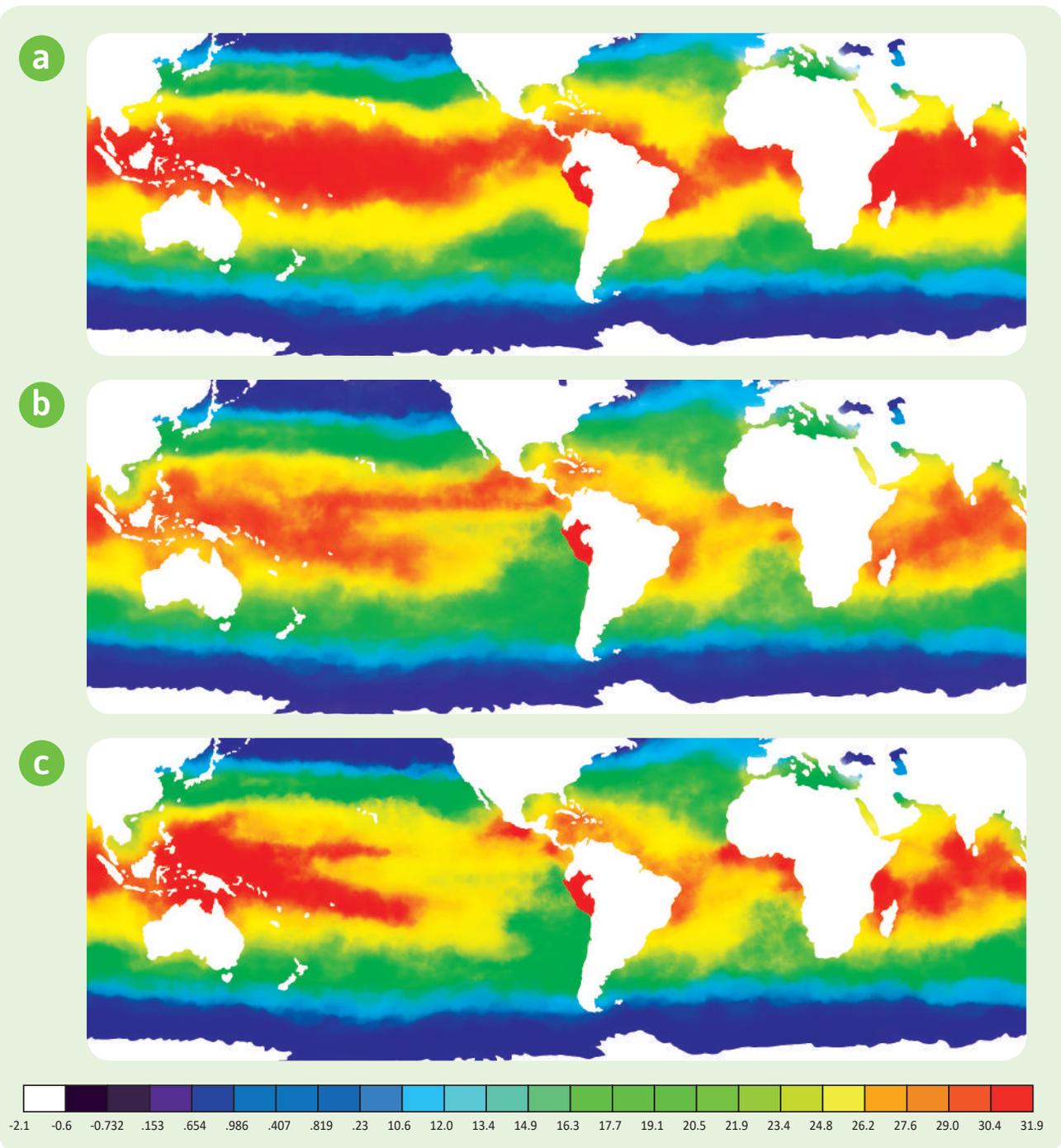


Figura 77. Temperatura superficial del mar (TSM). [a] En condiciones de El Niño; [b] en condiciones normales; [c] en condiciones de La Niña (Office Satellite and Product Operations, 2012).



Autoevaluación

- ¿Cuáles son los elementos atmosféricos y oceánicos que definen El Niño?
- Lista cinco ejemplos de cómo los humanos podemos afectar los componentes del sistema climático.
- En setiembre del 2013 el volcán Ubinas, en Moquegua, hizo erupción varias veces. Describe cómo este evento ha afectado los cinco componentes del sistema climático y cómo estos componentes influyen entre sí.

3. USO DE LA INFORMACIÓN SOBRE EL TIEMPO Y EL CLIMA

Hemos demostrado cómo los fenómenos meteorológicos afectan nuestra vida diaria, y de qué manera a lo largo de nuestra historia sufrimos las consecuencias del cambio climático y de los eventos meteorológicos extremos. Justamente porque comprendemos que nuestra sociedad y nosotros somos vulnerables al tiempo y al clima, hemos estudiado estos fenómenos. Ahora tenemos una idea general de cómo ocurren y de qué forma describirlos a través de las variables meteorológicas.

En esta sección aprenderemos a usar la información que nos ofrecen los Servicios Meteorológicos y los medios de comunicación que hacen eco de las

instituciones del Estado (**tabla 14**), como el Ministerio del Ambiente. A través de sus instituciones adscritas (**tabla 15**), el Ministerio del Ambiente permite incrementar la información sobre la contaminación ambiental, los fenómenos atmosféricos, los recursos hídricos y naturales, la diversidad biológica, las áreas naturales protegidas, el cambio climático, y las políticas ambientales.

Si bien cualquier tema puede ser encontrado fácilmente en internet, debemos asegurarnos de brindar a nuestros estudiantes información confiable y actualizada. Esto lo podemos lograr recurriendo a estas instituciones y usando sus productos y servicios.

Institución	Información
Dirección de Hidrografía y Navegación	Realiza actividades relacionadas con las ciencias del ambiente en el ámbito acuático. Proporciona información sobre el diagnóstico y el pronóstico del estado del mar, difunde cartas de inundación, da avisos a los navegantes, alerta sobre tsunamis y oleajes, etc. https://www.dhn.mil.pe/
Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres	Es un organismo público ejecutor que conforma el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, y se encarga de la estimación de riesgo, la prevención y la reconstrucción después del desastre. http://www.cenepred.gob.pe/
Instituto del Mar del Perú	Genera conocimiento científico y tecnológico para el uso sostenible de los ecosistemas marinos y de las aguas continentales. http://www.imarpe.gob.pe/
Instituto Nacional de Defensa Civil	Se encarga de la preparación, respuesta y rehabilitación en caso de desastres naturales. http://www.indeci.gob.pe/
Instituto Nacional de Innovación Agraria	Propicia la innovación tecnológica agraria para incrementar su productividad y sostenibilidad. Nos proporciona información sobre el manejo de cultivos, la diversidad genética, el riego, etc. http://www.inia.gob.pe/
Ministerio de Agricultura y Riego	Genera bienes y servicios para los sectores productivos agrarios. http://www.minag.gob.pe/portal/

Tabla 14. Instituciones que nos proporcionan productos y servicios relacionados con el ambiente

	<p>Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú</p> <p>Se encarga de la investigación y vigilancia atmosférica, además de proporcionar información pertinente a través de sus servicios y productos meteorológicos, hidrológicos y climáticos.</p> <p>Principal: http://www.senamhi.gob.pe/ Pronóstico del tiempo: http://www.senamhi.gob.pe/?p=0101 Aprendiendo: http://www.senamhi.gob.pe/?p=1003</p>
	<p>Instituto Geofísico del Perú</p> <p>Estudia los fenómenos relacionados con la estructura, las condiciones físicas y la historia evolutiva de la Tierra: terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, inundaciones, sequías, huaicos y deslizamientos de tierra.</p> <p>Principal: http://www.igp.gob.pe/</p>
	<p>Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana</p> <p>Promueve las metodologías adecuadas para el aprovechamiento eficiente y ordenado de los recursos naturales y del territorio amazónico peruano.</p> <p>Principal: http://www.iiap.org.pe/</p>
	<p>Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental</p> <p>Verifica el cumplimiento de la legislación ambiental por todas las personas naturales y jurídicas.</p> <p>Principal: http://www.oefa.gob.pe/ Normas: http://www.oefa.gob.pe/normas-y-proyectos-normativos</p>
	<p>Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado</p> <p>Asegura la conservación de las áreas naturales protegidas del país, su diversidad biológica y el mantenimiento de sus servicios ambientales.</p> <p>Principal: http://www.sernanp.gob.pe/sernanp/ Listado oficial de áreas naturales protegidas: http://www.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/biblioteca/mapas/ListasAnps_18092014.pdf</p>
	<p>Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles</p> <p>Se encarga de la revisión y aprobación de los estudios detallados de impacto ambiental de los proyectos de inversión pública, privada o de capital mixto que puedan causar impactos ambientales significativos.</p> <p>Principal: http://www.senace.gob.pe/ Normas: http://www.senace.gob.pe/normativa/</p>
	<p>Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña</p> <p>Fomenta y expande la investigación científica y tecnológica en el ámbito de los glaciares y los ecosistemas de montaña, promoviendo su gestión sostenible en beneficio de las poblaciones que viven en o se benefician de dichos ecosistemas.</p> <p>Principal: http://www.inaigem.gob.pe</p>

Tabla 15. Instituciones adscritas al Ministerio del Ambiente. Funciones y principales enlaces (Minam, s/f).



3.1. Conocimiento local sobre el tiempo y el clima

El uso del conocimiento sobre el tiempo y el clima no es una práctica nueva. Muchas civilizaciones valoraban el conocimiento de su medioambiente y lo usaban para desarrollar su agricultura, escoger zonas de pastoreo, diseñar sus ciudades, programar su calendario de rituales o mejorar su calidad de vida. El Perú no es la excepción, ya que los incas explotaban su conocimiento del tiempo y el clima al máximo. Un claro ejemplo es el uso de andenes para crear microclimas que les permitieran cultivar una gran variedad de plantas y mejorar su producción.

Después de la Conquista, perdimos mucho de nuestro conocimiento ancestral. Sin embargo, aún en la actualidad, las comunidades campesinas poseen estos conocimientos, que han pasado de generación en generación. Aunque parezcan desactualizados a los ojos de nuestra sociedad actual, son en realidad información útil para mejorar el sistema de pronóstico meteorológico actual, los sistemas de manejo de riesgo y las estrategias de adaptación al cambio climático.

En las últimas décadas se ha vuelto a valorar nuestro conocimiento ancestral y

se han realizado esfuerzos por recopilar información acerca de las prácticas ancestrales usadas en las comunidades de nuestro país. Por ejemplo, se ha reunido información sobre indicadores (plantas, animales, estrellas, fenómenos físicos y climáticos) de un buen o mal año para la agricultura, la prevención y mitigación de eventos meteorológicos extremos, y el pronóstico del clima. En este caso, un indicador es una observación cualitativa que nos permite identificar cambios en el tiempo o el clima.

En la **tabla 16** presentamos algunos ejemplos acerca del conocimiento local sobre el tiempo y el clima en el valle del Mantaro: son los indicadores usados para pronosticar el clima a partir de la idea de un buen o mal año para la agricultura. Un buen año significa que el valle cuenta con suficiente lluvia, que esta llegue a tiempo (a partir de setiembre) y sin interrupciones (sin veranillos¹⁶). La **tabla 17** muestra los indicadores usados para pronosticar los eventos meteorológicos extremos más comunes de la región. Y la **tabla 18** describe las acciones que realizan los pobladores del valle del Mantaro para evitar o mitigar los eventos meteorológicos extremos más frecuentes de la región.

Es importante tener en cuenta que los conocimientos locales que presentamos no han sido comprobados, pero forman parte de la cultura y costumbres de la región. Eso no significa que carezcan de bases científicas, pero aún no existen suficientes estudios que verifiquen esta información. Por esta razón, es nuestra responsabilidad, como docentes, recopilar este tipo de información. Es decir, identificar los indicadores del tiempo y el clima en nuestra propia localidad o región para que luego la comunidad científica pueda estudiarlos, evaluarlos y verificarlos.

¹⁶Para Martínez et ál., el veranillo es la falta de lluvia por más de una semana en temporada de lluvias ya iniciadas.

Categoría	Indicador	Descripción
Indicadores astronómicos	Posición de las pléyades (del 24 de junio al 24 de julio)	Si la estrella más grande se encuentra al este, las lluvias llegarán a tiempo.
	Posición de la Luna	Si la Luna en cuarto creciente ve inclinada, será un buen año.
Indicadores biológicos	Comportamiento de la fauna	Si el aullido del zorro es grueso, será buen año.
	Estado de la flora local	Una buena floración de cactus y juncos indica buen año.
		Si la ramilla (<i>Senecio Rudbeckia folius</i>) florece intensamente en agosto, habrá sequía.
	Si el cushuro (<i>Nostoc commune vauch</i>) crece abundantemente en las piedras del río, habrá una buena producción agrícola.	
Indicadores hidro-meteorológicos	Indicadores hidrológicos	Si el río suena fuerte, será un buen año.
		Si los pozos de agua se llenan de arena, será un buen año.
	Indicadores meteorológicos	Si nieva entre junio y julio, será un buen año.
		Si en las primeras lluvias hay granizo, esto indica buen año.
		Si caen rayos en agosto, habrá un mal año.

Tabla 16. Pronóstico del clima de acuerdo con el conocimiento local en el valle del Mantaro. Según Martínez et ál. (2012).

Evento	Indicadores
Veranillos	<ul style="list-style-type: none"> • Si la nieve cae de color blanco resplandeciente. • Si las neblinas son de color anaranjado.
Sequías	<ul style="list-style-type: none"> • Si el Sol resplandece y tiene un arcoíris alrededor. • Si cae helada en enero, febrero o marzo. • Si en una noche estrellada se puede observar un arado de estrellas. • Si las nubes tienen forma de ramas o son amarillentas y anaranjadas. • Si las hojas de eucalipto se marchitan, amarillean y caen.
Lluvias	<ul style="list-style-type: none"> • Si la Luna en cuarto creciente se ve inclinada. • Si los sapos croan a partir de las 6 p. m. • Si los colores del arcoíris son menos intensos.
Heladas	<ul style="list-style-type: none"> • Si el cielo está despejado y la noche estrellada. • Si hay un fuerte viento del sur en la tarde, cielo despejado y se ven las estrellas.
Granizadas	<ul style="list-style-type: none"> • Si las nubes son negras o plomas y hay fuerte viento. • Si la neblina es espesa. • Si en los meses lluviosos solea fuertemente. • Si al mediodía suenan fuertes truenos.

Tabla 17. Pronóstico de eventos meteorológicos extremos de acuerdo con el conocimiento local en el valle del Mantaro. Según Martínez et ál. (2012).

Evento	Medidas para evitar el fenómeno	Medidas para mitigar el fenómeno
Veranillos y sequías	<ul style="list-style-type: none"> • Recoger agua de lagunas en recipientes de barro. • Quemar material para formar nubes. • Lanzar sal negra siete veces con una honda a las lagunas. 	—
Heladas	<ul style="list-style-type: none"> • Quemar pasto o chala. • Vestirse de negro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tener chacras a diferentes alturas y sembrar cultivos variados o tolerantes.
Granizadas	<ul style="list-style-type: none"> • Esparcir tierra negra en dirección del granizo. • Quemar objetos. • Que las personas que nacieron en los meses de verano soplen al aire. • Hacer aullar a los perros. 	—
Rayos	<ul style="list-style-type: none"> • Quemar y humear material. 	<ul style="list-style-type: none"> • Usar prendas de plástico o jebe. • Evitar las partes altas de los cerros. • No llevar metales.

Tabla 18. Medidas para evitar o mitigar eventos meteorológicos extremos de acuerdo con el conocimiento local en el valle del Mantaro. Según Martínez et ál. (2012).

La información mostrada solo es una pequeña parte de todos los datos recogidos por las diferentes instituciones, pero nos da una idea de cuánto dependen las comunidades de nuestro país del tiempo y el clima; y de cuánto podemos aprender de ellas, aun si no se encuentran en nuestra propia región.

3.2. Observación, monitoreo y pronóstico del tiempo y el clima

Conscientes de la influencia del tiempo y el clima en el desarrollo de nuestras actividades, nos hemos visto en la necesidad de monitorear las variables meteorológicas que describen estos fenómenos atmosféricos. Para ello, se han establecido redes de observación y monitoreo en todo el mundo, tanto de variables meteorológicas como de otras variables (caudal, temperatura superficial del mar, contaminantes, etc.) que ayudan a entender mejor estos eventos.

Los diferentes componentes de la red de observación son los siguientes:

- **Observaciones de superficie:** son realizadas por las estaciones meteorológicas en la superficie o cerca de ella (**figura 78**). Dependiendo del tipo de estación, instrumento usado y variable meteorológica, las observaciones se pueden llevar a cabo diariamente, cada tres horas, cada hora o de forma continua. Las variables meteorológicas observadas más comunes son la presión atmosférica, la velocidad y dirección del viento, la temperatura del aire, la precipitación y la nubosidad.
- **Observaciones de altitud:** son realizadas a través de radiosondas, que son instrumentos sujetos a globos que se sueltan en la atmósfera para hacer mediciones de la vertical de presión, la dirección y velocidad de viento, la temperatura y la humedad. Debido al elevado costo de estas observaciones, existen menos estaciones de radiosondeo.



© Martene Dapozzo Moali - SENAMHI / PERÚ

Figura 78. Componentes de la estación meteorológica de superficie. Estación Meteorológica Santa Ana (Junín).

- **Observaciones marítimas:** son realizadas por barcos, plataformas marinas o boyas, los cuales realizan casi todas las observaciones que se pueden hacer en la superficie, pero además llevan a cabo otras observaciones, como las referidas a la temperatura superficial del mar (TSM) y a la altura de las olas.
- **Observaciones aéreas:** son realizadas por aviones, gracias a la colaboración de aerolíneas comerciales y a la Organización Internacional de Aviación Civil ICAO, por International Civil Aviation Organization). Estos proveen, durante el vuelo, reportes de diversos parámetros, como la presión, el viento, la temperatura, la humedad, la turbulencia, entre otros.
- **Observaciones de satélite:** son realizadas por los diferentes satélites que se encuentran orbitando la Tierra. Estos satélites están equipados usualmente con cámaras que captan la radiación visible e infrarroja que emite la Tierra; además, cuentan con sondas con las cuales se pueden calcular muchos parámetros meteorológicos. Utilizando técnicas sofisticadas, las imágenes de satélite nos pueden brindar información de nubosidad (**figura 79 [a]**), temperatura (**figura 79 [b]**) o cantidad de vapor de agua (**figura 79 [c]**).

- **Otras plataformas de observación:** incluyen la observación de precipitación por medio de radares meteorológicos, la detección de relámpagos, la medición de mareas y la observación de vientos a diferentes niveles a través de

perfiladores de viento. Sin embargo, debido a la complejidad y costo de estas observaciones, la información es escasa e, incluso, inexistente en la mayoría de países en vías de desarrollo.

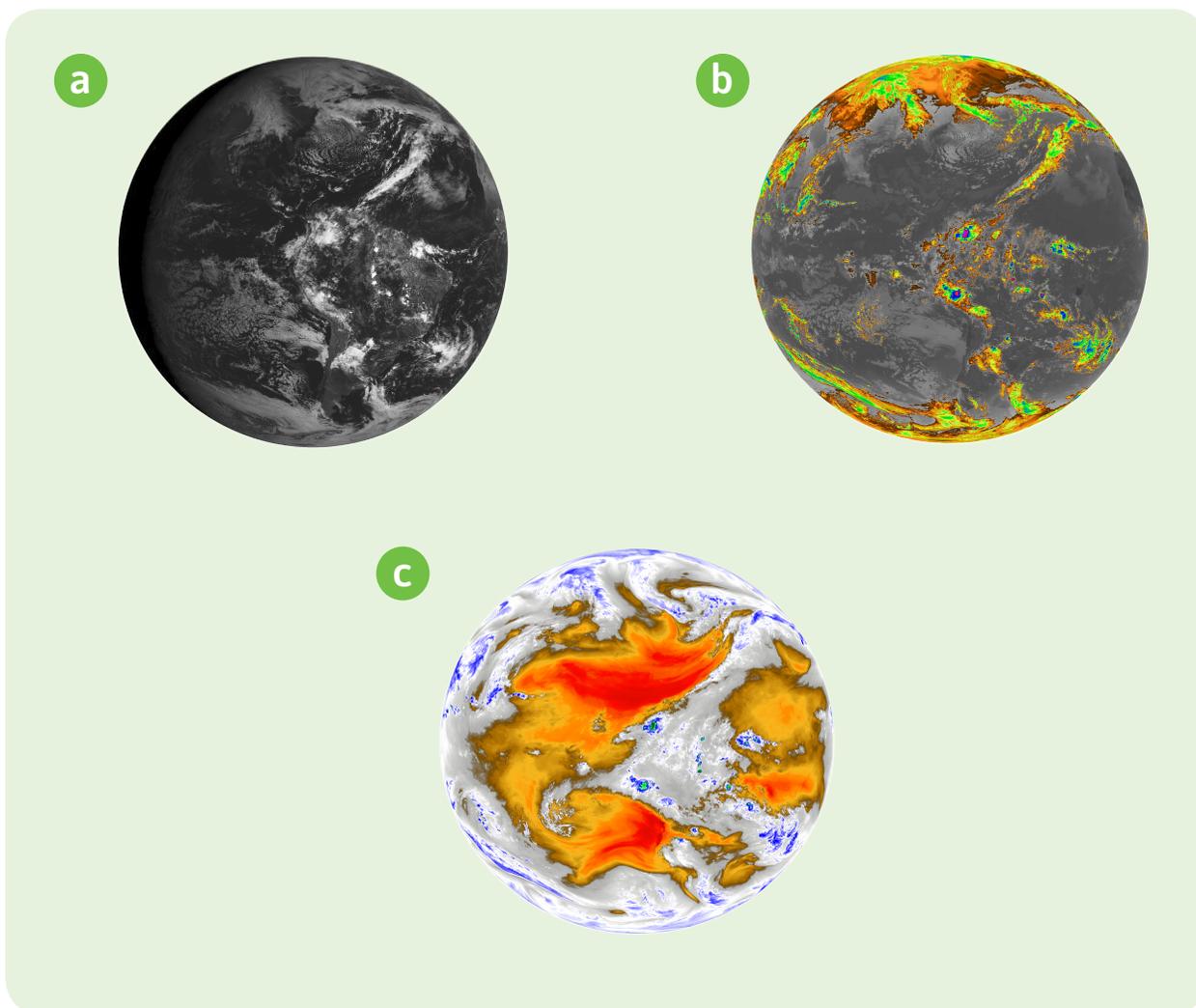


Figura 79. Imágenes de la Tierra tomadas por el satélite GOES 16. [a] Imagen en el espectro visible; [b] imagen en el espectro infrarrojo (13-13,7 μm) con un tratamiento de color; [c] imagen en el espectro infrarrojo (5,8-7,3 μm) con un tratamiento de color (SENAMHI).

3.2.1. Red de observación en el Perú

En nuestro país también contamos con una red de estaciones meteorológicas (**figura 80**), las cuales cumplen con ciertos requerimientos técnicos que garantizan la calidad de las observaciones. Estas se realizan de manera sincronizada; por

esta razón, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha establecido horas fijas de observación.

Horas principales: 00:00, 06:00, 12:00, y 18:00 UTC (tiempo universal coordinado)¹⁷.

Horas intermedias: 03:00, 09:00, 15:00, y 21:00 UTC.

¹⁷ UTC es el tiempo estándar usado en todo el mundo (anexo 8).

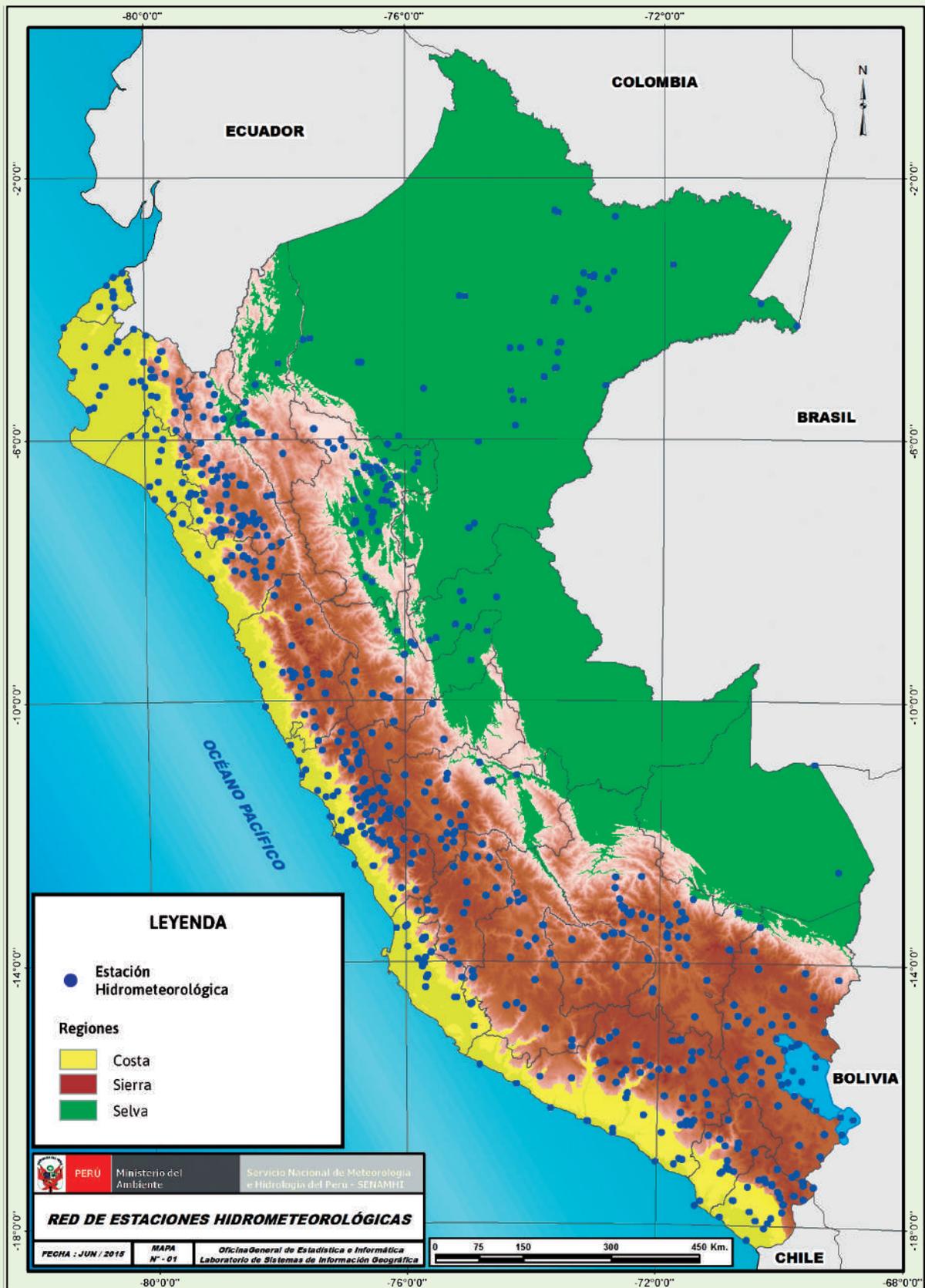


Figura 80. Red de estaciones hidrometeorológicas del Perú. Según SENAMHI.

Clasificación	Nombre	Descripción
Por su finalidad	Sinóptica	Efectúan observaciones de manera horaria y las transmiten inmediatamente a los centros de recolección de datos para usarlas en el pronóstico del tiempo.
	Climatológica	Las observaciones se realizan tres o cuatro veces al día y son usadas para estudiar el clima.
	Agrometeorológica	Efectúan simultáneamente observaciones meteorológicas y biológicas usadas para fines agrícolas.
	Hidrológica	Efectúan observaciones de los cursos de agua.
Por el nivel de observación	Superficie	Realizan observaciones en la superficie o cerca de ella.
	Altitud	Realizan observaciones en la vertical de la atmósfera a través de radiosondas.
Por la magnitud de observaciones	Principales	Miden una gran cantidad de variables meteorológicas y poseen varios instrumentos registradores.
	Ordinarias	Miden solo las variables meteorológicas más importantes, como la temperatura del aire y la precipitación. Poseen muy pocos instrumentos registradores.
	Auxiliares	Realizan observaciones puntuales que son requeridas para fines específicos.
Por el tipo de instrumentos utilizados	Convencionales	Las observaciones son realizadas por el personal técnico de la estación a determinadas horas.
	Automáticas	Las observaciones son continuas (ej.: cada minuto) y registradas por el instrumento automáticamente.

Tabla 19. Clasificación de las estaciones meteorológicas

Las estaciones meteorológicas pueden clasificarse por su finalidad, el nivel de observación, la magnitud de las observaciones que realizan o el tipo de instrumentos utilizados (tabla 19). Es por ello que no todas las estaciones poseen los mismos instrumentos; en consecuencia, no realizan las mismas observaciones.

Si conocemos la clasificación de una estación, podemos saber qué tipos de observaciones se efectúan (tabla 20) y

también a qué horas se llevan a cabo. Las estaciones meteorológicas sinópticas realizan observaciones en las horas principales e intermedias (01:00, 03:00, 07:00, 09:00, 13:00, 15:00, 19:00 y 21:00, hora local); las estaciones climatológicas lo hacen a las 07:00, 13:00 y 19:00, hora local; las estaciones agrometeorológicas, a las 07:00, 10:00, 13:00, 16:00 y 19:00, hora local, y las estaciones hidrológicas, a las 06:00, 10:00, 14:00 y 18:00, hora local.



Variable	Sinóptica principal	Climatológica principal	Agrometeorológica	Hidrológica
Presión atmosférica	X	X		
Precipitación	X	X	X	X
Temperatura del aire (incluidas las extremas)	X	X	X	
Humedad del aire	X	X	X	
Nubosidad	X	X	X	
Vientos	X	X	X	
Viento a diferentes niveles de altura			X	
Radiación solar		X	X	
Insolación		X	X	
Evaporación		X	X	
Evapotranspiración			X	
Temperatura del aire a diferentes niveles		X	X	
Temperatura del suelo a 5, 10, 20, 30, 50, 100 cm de profundidad			X	
Caudal				X
Nivel del agua				X
Transporte y depósito de sedimentos				X
Temperatura del agua				X

Tabla 20. Tipos de observaciones realizadas por las diferentes estaciones meteorológicas

3.2.2. Productos y servicios del SENAMHI

El SENAMHI se encarga de mantener la red nacional de estaciones para procesar y analizar los datos. Además, incorpora en su análisis otras fuentes de información meteorológica, como imágenes satélite y productos de modelos meteorológicos. Es así como crea productos útiles y comprensibles

para los diferentes sectores de la sociedad (figura 81).

Uno de los productos más importantes que procesa el SENAMHI son las normales (cap. I, secc. 1). Año tras año, las estaciones meteorológicas recopilan estos datos y cuando obtienen un registro lo suficientemente largo (al menos 30 años), lo usan para describir el clima de la localidad o región (tabla 21).

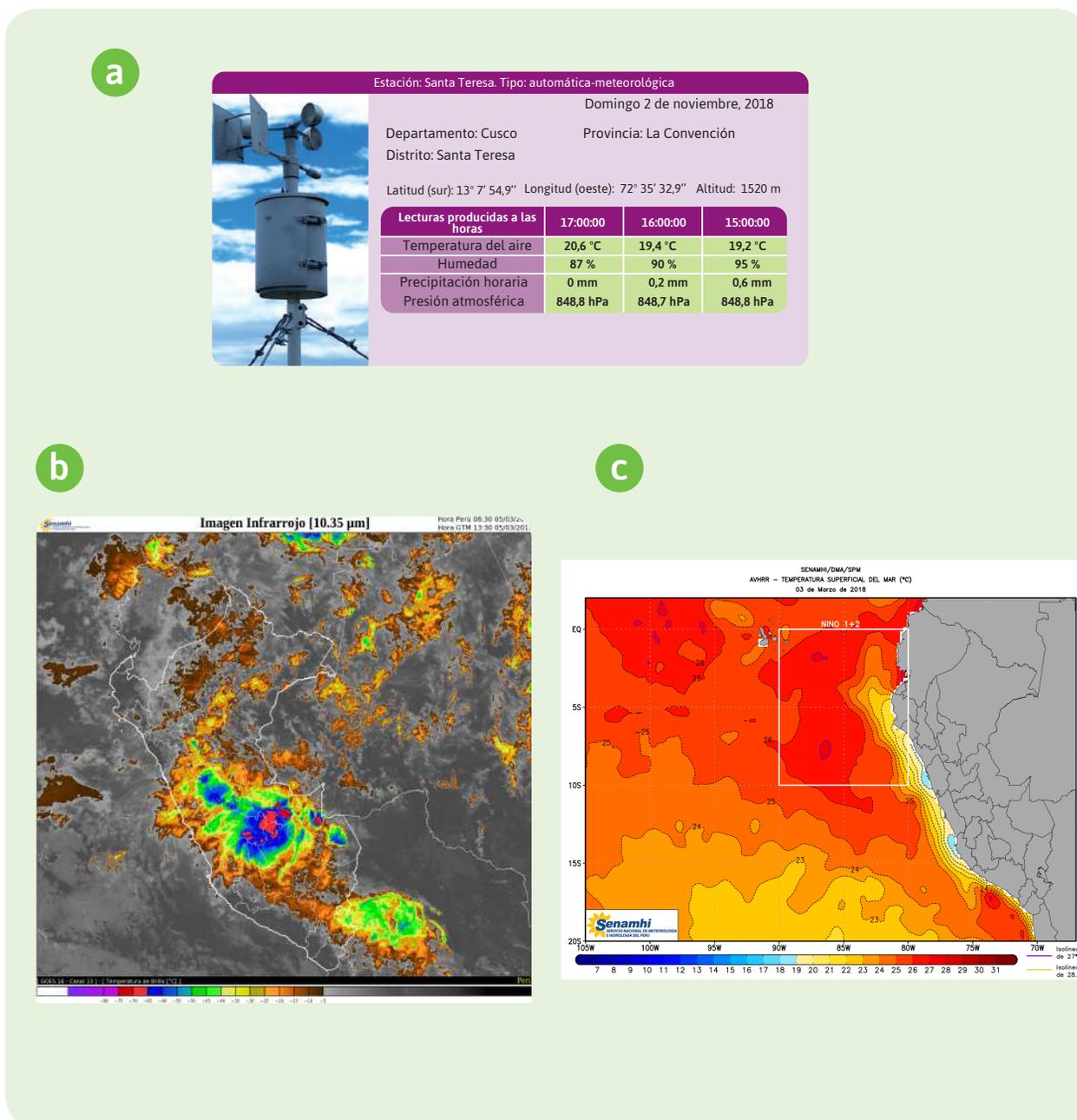


Figura 81. Algunos productos del SENAMHI que nos informan sobre las condiciones actuales del tiempo: [a] Datos en tiempo real de estaciones automáticas a nivel nacional; [b] imágenes satélite de Perú; [c] temperatura superficial del mar diaria (SENAMHI).

Matucana, Lima												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
T máx.(°C)	22,8	22,6	22,3	22,9	23,4	23,7	23,8	23,8	24,2	24,0	23,9	23,7
T mín.(°C)	8,4	8,8	8,8	7,9	7,4	7,0	6,2	6,6	7,1	7,6	7,1	8,0
pp (mm)	60,4	74,7	79,9	20,5	1,4	0,2	0,0	0,3	0,6	7,6	14,7	41,7

Jauja, Junín												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
T máx.(°C)	21,8	21,5	20,8	21,4	21,9	21,4	21,6	22,1	22,6	22,7	22,9	22,7
T mín.(°C)	3,1	3,3	2,9	1,1	-2,0	-4,0	-4,8	-3,2	-0,7	1,4	2,0	2,5
pp (mm)	106,1	107,9	105,0	44,4	11,6	6,5	4,0	6,8	25,6	58,8	70,3	95,2

Mazo Cruz, Puno												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
T máx.(°C)	19,1	18,6	18,7	18,6	18,1	17,3	17,4	18,5	19,4	20,9	21,2	21,0
T mín.(°C)	-4,9	-5,2	-5,8	-11,0	-16,1	-19,0	-19,7	-18,8	-17,2	-15,4	-13,4	-9,9
pp (mm)	134,7	119,5	89,8	26,6	4,9	2,9	3,1	7,4	6,5	18,4	28,5	67,3

Tabla 21. Condiciones normales de algunas localidades de los Andes, 1981–2010. Según SENAMHI.

Las normales nos indican cuáles son las condiciones normales o esperadas en la localidad. Si las comparamos con las condiciones actuales, podemos determinar en qué medida las condiciones actuales se desvían de las condiciones normales. Esta desviación se conoce como **anomalía** y

nos indica si las condiciones actuales son más frías o más calientes de lo normal, más húmedas o más secas de lo normal o presentan mayor precipitación o menor precipitación de lo normal. Las anomalías también se pueden calcular entre condiciones promedio y condiciones puntuales.

Anomalía = condiciones actuales – condiciones normales
 Anomalía = condiciones puntuales – condiciones promedio



Si bien es importante conocer el tiempo y el clima, su pronóstico es igual de importante para la planificación de actividades cotidianas, la construcción del calendario agrícola, el cálculo de riesgo de enfermedades, la prevención de eventos meteorológicos extremos, la adaptación al cambio climático e, incluso, para la protección de la vida y la propiedad.

Por esta razón, el SENAMHI también se encarga de proporcionar los pronósticos del tiempo y el clima (**figura 82**). Estos se pueden proyectar unas horas, días, meses. Se realizan a través de observaciones de las condiciones atmosféricas actuales, el análisis de los datos y el uso de modelos numéricos.

En los últimos años se han hecho importantes avances en nuestra comprensión de la atmósfera y en el uso de instrumentos y herramientas para el monitoreo y pronóstico del tiempo y el clima.

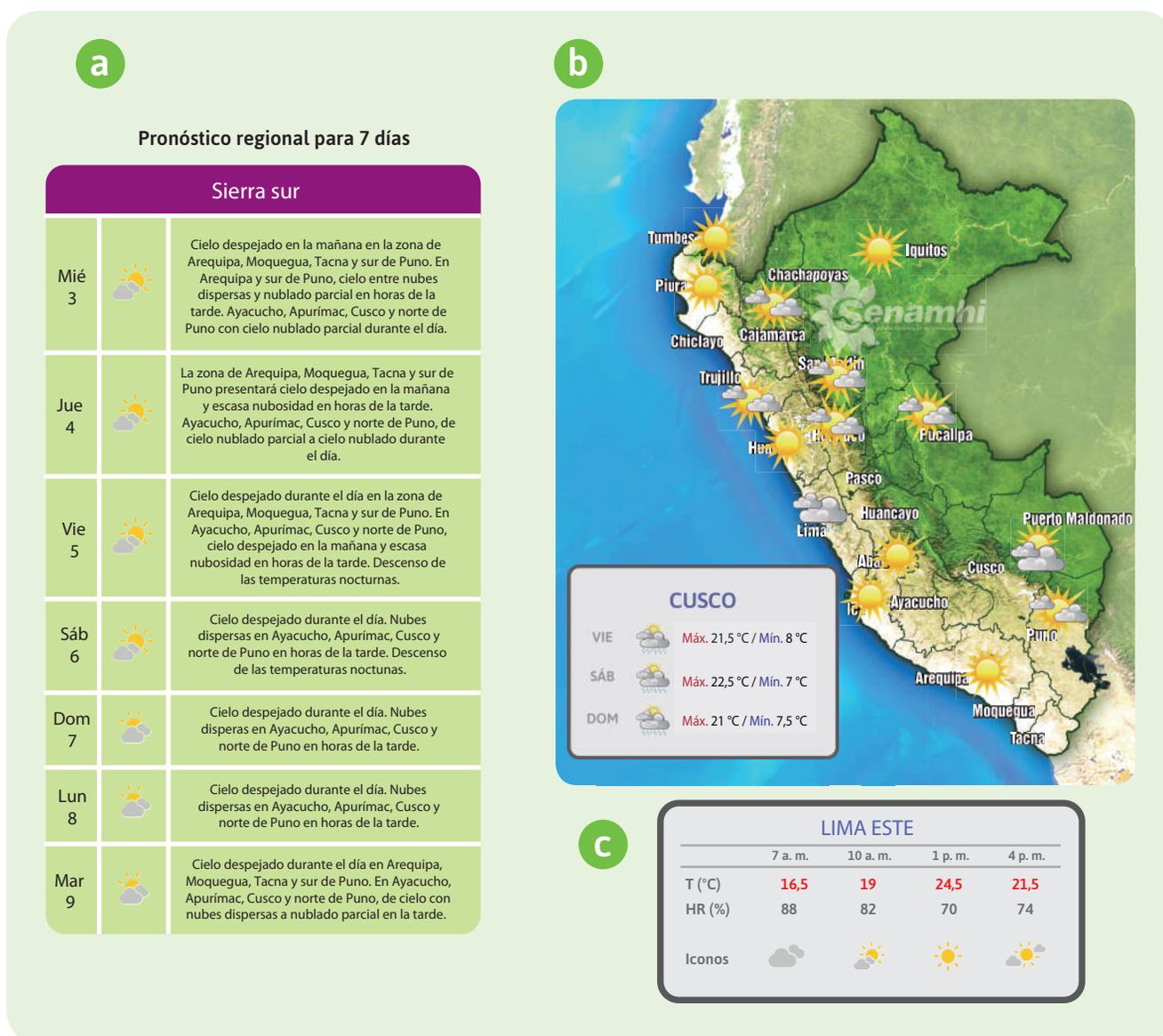


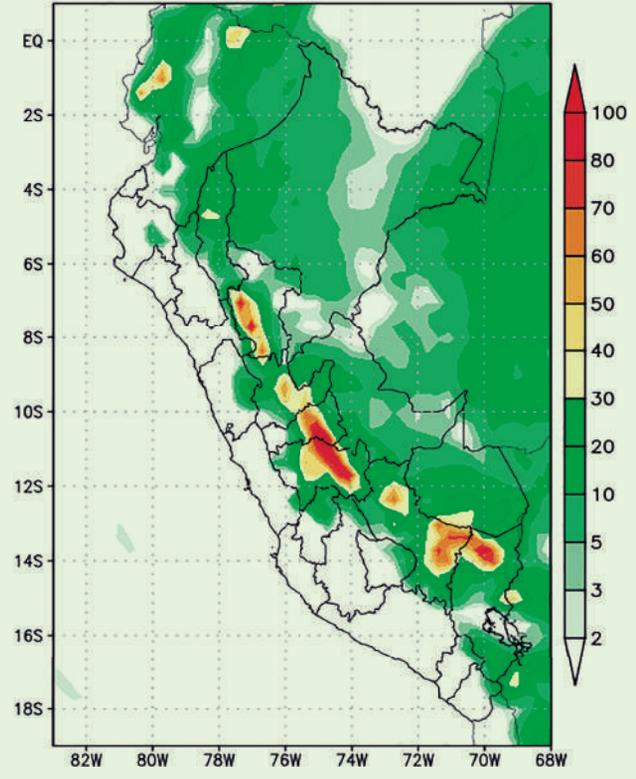
Figura 82. Algunos productos del SENAMHI que nos informan sobre el pronóstico del tiempo. [a] A nivel regional extendido a 7 días; **[b]** a nivel nacional; **[c]** horario a nivel local; **[d]** de radiación ultravioleta; **[e]** haciendo uso del modelo ETA (SENAMHI).

d

Junín (Prov. Yauli)	Tacna	Piura	Moquegua	Lima	Ica	Cusco	Cajamarca	Arequipa
Índice UV 12	Índice UV 7	Índice UV 10	Índice UV 10	Índice UV 6	Índice UV 10	Índice UV 11	Índice UV 10	Índice UV 11
Muy alto	Moderado	Alto	Alto	Moderado	Alto	Alto	Alto	Alto

e

Centro de predicción numérica del SENAMHI - Modelo ETA 32 km
Precipitación acumulada (últimas 24 horas, mm)
Análisis: 12 UTC 6/Ene/2016 Valido: 12 UTC 11/Ene/2016



Lo importante para nosotros es familiarizarnos con estos productos y usarlos para planificar nuestras propias actividades y las de nuestra localidad.

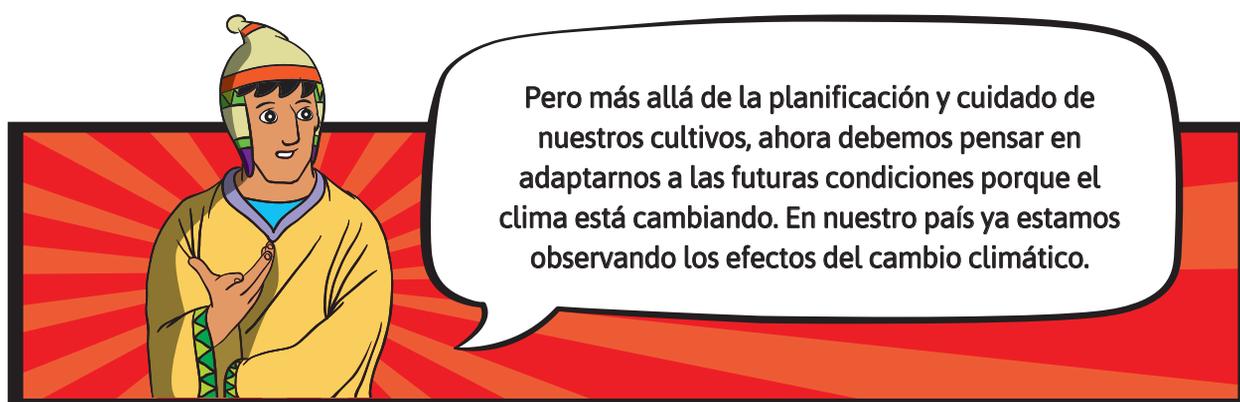


3.3. Información sobre el tiempo y el clima para la adaptación de cultivos

La agricultura es una importante actividad económica en nuestro país y, como hemos visto anteriormente (**cap. I, secc. 2.1.**), requiere del conocimiento del tiempo y el clima. Esta actividad se ve afectada diariamente por las condiciones atmosféricas; por ello, requiere de los pronósticos de temperatura, precipitación o posibles heladas y sequías.

Como sabemos, el cambio climático es un proceso natural, pero debido a las actividades humanas, este proceso se está acelerando. Los patrones de precipitación,

temperatura, humedad y disponibilidad de agua están cambiando (**cap. I, secc. 6.**), y esto afecta directamente la actividad agrícola. De acuerdo con el IPCC, hacia la mitad del siglo XXI se espera que exista un incremento en la productividad agrícola en latitudes medias y altas; que en las regiones tropicales con sequía estacional (Andes) se reduzca la productividad de los cultivos; que se incremente la frecuencia de sequías, inundaciones y desplazamiento de tierras; que las regiones secas experimenten la salinización y desertificación de las tierras agrícolas; que aumente la erosión del suelo, y que proliferen los brotes de insectos.



Pero más allá de la planificación y cuidado de nuestros cultivos, ahora debemos pensar en adaptarnos a las futuras condiciones porque el clima está cambiando. En nuestro país ya estamos observando los efectos del cambio climático.

En los últimos años se ha incrementado el registro de eventos climáticos extremos, como inundaciones, sequías y tormentas, lo cual trae consigo el desarrollo de plagas, además de los eventos de friaje, heladas y granizadas en la sierra sur. La distribución de las lluvias también ha cambiado, lo que ha retrasado la época de siembra y cosecha; esto significa que existe el riesgo de que los cultivos se vean perjudicados por las primeras heladas. Entre los cultivos más afectados se encuentran la papa, el maíz amiláceo, el maíz amarillo duro, la cebada grano, el arroz, el trigo, la quinoa y el plátano.

Frente a este escenario, existe una posibilidad: la adaptación. Para ello,

podemos tomar en cuenta diversas estrategias: el cambio en los tiempos, frecuencias y localización de los cultivos; la adopción de nuevas variedades o la combinación de diferentes tipos de cultivo (diversificación); la sustitución de cultivos o la adopción de nuevas tecnologías y prácticas de cultivo (ej.: irrigación); el desarrollo de nuevas variedades que se adapten mejor a las nuevas condiciones (investigación); la zonificación agroecológica; el control de la erosión y el mantenimiento de la fertilidad del suelo; la mejora de tecnologías para el manejo de la carencia y el exceso del agua en la agricultura, y la implementación de una gestión eficiente del agua (Rodríguez, 2007).

La adaptación al cambio climático implica un proceso de adecuación a las nuevas modificaciones ambientales, pero es necesario que esta adaptación sea planificada y basada tanto en la observación y previsión de los cambios futuros como en las condiciones y vulnerabilidades existentes en la actualidad.

Entonces, para llevar a cabo estas acciones que mitigarán los efectos del cambio climático, debemos conocer cuáles son las condiciones actuales y cuáles son las proyecciones del clima para los siguientes años. El SENAMHI nos proporciona variados productos tanto para el ámbito nacional como para el ámbito de las cuencas (ej.: Piura, Mantaro, Urubamba y Santa); los cuales se encuentran disponibles en la

página web del SENAMHI.

Se ha podido verificar que se ha producido una adaptación y resistencia de algunas especies ante la escasez de lluvias; este es el caso de la papa nativa que usan los agricultores de la microcuenca Mollebamba y que se encuentra en 50 distintas variedades. También se sabe que hacen uso de diferentes variedades de maíz, entre primitivo y derivado, que soportan variaciones climáticas y el ataque de diferentes plagas. Podemos observar cómo los agricultores de Mollebamba usan la estrategia del policultivo (uso de diferentes cultivos y variedades) para adaptarse a la variabilidad climática (**tabla 22**).

Cultivo / variedad	Número de agricultores	Porcentaje (%)
Alfalfa Moapa	4	36
Otras variedades de trigo	3	27
Papa Chocllone	3	27
Cebada seis hileras	2	18
Otras variedades de papa	2	18
Papa risgo	2	18
Trigo cahuide	2	18
Papa suito	1	9
Papa chocruntan	1	9
Variedades de haba	1	9
Alfalfa americana	1	9
Total	11	100

Tabla 22. Diversidad de cultivos en la microcuenca Mollebamba. Según encuesta hecha a once agricultores (SENAMHI).

Es así como la información climática, usada para planificar nuestras estrategias de adaptación, puede mitigar los impactos del cambio climático. Sin embargo, estas acciones no solo deben llevarse a cabo

en el ámbito local. Es necesario tomar conciencia de las posibles condiciones futuras y proponer cambios regionales y nacionales.



Autoevaluación

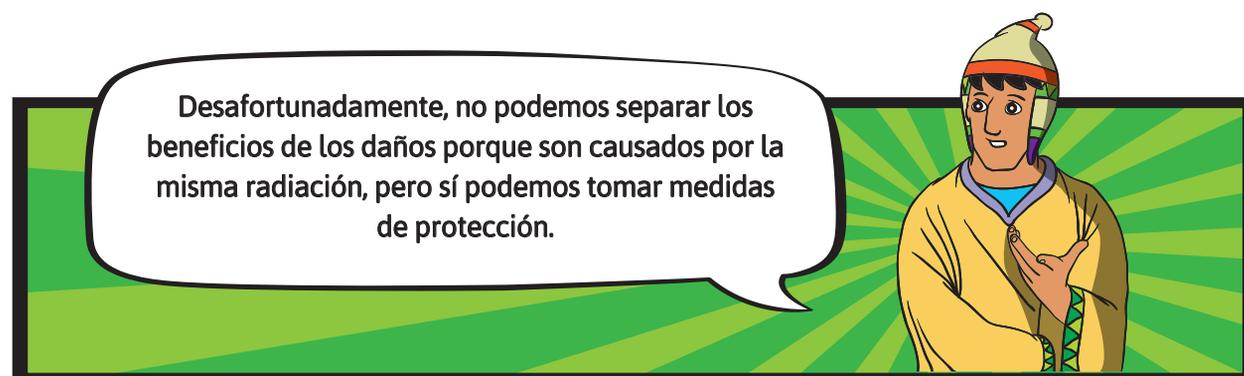
- Elabora un listado de los tipos de cultivo y las variedades usadas en tu comunidad.
- Elabora un listado de las estrategias de adaptación que actualmente se usan en tu comunidad.
- Pensando en esta variación futura, ¿qué posible estrategia de adaptación podría llevarse a cabo en tu localidad hacia el 2030?
- Ahora que reconocemos la importancia del conocimiento local sobre el tiempo y el clima, ayuda a recopilar información y crea tu propia base de datos tomando en cuenta las siguientes categorías:
 - › Indicadores usados para pronosticar el tiempo o clima.
 - › Indicadores usados para pronosticar eventos meteorológicos extremos.
 - › Prácticas que se efectúan para prevenir o mitigar los eventos meteorológicos extremos.
- Ordena en mapas conceptuales, esquemas o tablas la información recopilada. Puedes usar como modelo las tablas presentadas en este capítulo.
- Explica brevemente la importancia de los componentes de la red de observación meteorológica.
- Programa una visita para conocer cómo funciona una estación y cuáles son los instrumentos usados para la medición de las variables meteorológicas.
- Identifica las variables meteorológicas que son relevantes en tu vida diaria y determina cómo te gustaría recibir dicha información.

3.4. Información sobre el tiempo y el clima para cuidado de la salud

Así como usamos la información del tiempo y el clima para desarrollar de manera eficiente nuestras actividades económicas, podemos utilizar esta información para cuidar nuestra salud. Sabemos que algunos fenómenos meteorológicos recurrentes en nuestra localidad o región pueden afectarnos: tal es el caso de los friajes, que muchas veces ocasionan infecciones respiratorias; las olas de calor, que causan debilitamiento y deshidratación, especialmente en niños y ancianos, o las inundaciones, que incrementan el riesgo

de plagas responsables de infecciones virales (ej.: zancudos). Para todos estos casos el SENAMHI nos proporciona avisos meteorológicos sobre posibles eventos extremos. Sin embargo, existe una variable meteorológica que puede causarnos daños significativos, pero que, por lo general, no podemos percibir; estamos hablando de la radiación ultravioleta (UV).

La radiación UV tiene efectos tanto positivos como negativos en nuestra salud. La exposición a la radiación UV-B nos proporciona vitamina D, pero también puede causar quemaduras solares si nos exponemos a ella por demasiado tiempo.



El SENAMHI monitorea el comportamiento temporal de la radiación UV-B en las ciudades de Arequipa, Cajamarca, Cusco, Ica, Junín, Lima, Moquegua, Piura, Puno y Tacna e informa al público al respecto a través de un índice de radiación

ultravioleta (**IUV**) (**tabla 24**). Este índice es calculado para el mediodía porque es la hora de máxima radiación; también, representa diferentes respuestas para los diferentes tipos de piel (**tabla 23**).

Tipo de piel	Descripción	Respuesta a la exposición solar
I	Piel blanca con pecas	Siempre se quema fácilmente. Nunca se broncea.
II	Piel blanca	Siempre se quema fácilmente. Se broncea mínimamente.
III	Trigueño claro	Puede quemarse moderadamente. Puede broncearse gradualmente.
IV	Trigueño	Puede quemarse mínimamente. Siempre se broncea.
V	Moreno	Muy rara vez se quema. Se broncea muy fácilmente.
VI	Negro	Nunca se quema. Se broncea profundamente.

Tabla 23. Tipos de piel y su respuesta a la exposición solar. Según Universidad Santiago de Compostela (SENAMHI, 2007).

El SENAMHI informa acerca del IUV de algunas ciudades del Perú. Podemos tener una idea del IUV de nuestra localidad tomando en cuenta la ciudad más cercana o la que tiene una altitud que se aproxime a la de nuestra región. De esta manera,

conociendo el IUV, podemos tomar las medidas de prevención necesarias para evitar cualquier problema de salud provocado por una prolongada exposición solar.

Índice UV-B	Nivel de riesgo	Tiempo máximo sugerido de exposición al Sol			Acciones de protección
		Piel I y II	Piel III y IV	Piel V y VI	
1-2	Mínimo	< 1 hora	< 2 horas	< 2 horas	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguna.
3-5	Bajo	40 min	< 1 hora	< 1 hora	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar factor de protección solar.
6-8	Moderado	25 min	40 min	50 min	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar factor de protección solar. • Usar sombrero.
9-11	Alto	15-20 min	25-30 min	35-40 min	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar factor de protección solar. • Usar sombrero. • Usar gafas con filtro UV-A y UV-B.
12-14	Muy alto	10-15 min	15-20 min	20-30 min	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar factor de protección solar. • Usar sombrero. • Usar gafas con filtro UV-A y UV-B.
> 14	Extremo	< 10 min	< 15 min	< 20 min	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar factor de protección solar. • Usar sombrero. • Usar gafas con filtro UV-A y UV-B. • Limitar el tiempo de exposición.

Tabla 24. Índice de radiación UV y acciones de protección. Según SENAMHI (2007).

3. 5. Información sobre el tiempo y el clima en los sistemas de alerta temprana de eventos meteorológicos extremos

Anteriormente, hemos definido los eventos meteorológicos extremos y cómo afectan nuestra vida y a la sociedad en que vivimos. “Ocupamos el segundo lugar con mayor número de personas afectadas por desastres a nivel de Sudamérica” (Zilbert, 2012). Estos eventos, que son frecuentes en nuestra región, no dejarán de ocurrir, se presentarán una y otra vez. Por esta razón, debemos aprender a adaptarnos a ellos; es decir, debemos estar preparados para cuando estos eventos meteorológicos extremos se presenten.

El primer paso es estar debida y oportunamente informados. De esta manera, podremos reaccionar a tiempo y activar un plan de emergencia, y así aminorar los posibles daños. Por ello es importante contar con un adecuado sistema de alerta temprana (SAT). Los sistemas de alerta temprana son un conjunto de procedimientos que nos ayudan a determinar posibles situaciones de riesgo para alertar a la población y, así, minimizar su impacto. Estos se aplican

ante cualquier desastre natural, pero para nuestros fines nos vamos a enfocar en la prevención de eventos meteorológicos extremos.

El SAT posee cuatro componentes principales: el conocimiento del riesgo, el seguimiento y la alerta, la difusión y comunicación, y la capacidad de respuesta.

1. Conocimiento del riesgo: es la identificación de las vulnerabilidades del lugar y los posibles peligros. Para estimar el riesgo o crear un mapa de riesgo, debemos recopilar información acerca del territorio teniendo en cuenta los fenómenos meteorológicos recurrentes (**figura 83 [a y c]**) y las respectivas susceptibilidades a dichos eventos (**figura 83 [b y d]**).

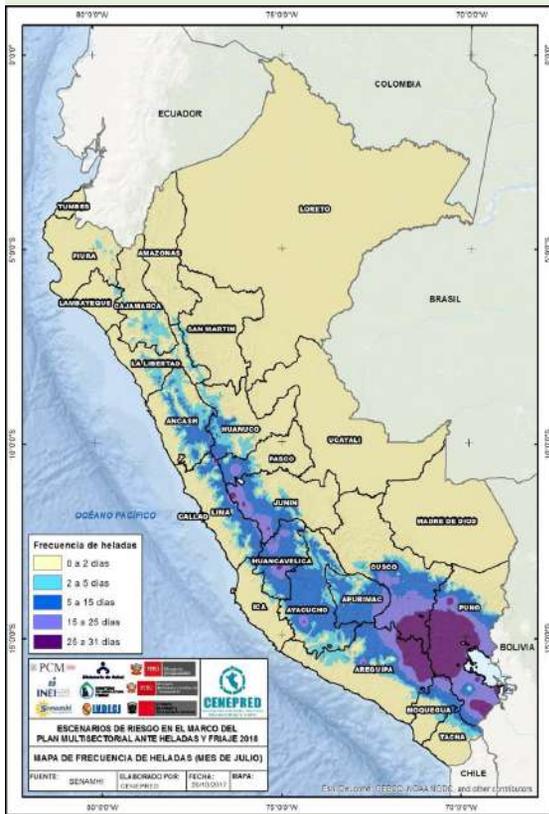
$$\text{Riesgo} = \text{peligro} \cdot \text{vulnerabilidad}$$

Para llevar a cabo esta tarea, podemos recurrir a diversas instituciones (**tabla 25**). Como podemos ver en la **figura 84**, el CENEPRED y otras instituciones del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, presentan mapas de escenarios de riesgo.

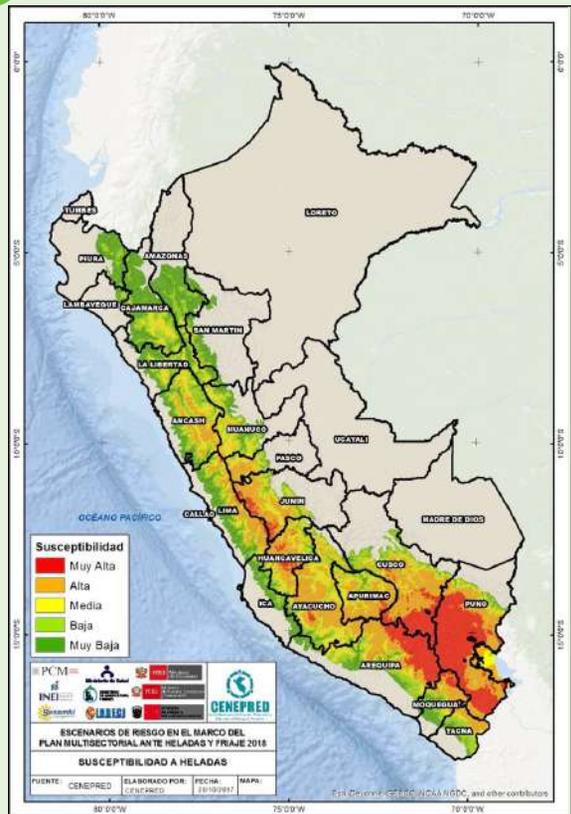
Instituciones	Productos
Instituto Nacional de Defensa Civil Indeci	Programa de Ciudades Sostenibles http://www.indeci.gob.pe
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI	Programa Presupuestal: Reducción de Vulnerabilidad y Atención de Emergencias http://www.senamhi.gob.pe
Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres CENEPRED	Mapas de escenarios de riesgos http://www.cenepred.gob.pe

Tabla 25. Instituciones que nos ayudan a identificar el peligro y la vulnerabilidad de nuestras comunidades

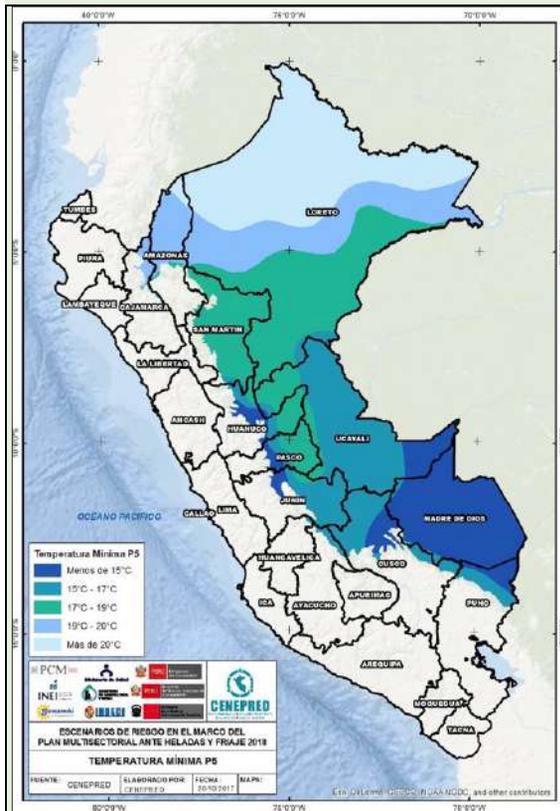
a



b



c



d

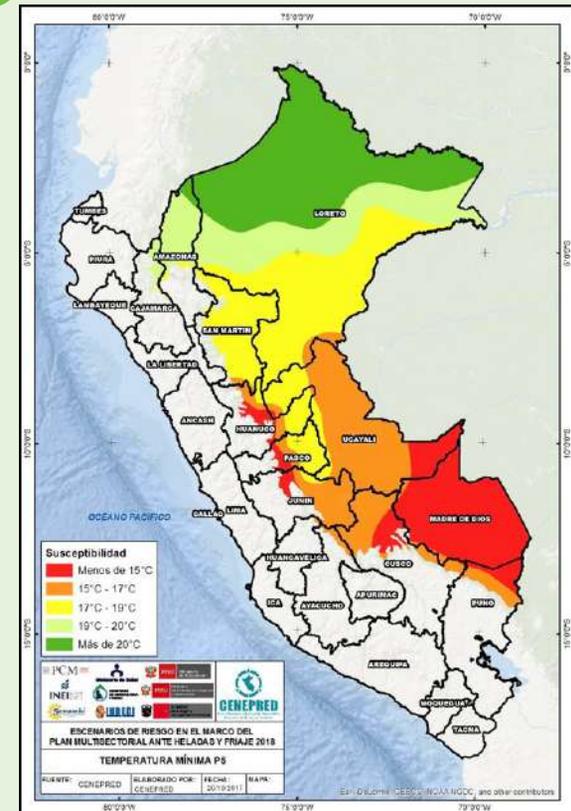


Figura 83. Escenarios de riesgo. [a] Mapa de frecuencia de heladas (sierra); [b] Mapa de susceptibilidad a heladas (sierra) [c] Mapa de temperaturas mínimas (selva); [d] Mapa de niveles de susceptibilidad a friajes (selva). Según Cenepred.

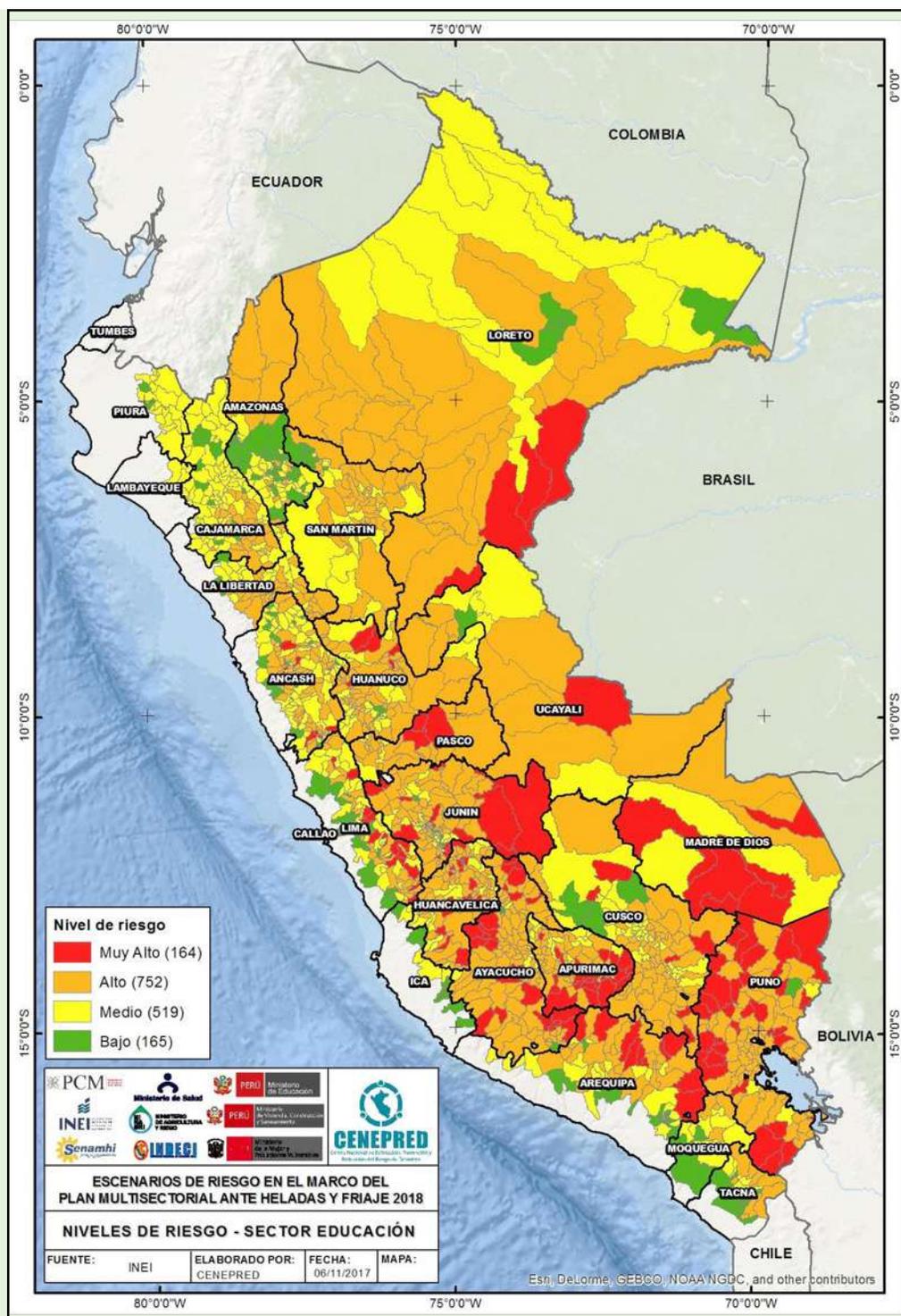


Figura 84. Mapa de escenarios de riesgos por heladas y friajes para el sector educación. Según Cenepred.

2. Seguimiento y aviso: es la vigilancia y el monitoreo constante de las variables meteorológicas e indicadores hidrológicos y climáticos. Como vimos, el SENAMHI cuenta con una red de observación amplia

(figura 80). Ellos se encargan de hacer la lectura, el registro y la transmisión de datos, el monitoreo y el procesamiento y análisis de la información, así como la difusión de sus productos. (cap. II, secc. 3.2.2.).

A pesar de los esfuerzos que realiza el SENAMHI, existen muchas zonas que no poseen estaciones cercanas o cuyas estaciones han dejado de transmitir. Por esta razón, surge la necesidad de contar con una alternativa de apoyo, como el monitoreo y la vigilancia comunitaria, que se basan en la participación de la población para realizar observaciones

usando equipos básicos o fabricados de forma casera. Entonces, los expertos se encargan de determinar los niveles de intensidad y severidad o los umbrales de las variables meteorológicas clave. Por ejemplo, en el caso de las heladas, existe una clasificación de su intensidad de acuerdo con las temperaturas mínimas alcanzadas (**tabla 26**).

Intensidad	Intervalo de temperaturas
Suaves	De 0 a -1,9 °C
Moderadas	De -2 a -3,9 °C
Fuertes	De -4 a -5,9 °C
Muy fuertes	De -6 a -7,9 °C
Severas	De -8 a -9,9 °C
Muy severas	Menor a -10 °C

Tabla 26. Clasificación de la severidad de las heladas. Según DaMotta en SENAMHI (2010).

De esta manera, podemos saber cuáles son las temperaturas aproximadas cuando el SENAMHI nos informa sobre su grado de intensidad.

En esta etapa del proceso también se deben definir los niveles de aviso.

Para ello, el SENAMHI ha establecido niveles de riesgo que hacen referencia a cuánto nos puede afectar determinado evento (**tabla 27**). Cada nivel tiene un color representativo que es usado en los mapas de avisos meteorológicos (**figura 85**).

Nivel	Definición	Significado
1	No es necesario tomar precauciones.	No preocuparse.
2	Sea prudente si realiza actividades al aire libre que puedan acarrear riesgos en caso de mal tiempo. Pueden ocurrir fenómenos meteorológicos peligrosos que, sin embargo, son normales en esta región. Manténgase al corriente del desarrollo de la situación meteorológica.	Precaución. Manténgase informado.
3	Se predicen fenómenos meteorológicos peligrosos. Manténgase al corriente del desarrollo de la situación y cumpla los consejos e instrucciones dados por las autoridades.	Alerta. Tome las medidas de precaución recomendadas. Manténgase informado.
4	Sea extremadamente precavido; se predicen fenómenos meteorológicos de gran magnitud. Manténgase al corriente en todo momento del desarrollo de la situación y cumpla los consejos e instrucciones dados por las autoridades.	Peligro. Tome las medidas de precaución recomendadas. Manténgase informado.

Tabla 27. Niveles de peligro usados en los avisos meteorológicos del SENAMHI

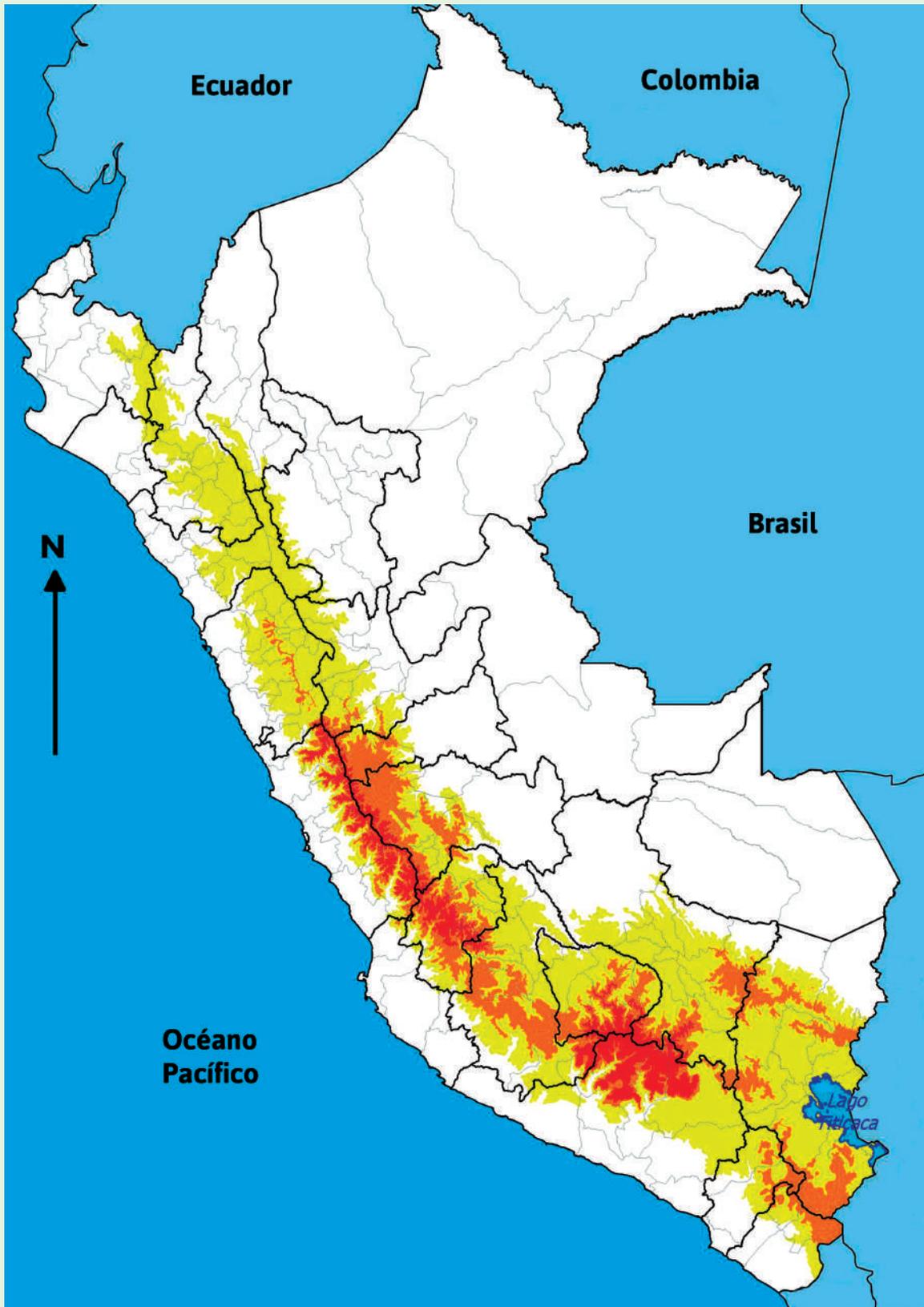


Figura 85. Mapa de aviso meteorológico del SENAMHI. Aviso de lluvias intensas.

3. Difusión y comunicación: es generar y difundir un aviso de un evento hidrometeorológico extremo. Estas deben ser realizadas por las instituciones especializadas en dichos eventos. Por ejemplo, el DHN se encarga de los avisos de tsunamis y oleajes; el IGP de los peligros sísmicos y volcánicos y, el SENAMHI del monitoreo y pronóstico de las condiciones atmosféricas. Para ello, nos proporciona avisos meteorológicos (**figura 85**), los cuales son pronósticos especiales de eventos meteorológicos extremos, emitidos con días u horas de anticipación. En ellos nos informa acerca del tipo de evento, su intensidad, las áreas que serán afectadas y el tiempo de duración.

Por otro lado, en el ámbito local, se puede activar un plan de emergencia. Dentro de este marco se puede capacitar y organizar a la población para difundir de manera efectiva los avisos hidrometeorológicos. Se puede hacer uso de silbatos, campanas, altavoces, etc. Además, de ser necesario, se puede crear un código que identifique el tipo de alerta que se está atravesando (ej.: sonidos característicos).

4. Capacidad de respuesta: es el conjunto de acciones y actividades que se ejecutan durante una emergencia. De acuerdo con el tipo de alarma, se ordenará a los pobladores guarecerse o evacuar a zonas seguras o albergues destinados para esta tarea. Pero para que la población sepa exactamente cómo debe proceder en estas circunstancias, es fundamental contar con programas de educación y capacitación dirigidos a la población en riesgo.

La población debe ser consciente de las posibles consecuencias de los eventos meteorológicos; por ello, debe llevar a cabo y contar con actividades de preparación para responder adecuadamente ante

una emergencia. Estamos hablando de los planes de contingencia y simulacros. En los planes de contingencia se definen las estrategias que se usarán, como el diseño de las rutas de evacuación y la señalización. Por otro lado, los simulacros nos ayudan a poner en práctica los planes de contingencia para comprobar su eficacia.

Para que un sistema de alerta temprana (SAT) sea eficaz y sostenible, se requiere de un compromiso real y un trabajo coordinado entre sus principales actores (instituciones de Gobierno, entidades técnico-científicas y la población). Si logramos implementar un SAT en nuestra localidad, garantizamos no solo nuestra seguridad, sino también la mejora de nuestra calidad de vida (**figura 86**).

3.6. Información sobre el tiempo y el clima en el monitoreo del fenómeno de El Niño

El fenómeno de El Niño produce lluvias intensas e inundaciones en la costa norte, sequías en algunas regiones de la sierra, deslizamientos de tierra, desplazamiento de los cardúmenes de anchoveta, incremento de enfermedades infecciosas y hasta posibles incendios forestales. El Niño de 1982-1983 causó pérdidas de alrededor de 3283 millones de dólares; y El Niño de 1997-1998, de 3500 millones de dólares. Por esta razón, su monitoreo y pronóstico es de suma importancia.

El Niño entró al terreno de la ciencia en 1891, gracias a la recién formada Sociedad Geográfica de Lima. Estos geógrafos fueron los primeros en establecer la relación entre las torrenciales lluvias que ocurrían en la costa norte del Perú y la presencia simultánea de agua calientes anormales en la costa. Desde entonces, se ha estudiado el fenómeno de El Niño desde diferentes perspectivas y se han desarrollado métodos para pronosticar su llegada, intensidad e impacto en nuestro país.

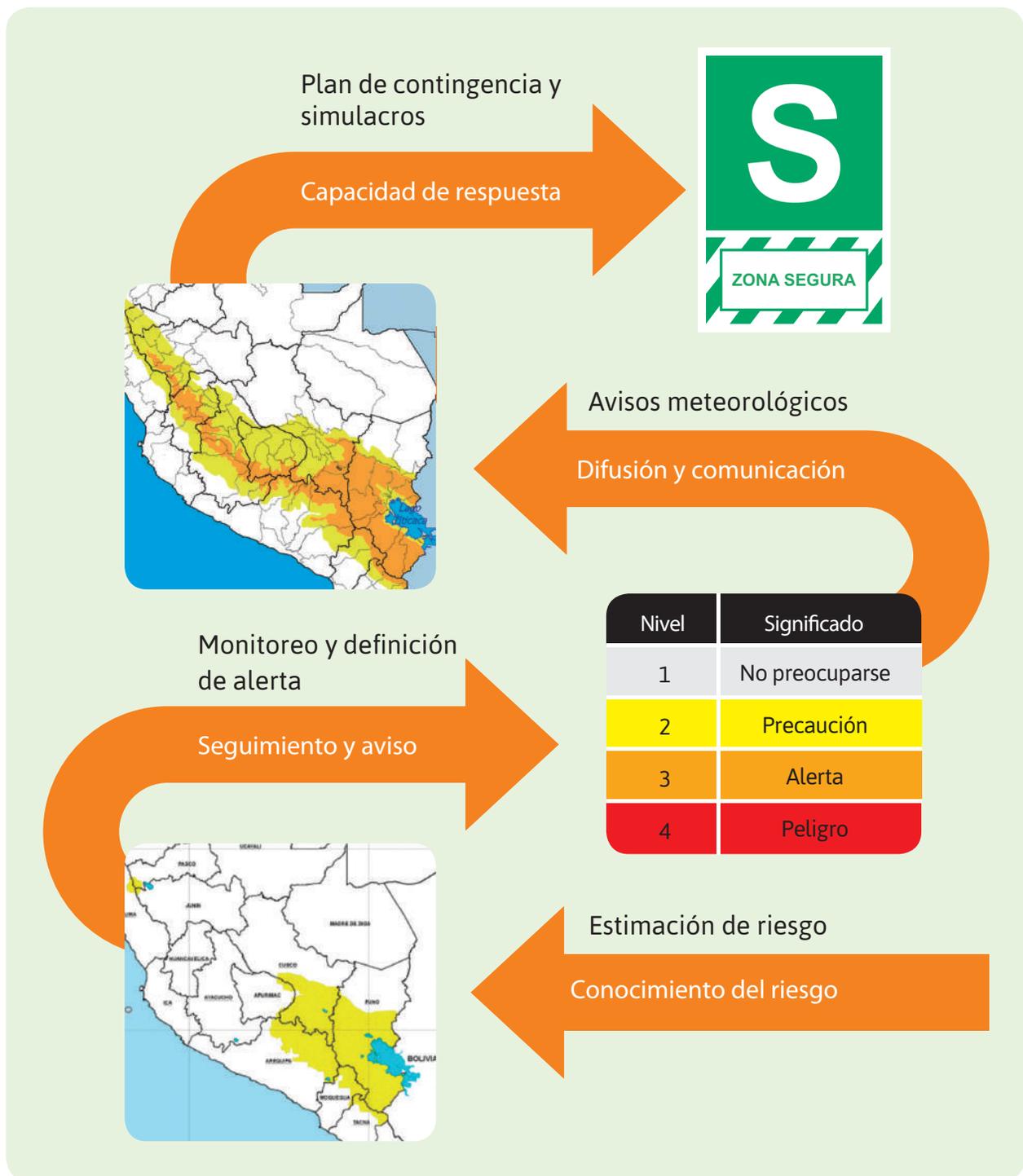


Figura 86. Componentes del sistema de alerta temprana para eventos meteorológicos extremos

Debemos aprender a usar la información que nos brinda el SENAMHI para prevenir las consecuencias de los eventos meteorológicos extremos, que pueden ser pérdidas económicas y de vidas humanas. En nuestro país, el fenómeno de El Niño es el que causa mayor impacto.

Si bien la comunidad científica internacional ha desarrollado sus propios métodos de pronóstico, en el Perú el Comité Multisectorial Encargado del Estudio Nacional del Fenómeno de El

Niño ha desarrollado un índice (**figura 87**) que define la ocurrencia e intensidad del fenómeno de El Niño en la región costera del Perú, denominado **Índice Costero El Niño (ICEN)**.

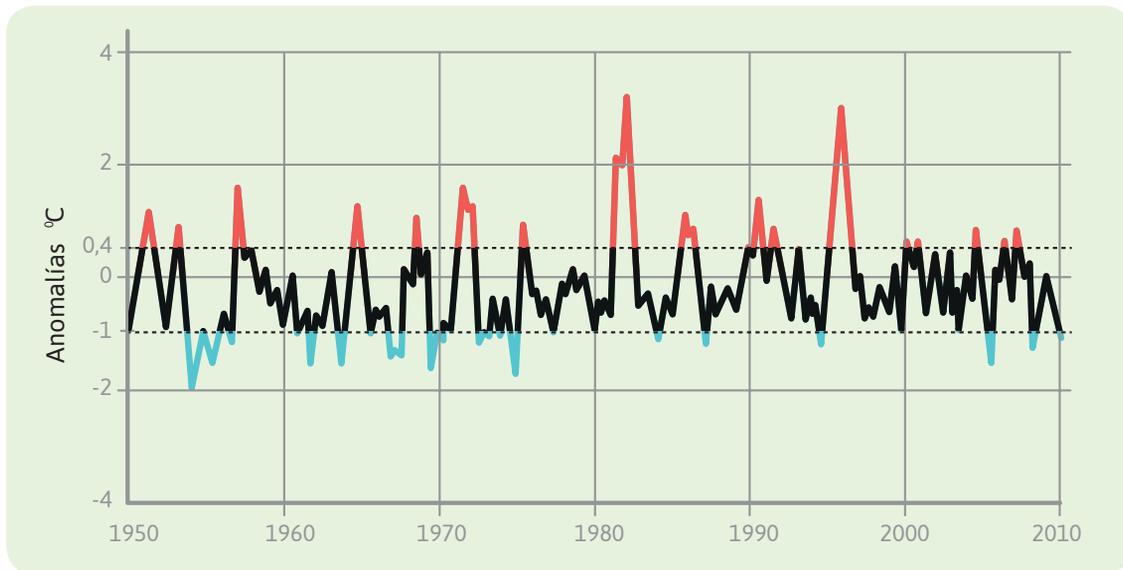


Figura 87. Índice Costero El Niño. Indica la ocurrencia de condiciones Niño (rojo) y condiciones Niña (azul) (Enfen en SENAMHI, 2014).

Este índice se basa en observaciones de la temperatura superficial de mar (**TSM**) en la región específica conocida como Niño 1+2

(**figura 88**). Son varias las regiones de monitoreo del fenómeno de El Niño, pero el ICEN solo considera las TSM de esta región.

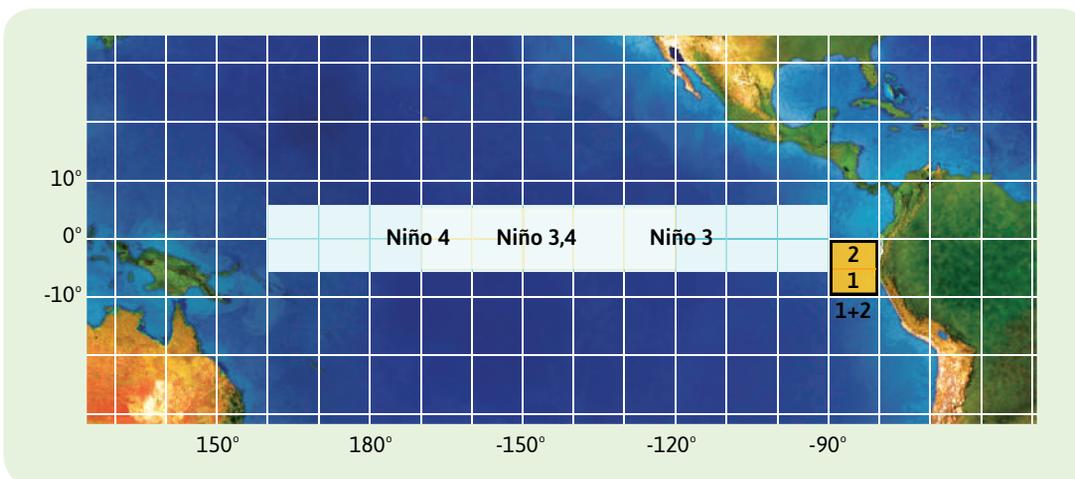


Figura 88. Regiones de monitoreo del fenómeno de El Niño

Ellos calculan las anomalías de la TSM. Una anomalía, en este caso, es cuánto se desvía la TSM actual de la TSM climatológica calculada para un periodo determinado (**cap. I, secc. 1**). Por ejemplo, si la TSM climatológica calculada para el mes de enero es 24 °C y la TSM actual en enero es

de 23 °C, significa que la anomalía es de -1 °C. El signo indica que la temperatura actual es más fría de lo esperado. De hecho, es 1 °C más fría de lo esperado.

$$\text{Anomalía de TSM} = \text{TSM actual} - \text{TSM climatológica}$$

Una vez calculadas las anomalías, se otorgan límites para definir la intensidad de las condiciones cálidas y frías (**tabla 28**). Entonces, a través del ICEN, podemos saber

si las condiciones son más cálidas o más frías de lo esperado. Así, podemos tomar las medidas de precaución necesarias para evitar o disminuir los efectos del fenómeno.

Categorías	Valor mensual del ICEN (anomalías)
Cálida extraordinaria	Mayor de 3,0
Cálida fuerte	Mayor de 1,7 y menor o igual a 3,0
Cálida moderada	Mayor de 1,0 y menor o igual a 1,7
Cálida débil	Mayor de 0,4 y menor o igual a 1,0
Neutras	Mayor de -1,0 y menor o igual a 0,4
Fría débil	Mayor de -1,2 y menor o igual a 1,0
Fría moderada	Mayor de -1,4 y menor o igual a 1,2
Fría fuerte	Menor de -1,4

Tabla 28. Categorías de las anomalías de la TSM. Según el ICEN (Comité Multisectorial Encargado del Estudio Nacional del Fenómeno de El Niño, 2012).



Autoevaluación

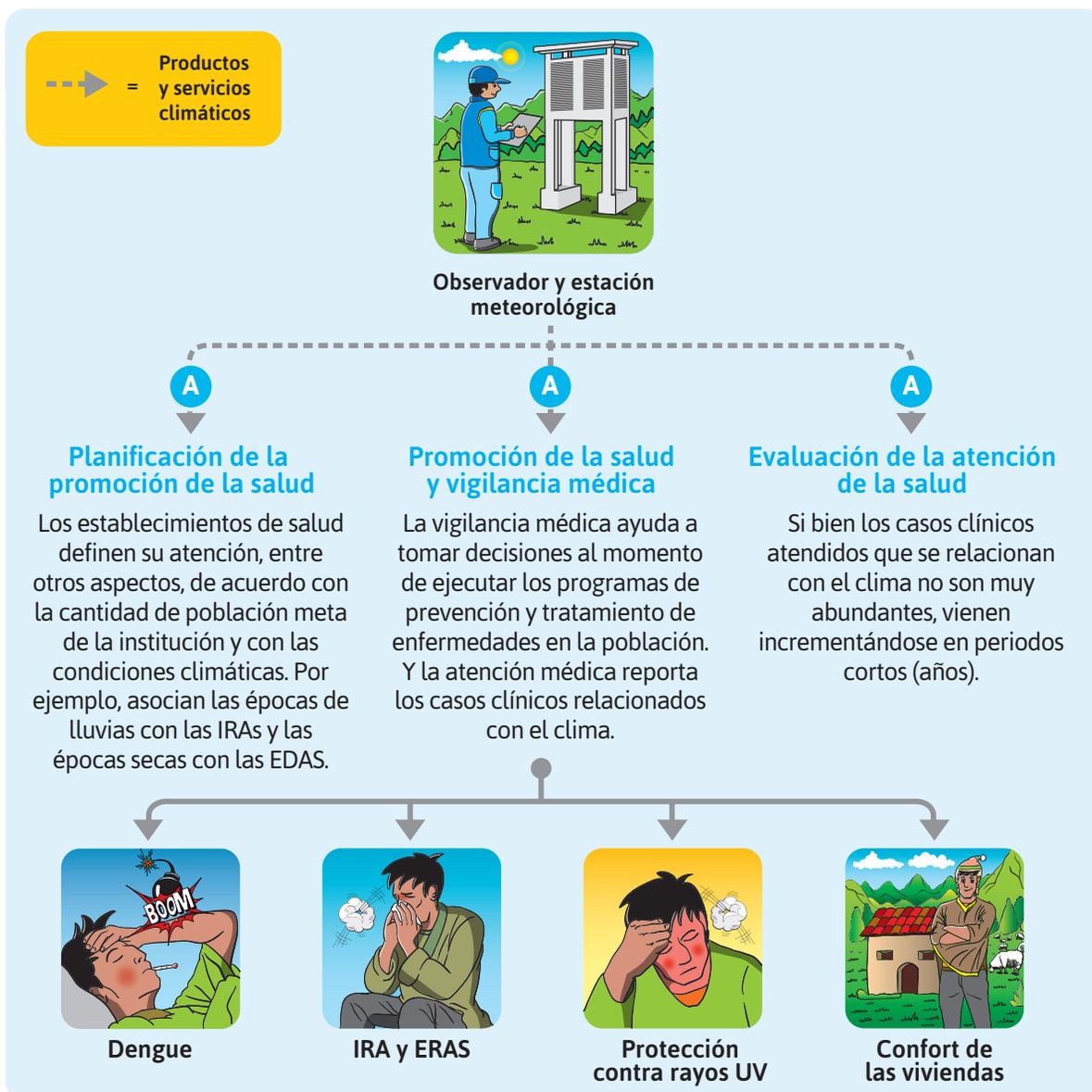
- De acuerdo con la tabla 25, determina tu tipo de piel.
- A continuación, mostramos la información que se presenta en la página web del SENAMHI. De acuerdo con los IUV de la ciudad más cercana a tu localidad, elabora un listado de las medidas de prevención que debes de tomar de acuerdo con tu tipo de piel.

Junín (Prov. Yauli)	Tacna	Piura	Moquegua	Lima	Ica	Cusco	Cajamarca	Arequipa
Índice UV 12	Índice UV 7	Índice UV 10	Índice UV 10	Índice UV 6	Índice UV 10	Índice UV 11	Índice UV 10	Índice UV 11
Muy alto	Moderado	Alto	Alto	Moderado	Alto	Alto	Alto	Alto

- Navega en la web por los sitios recomendados (**tabla 25**) y diseña el mapa de riesgo de tu localidad a partir de los mapas de riesgo de las instituciones.
- Diseña tu propio sistema de alerta temprana; haz uso de diagramas.
- De acuerdo con el aviso meteorológico de la **figura 85**, determina cómo se verían afectados tú y tu familia.
- Ahora que conoces el impacto de estos eventos, ¿cómo podrías prevenir sus efectos?
- Haz una evaluación de el fenómeno de El Niño 2015-2016, indicando los pronósticos y las medidas de prevención.

Anexos y Actividades

ANEXO 1: MAPA CONCEPTUAL DE LA APLICACIÓN DE LAS CIENCIAS ATMOSFÉRICAS EN LA PROMOCIÓN DE LA SALUD



A = Actores



Familias en riesgo de salud

Se atienden en los establecimientos de salud y están en riesgo de adquirir enfermedades prevalentes por las condiciones climáticas.



Autoridades locales

Coordinan la función promocional y asistencial con el sector salud del ámbito de su competencia.



Ministerio de Salud (y personal de los establecimientos de salud)

Ente rector del sector salud que conduce, regula y promueve la intervención del Sistema Nacional de Salud.



Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

Provee los servicios climáticos para el desarrollo de los sistemas de alerta temprana.

ANEXO 2: ÍCONOS EMPLEADOS POR SENAMHI

N.º	Condición atmosférica	Ícono	N.º	Condición atmosférica	Ícono
1	Despejado.		2	Nubes dispersas.	
3	Nublado parcial.		4	Nublado.	
5	Cubierto.		6	Nublado con lluvia ligera.	
7	Cubierto con lluvia ligera.		8	Nublado con lluvia moderada.	
9	Nublado con lluvia moderada.		10	Nublado con lluvia y tormenta.	
11	Cubierto con lluvia y tormenta.		12	Nublado con lluvia y nieve.	
13	Cubierto con lluvia y nieve.		14	Nublado con nieve ligera.	
15	Cubierto con nieve ligera.		16	Cubierto con nieve moderada.	
17	Nublado con granizo ligero.		18	Neblina.	
19	Niebla.		21	Incremento de temperatura Máxima.	

N.º	Condición atmosférica	Ícono	N.º	Condición atmosférica	Ícono
22	Descenso de temperatura máxima.		23	Incremento de temperatura mínima.	
24	Descenso de la temperatura mínima.		28	Viento en montaña.	
29	Viento intenso.		31	Noche despejada.	
32	Noche con nubes dispersas.		33	Noche con nube parcial.	
34	Noche nublada.		35	Noche nublada con lluvia ligera.	
36	Noche nublada con lluvia moderada.		37	Noche nublada con lluvia y tormenta.	

- Íconos para representar eventos meteorológicos extremos



Lluvia persistente
o fuerte



Nevada



Tormenta



Inundación



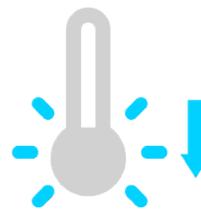
Friaje



Vientos fuertes



Incremento de
Temperatura
máxima

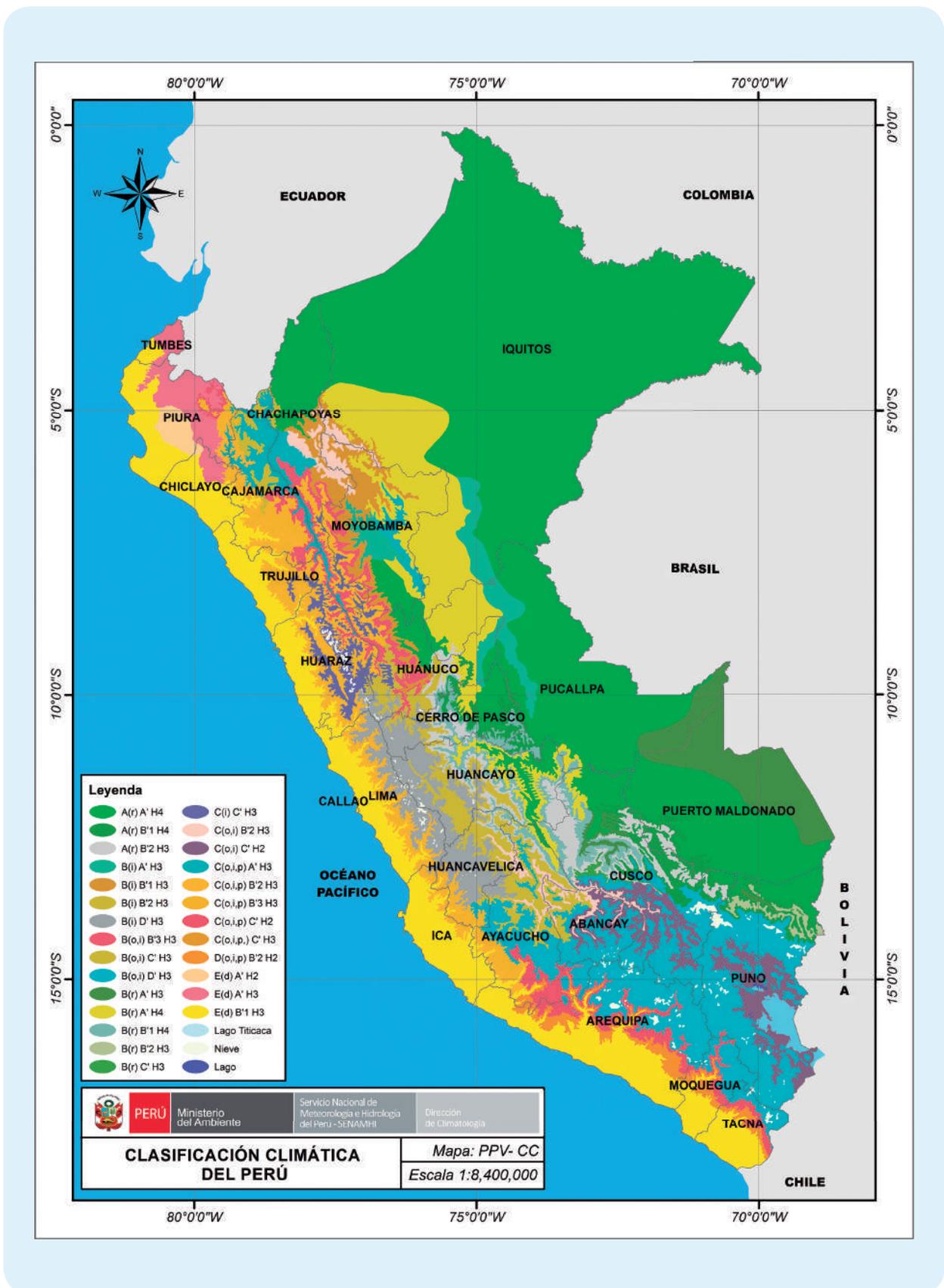


Heladas,

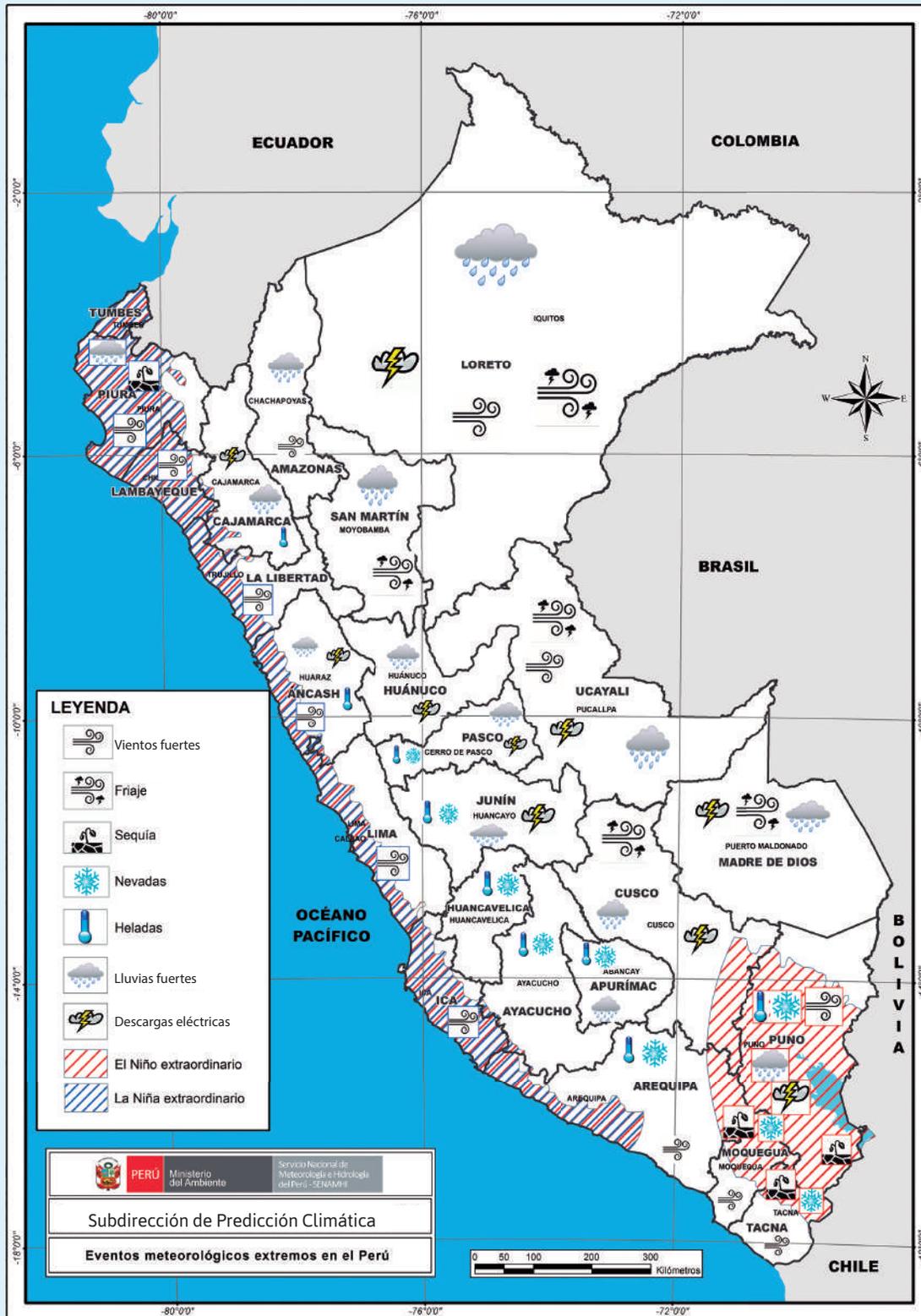


Sequía

ANEXO 3: MAPA DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA (1988)



ANEXO 4: MAPA DE EVENTOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS



ANEXO 5. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

Unidades fundamentales		
Magnitud	Unidad	Símbolo
Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	kg
Tiempo	Segundo	s
Corriente eléctrica	Amperio	A
Temperatura	Kelvin	k
Intensidad luminosa	Candela	cd
Cantidad de sustancia	Mol	mol

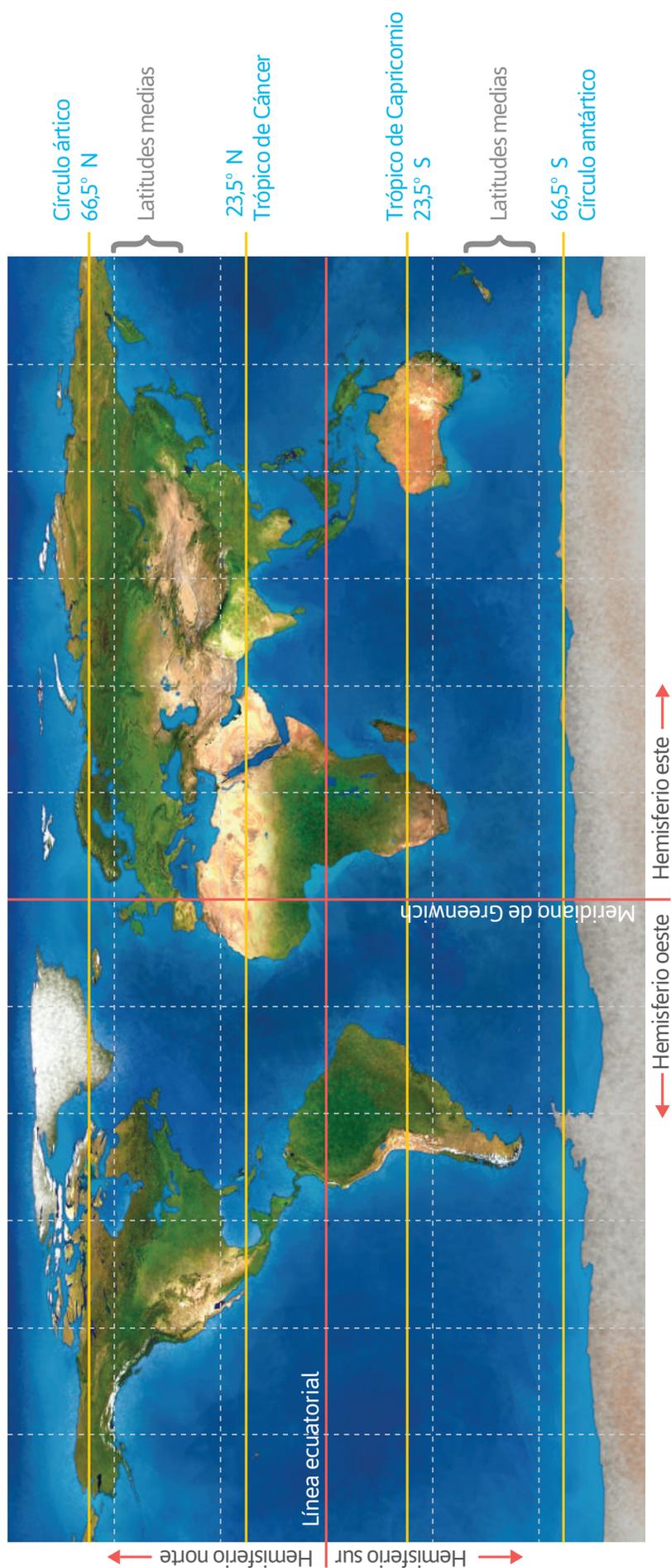
Unidades derivadas		
Magnitud	Unidad	Símbolo
Área	Metro cuadrado	m ²
Volumen	Metro cúbico	m ³
Densidad	Kilogramo por metro cúbico	kg/m ³
Velocidad	Metros por segundo	m/s
Fuerza	Newton	N = kg.m / s ²
Presión	Pascal	Pa = N / m ² = kg / (s ² .m)
Energía/trabajo/calor	Joule	J = N · m = kg · m ² /s ²
Radiación por unidad de área	Watts por metro cuadrado	W/m ² = kg / s ³

ANEXO 6. MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS DE LA UNIDADES DE MEDIDA

Múltiplos		
Prefijo	10 ⁿ	Símbolo
<i>deca</i>	10 ¹	da
<i>hecto</i>	10 ²	h
<i>kilo</i>	10 ³	k
<i>mega</i>	10 ⁶	M
<i>giga</i>	10 ⁹	G
<i>tera</i>	10 ¹²	T
<i>peta</i>	10 ¹⁵	P
<i>exa</i>	10 ¹⁸	E
<i>zetta</i>	10 ²¹	Z
<i>yotta</i>	10 ²⁴	Y

Submúltiplos		
Prefijo	10 ⁿ	Símbolo
<i>deci</i>	10 ⁻¹	d
<i>centi</i>	10 ⁻²	c
<i>mili</i>	10 ⁻³	m
<i>micro</i>	10 ⁻⁶	μ
<i>nano</i>	10 ⁻⁹	n
<i>pico</i>	10 ⁻¹²	p
<i>femto</i>	10 ⁻¹⁵	f
<i>atto</i>	10 ⁻¹⁸	a
<i>zepto</i>	10 ⁻²¹	z
<i>yocto</i>	10 ⁻²⁴	y

ANEXO 7. PRINCIPALES LÍNEAS IMAGINARIAS EN UN MAPA

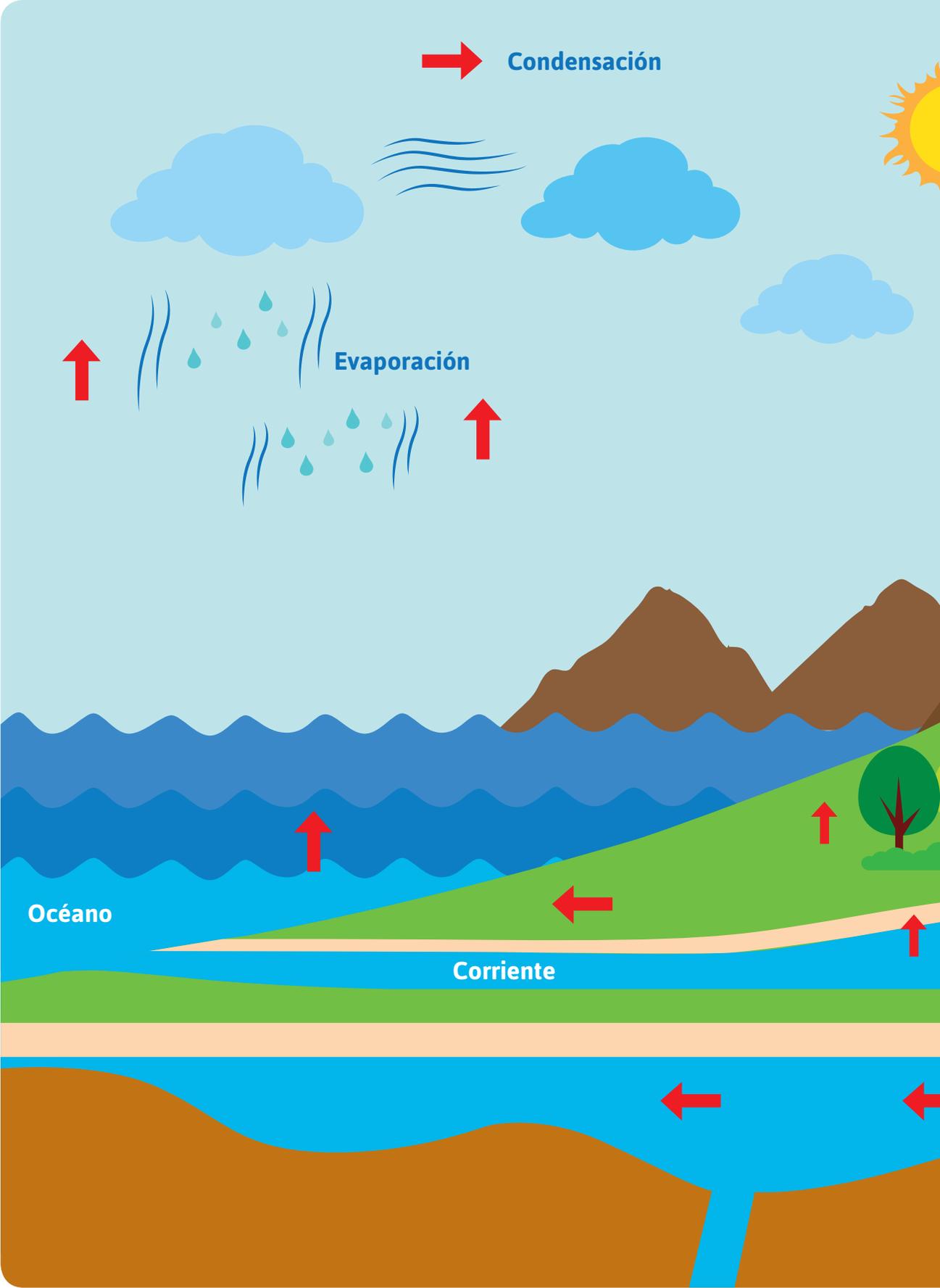


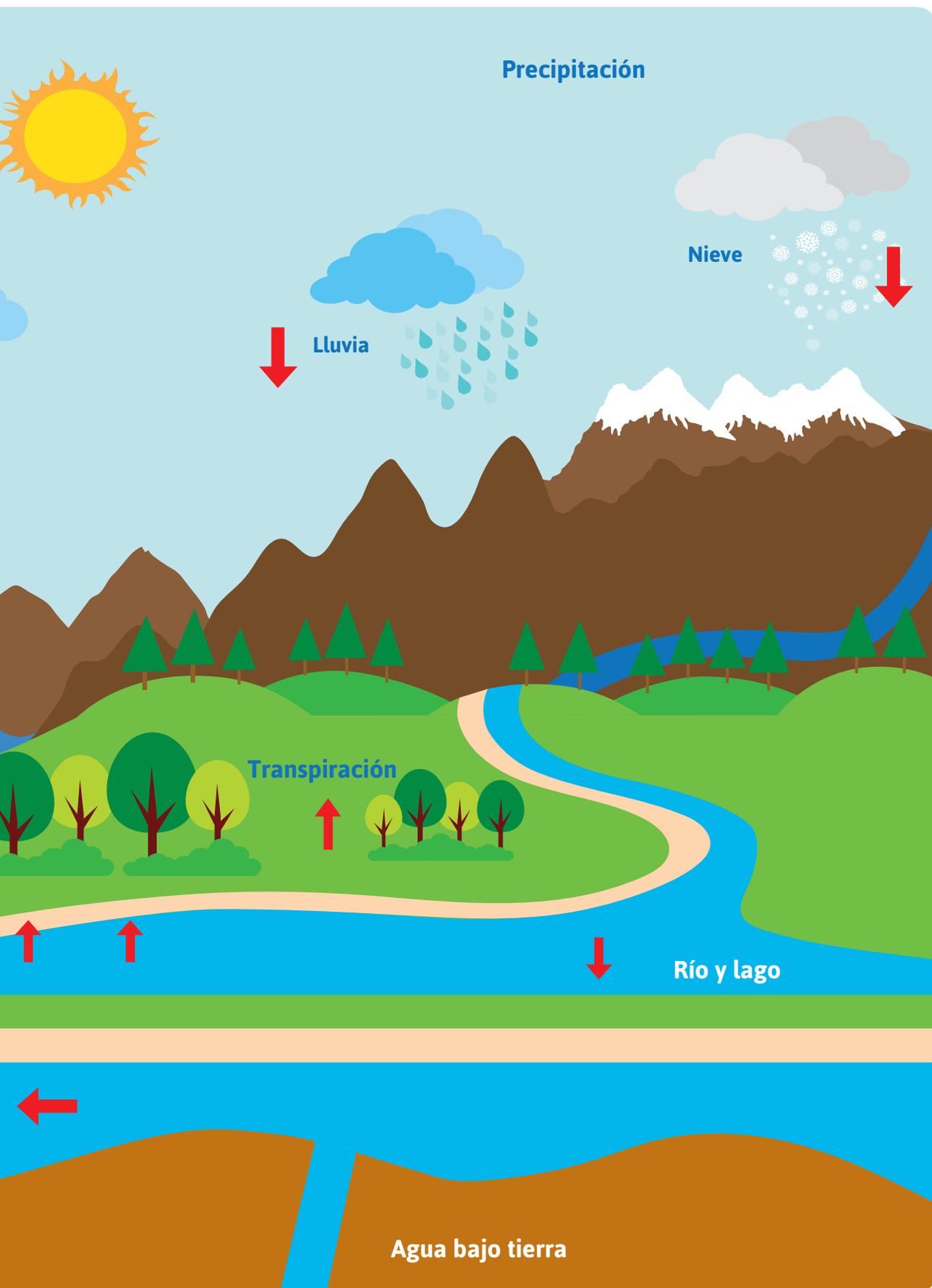
ANEXO 8. ZONAS HORARIAS DEL MUNDO





ANEXO 9. CICLO DEL AGUA





ACTIVIDAD 1: EVENTOS METEOROLÓGICOS Y CLIMÁTICOS



Nevada ()



Granizada ()



Sequia ()



Fenomeno El Niño ()



Friaje ()



Helada ()

El presentador de las noticias dijo que las estaciones del año ya no tienen las mismas características y que día a día las personas ya no saben cómo vestir para protegerse del frío o del calor del día y terminó diciendo que el tiempo y el clima se han vuelto impredecibles.

¿Qué ciencia deberíamos conocer para conocer mejor los fenómenos atmosféricos?

¿A qué se refiere cuando habla del tiempo y del clima?, ¿cómo crees que pueda influir en nosotros el clima y el tiempo?, ¿qué elementos se deben considerar en el estudio del clima y del tiempo?, ¿Qué necesitarán hacer para poder responder a estas preguntas?

Respondan a las preguntas a partir de lo que saben:



Luego de haber respondido a las preguntas podemos buscar información en Internet, libros, etc., también podemos usar nuestra guía de “Popularización de la Meteorología”. Por ejemplo, pueden revisar la página 18 y 19.

La diferencia entre tiempo y clima se puede observar en la figura 1. El tiempo está representado por la temperatura media de hoy en la estación meteorológica de Puno (10.5 °C), mientras que el clima de la misma estación está representado por la temperatura media promedio (9.1 °C) de un periodo largo (1981-2010). Esto significa que para hallar la temperatura media promedio se tuvieron que promediar las temperaturas medias de todos los meses durante treinta años en dicha estación.

La forma más común de representar el clima de un área determinada es a través de los promedios o las normales.

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), estas se obtienen promediando datos de treinta años consecutivos. Se considera que este periodo es representativo del clima. Las normales solían actualizarse cada treinta años, lo que resultó en las normales de los periodos 1901-1930, 1931-1960 y 1961-1990; sin embargo, desde 1956, la OMM recomienda que las normales se actualicen cada treinta años (por ejemplo, periodo 1971-2000). Podemos tomar como ejemplo la figura 1, donde las normales mensuales de la temperatura media (en verde) se obtienen promediando las temperaturas medias mensuales de 30 años (de 1981 al 2010). Se puede repetir el procedimiento con otras variables. De esta manera, tendremos una idea de cómo se comporta el clima en una determinada región o localidad.



Tiempo	
Temperatura media de hoy	
Estación	T (°C)
Puno	10,5

Clima				
Promedio de la temperatura media (°C) mensual durante 30 años (Normal).				
Mes	1981	...	2010	Prom.
Enero	10,4	...	11,9	10,5
Febrero	9,5	...	11,9	10,4
Marzo	9,4	...	12,0	10,2
Abril	8,1	...	11,0	9,5
Mayo	6,8	...	8,9	7,9
Junio	5,0	...	8,8	6,5
Julio	5,6	...	7,9	6,4
Agosto	6,2	...	9,1	7,5
Setiembre	7,0	...	10,3	8,8
Octubre	9,1	...	11,3	10,0
Noviembre	10,6	...	11,7	10,6
Diciembre	10,7	...	11,7	10,9
Promedio anual 1981-2010				9,1

El tiempo es específico e inmediato, mientras que el clima es en general y extendido. El tiempo es una condición temporal que prevalece en un tiempo específico, mientras que el clima es un patrón promedio

que representa un periodo largo de tiempo.

Luego de haber revisado en la bibliografía, observa la siguiente imagen y según

consideres pon una T, para referirte al Tiempo y C, para señalar el Clima.



Nevada ()



Granizada ()



Sequia ()



Fenomeno El Niño ()



Friaje ()



Helada ()

Ahora, explica cómo nos afecta el clima y el tiempo.

Explica cómo crees que afectan los elementos del clima a las actividades humanas.

a) Agricultura:

b) Construcción de Viviendas:

c) La vestimenta de las personas:

Ahora que investigaste sobre el tiempo, el clima y sus elementos, compara las respuestas que diste inicialmente a las siguientes preguntas: ¿Qué ciencia deberíamos conocer para entender mejor los fenómenos atmosféricos? ¿A qué se refiere cuando habla del tiempo y el clima? ¿Cómo crees que pueda influir en nosotros el clima y tiempo? ¿qué elementos se deben considerar en el estudio del clima y tiempo?

¿Cómo estaba tus ideas iniciales a comparación de ahora, por qué? Comenta en la clase y compartan con los otros grupos y reconozcan el error que más se repetía entre ustedes y con el profesor establezcan la razón de los errores y aciertos.

Te sugerimos que inicies un trabajo de investigación adicional respecto al clima en la zona donde vives (localidad, distrito, región, etc.). Plantea las siguientes preguntas a los adultos mayores de la zona donde vives y pregúntales lo siguiente:

- ¿Cuántos años ha vivido en esta zona?
- Explícale brevemente qué es el clima y pregúntale ¿cómo describiría el clima en esta zona?
- ¿Ha notado algún cambio en el patrón del clima durante los últimos 10, 20 o 30 años?
- Si ha notado algún cambio, a qué cree que se deba.

ACTIVIDAD 2: LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Observa las siguientes imágenes:



¿Cómo crees que las situaciones que se observan en las imágenes afecta a los seres vivos?

Seguramente en tu institución educativa o en la vecindad donde vives hay jardines. Te proponemos que hagas lo siguiente:

Selecciona una muestra de 10 plantas, limpia todas sus hojas (evitando maltratar la planta) y selecciona 5 hojas que se encuentren a diferentes alturas y cúbreelas con cinta masking (la parte con goma hacia afuera) y déjalos por 10 días.

Luego de ese tiempo retira con cuidado la cinta masking de las hojas y describe cómo están a comparación de las demás hojas, además, la cinta masking recogida, colócala en un envase y en la clase con la ayuda del profesor intenta explicar las razones que justifiquen la diferencia.

Antes de iniciar el experimento escribe una hipótesis (pide ayuda a tu profesor si tienes alguna dificultad en esta tarea), es decir, ensaya una explicación demostrable de lo que crees que sucederá al final del experimento:

A continuación, has un listado de materiales que necesitarás para hacer el experimento:

También necesitas hacer un plan de acciones que realizarás durante esos 10 días para observar las hojas en las plantas seleccionadas. Asegúrate que las acciones tengan un orden lógico.

Luego de haber leído sobre la contaminación de los gases ¿cómo han cambiado las hojas que no estuvieron cubiertas por la cinta maskin?, ¿cómo están las cintas maskin respecto al primer día?

Para organizar tus datos, puedes utilizar la siguiente tabla:

Día	Hoja sin maskin	Hoja con cinta maskin	Observaciones:
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Ahora, describe qué le pasó a la hoja cubierta con cinta y qué le pasó a la cinta, también ensaya una explicación:

A continuación, utilizando los datos que recogiste y la información que pudiste leer sobre los contaminantes y la contaminación ambiental, revisa tu hipótesis y explica si se comprobó lo que pensabas que ocurriría:

¿Qué dificultades tuviste durante el tiempo que duró el experimento y cómo lo resolviste?

¿Qué parte mejorarías para una investigación similar en otro lugar y por qué?

ACTIVIDAD 3. ELABORACIÓN DEL CALENDARIO AGROFESTIVO

Observa las imágenes y responde:



Identifica en que mes (meses) del año corresponde cada imagen

Imagen	Mes	Justifica tu respuesta
a		
b		

Elaboraremos nuestro calendario escolar agrofestivo, Organízate en grupo para obtener información sobre las fechas agrícolas, festivas y escolares de nuestra comunidad o localidad.

Para obtener la información que necesitamos, ¿A quién o quiénes debemos preguntar?

Manos a la obra. Anota las actividades importantes con sus fechas de celebración:

Calendario cívico escolar:

Calendario Agrícola:

Fechas festivas de mi comunidad:

Ahora que tienes la información, comparte con tus compañeros del grupo y completa el siguiente cuadro:

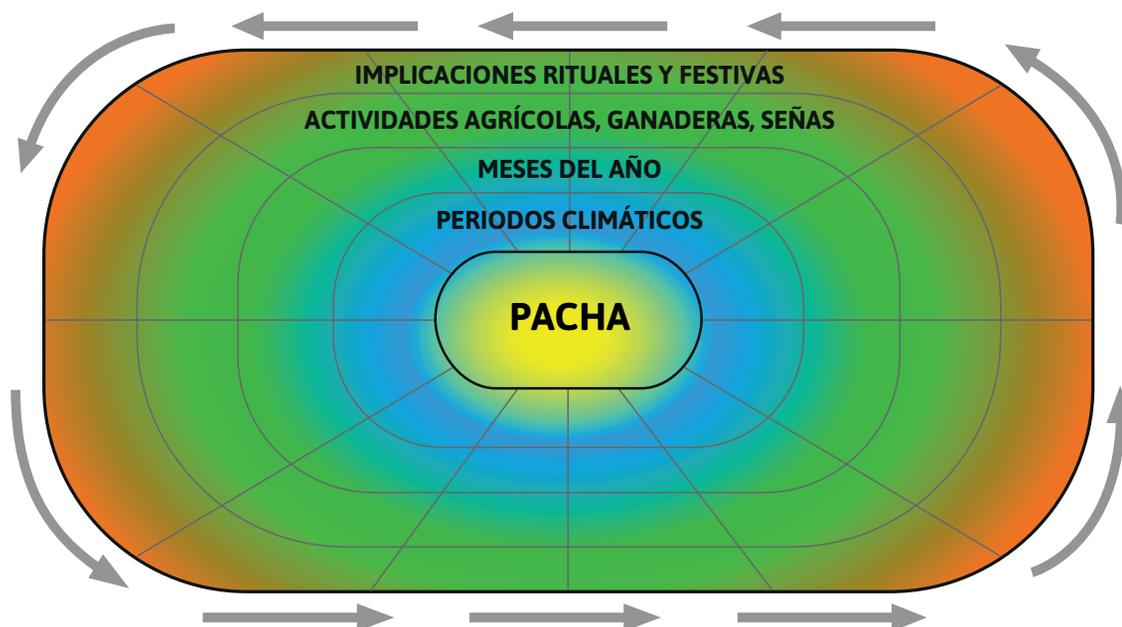
MES	FECHA	CALENDARIO CÍVICO ESCOLAR	CALENDARIO AGROFESTIVO
Enero			
Febrero			
Marzo			
Abril			
Mayo			
Junio			
Julio			
Agosto			
septiembre			

Octubre			
Noviembre			
Diciembre			

Con los datos obtenidos y haciendo uso de tu creatividad construye el calendario agrofestivo.

Contenido del calendario

- Periodos climáticos. Por lo general, para la zona andina se marcan las épocas del año de acuerdo con las precipitaciones: época lluviosa y época seca.
- Meses del año.
- Registro de rituales locales.
- Registro de actividades agrícolas.
- Registro de festividades.
- Dibujos.



ACTIVIDAD 4: INVESTIGO Y APRENDO EL TIEMPO Y CLIMA EN INTERNET

Descripción de la actividad:

En esta actividad aprenderemos a utilizar los datos de diferentes sitios web para conocer las condiciones meteorológicas de una ciudad y para leer y registrar la información que nos ofrece en tiempo real, así como a sus registros anteriores para compararlos y analizarlos.

Para realizar este trabajo utilizaremos la siguiente ficha:

Usando Internet para observar el clima

Nombre : _____ Fecha : _____

INSTRUCCIONES

Parte 1: Tablas de datos

Use las siguientes dos tablas para registrar sus datos meteorológicos:

A. Condiciones actuales

	Instrumentos de clase (si tuviéramos un observatorio en la Institución educativa)	Internet
Latitud y longitud:	N / A	
Condiciones de tiempo actualizadas:		
Temperatura:	°C	°C
Condiciones del cielo:		
Viento:		
Dirección del viento:		
Velocidad del viento:		
Tipo de precipitación:		
Cantidad de precipitación:	mm	mm
Presión atmosférica:	unidades	unidades

B. Temperatura de los últimos siete días.

	Hace 7 días	Hace 6 días	hace 5 días	Hace 4 días	Hace 3 días	hace 2 días	Ayer
Tu ciudad	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C

Parte 2: Usa Internet para observar el tiempo y clima.

Instrumentos de clase: Registra tus mediciones en la columna marcada "Instrumentos de clase" utilizando los instrumentos meteorológicos si se tienen un observatorio meteorológico en la Institución Educativa.

Tu ciudad

1. Puedes consultar las siguientes páginas web y aplicaciones:

<https://www.senamhi.gob.pe/>

<https://english.wunderground.com/>

<http://www.gisandbeers.com/imagenes-satelite-en-tiempo-real/>

<https://es.windfinder.com/>

<http://es.yowindow.com/download.php>

<https://www.accuweather.com/es/>

<https://weather.com/es-PE/tiempo/hoy/l/-12.05,-77.05>

<https://www.tutiempo.net/>

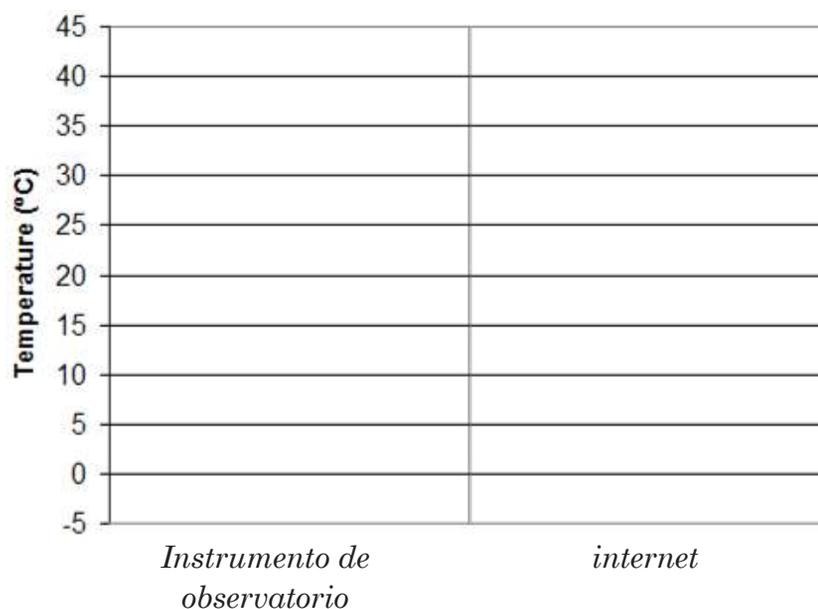
2. Ingrese el nombre de tu ciudad y podrás encontrar los datos sobre el tiempo. Si la ubicación exacta no está en la base de datos, seleccione la siguiente ciudad o pueblo más cercano.

3. Localice las condiciones meteorológicas actuales en el centro de la página y escriba la hora en que se actualizaron por última vez, la temperatura actual, el viento, la presión del aire, etc. en la tabla de datos "Condiciones actuales".

Parte 3: Analizar los datos meteorológicos

Instrumentos del observatorio (estación meteorológica) frente a Internet: compare y contraste el clima que recopiló para su ciudad con los datos de Internet de su ciudad.

1. Complete la gráfica de barras que compara la temperatura que recolectó con los instrumentos de la clase con los datos de Internet de su ciudad:



2. ¿Su temperatura es la misma que se informa en el sitio web? Si no, ¿puedes pensar en alguna razón por la que no sean lo mismo?

3. ¿La temperatura será la misma esta noche? ¿mañana? ¿en una semana? ¿en un mes? ¿Por qué o por qué no?

4. ¿Por qué es importante usar terminología estandarizada para las condiciones del cielo? ¿Las condiciones de su cielo son las mismas que se informan en el sitio web? Si no, ¿puedes pensar en alguna razón por la que no sean lo mismo?

5. ¿Sus datos de viento (dirección y velocidad) coinciden con los datos de la web? Si no, ¿puedes pensar en alguna razón por la que no sean lo mismo?

6. Para la presión atmosférica, usó unidades generales mientras que Internet publicó la medición en mb. ¿Cómo podrías correlacionar los datos del observatorio (estación meteorológica) y de internet?

7. ¿Cuáles son los otros elementos meteorológicos presentados en la página web? Identifique los respectivos instrumentos.

Tarea (opcional):

¿Crees que el clima es el mismo en todo el mundo? Elige una ciudad en otro país donde viva un familiar o amigo y escriba una breve narración sobre el clima de allí. En tu párrafo, trata de responder las siguientes preguntas:

- ¿Crees que la temperatura en la ciudad de tu pariente será más cálida o más fría que la tuya? ¿Por qué?
- ¿Cómo afectaría esto a sus vidas? Por ejemplo, su casa, ropa, etc.
- ¿Qué tipo de precipitación se registra? ¿Por qué?
- ¿La velocidad del viento es más frecuente en invierno? ¿Por qué?

ACTIVIDAD 5: CONSTRUCCIÓN DE UN TERMÓMETRO

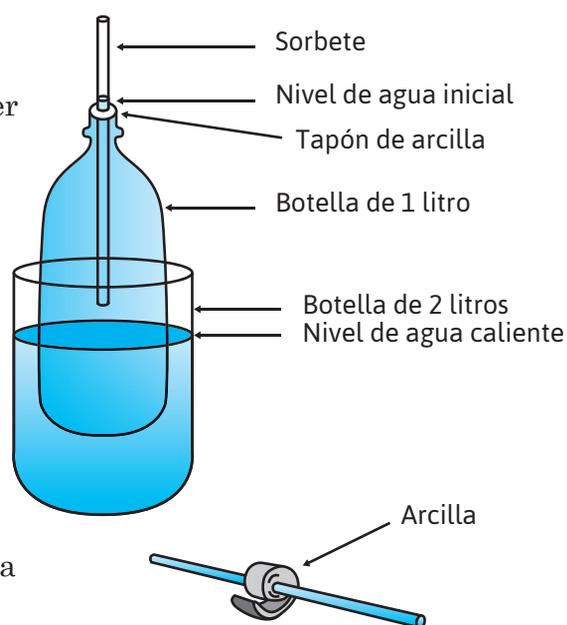
1. Objetivo

Construir un termómetro para comprender su funcionamiento.

2. Materiales y herramientas

(Por grupo de estudiantes).

- Hielo.
- Agua.
- Una botella de plástico de 1 litro.
- Un sorbete transparente o blanco.
- Arcilla o plastilina para modelar (una bola de unos 25 mm de diámetro).
- Tijeras o cuchillo para cortar la parte superior de la botella de plástico de dos litros.
- Dos botellas de plástico de 2 litros. La parte superior de la botella se debe cortar, de manera que se pueda utilizar como recipiente para agua caliente y para la botella de plástico de 1 litro.
- Colorante alimenticio.
- Reloj con segundero.
- Metro.
- Rotulador o lapicero para hacer marcas en el sorbete.



3. Procedimientos

- Llenar toda la botella de plástico de 1 litro con agua fría del grifo.
- Añadir cuatro gotitas de colorante (esto ayuda a ver mejor el nivel del agua). Preferiblemente de colores azul, verde o rojo.
- Hacer una pequeña bola de unos 25 mm de diámetro con la arcilla. Después, moldearla, de manera que forme un cilindro de la altura y diámetro de un lápiz. Aplanar la arcilla para formar una cinta gruesa. Enrollar la cinta alrededor del punto medio del sorbete.
- Colocar el sorbete en la botella y utilizar la arcilla para sellar la botella. La mitad del sorbete estará dentro de la botella y la otra mitad fuera. Al hacer esto, tener cuidado de no cerrar el sorbete. También, se debe evitar cualquier agujero o grieta en la arcilla que permita la salida del agua. Presionar el tapón de arcilla hacia el cuello de la botella lo suficiente como para forzar que el nivel de agua, cuando ascienda por el sorbete, se pueda ver.

4. Experimento

- Colocar la botella de 1 litro llena (la botella de plástico termómetro) en un recipiente construido a partir de una botella de plástico de 2 litros. Hacer una marca en el sorbete por donde se observa el nivel del agua.
- Llenar el recipiente de 2 litros con agua caliente del grifo. Esperar 2 minutos. Marcar en el sorbete el nivel del agua. Repetir el marcado cada 2 minutos, durante 10 minutos. Transcurridos los 10 minutos, utilizar una regla para medir la distancia de cada marca desde la marca de agua original, en la parte inferior del sorbete. Anotar las mediciones en milímetros debajo de “Agua caliente” en la siguiente tabla: (llenar los datos).

Tiempo	Agua caliente	Agua fría
2 minutos		
4 minutos		
6 minutos		
8 minutos		
10 minutos		

- Observa atentamente cualquier cambio. ¿Se aprecia alguno? Describe lo que se observas.

- Poner hielo y agua fría en el recipiente de dos litros.
- Meter la botella termómetro en agua fría. Anotar las observaciones en milímetros debajo de la columna “Agua fría” en la tabla anterior.
- ¿Qué sucede con el nivel de agua del sorbete cuando el termómetro se mete en agua caliente?

- ¿Qué sucede con el nivel de agua del sorbete cuando el termómetro se mete en agua fría?

- Explica por qué crees que se producen estos cambios.

Glosario

Afelio

Punto de la órbita del planeta Tierra que está a mayor distancia del Sol.

Afloramiento

Movimiento vertical ascendente de masas de agua fría y rica en nutrientes (nitratos, fosfatos, silicatos, etc.) desde el fondo marino hacia la superficie. Este movimiento es producido principalmente por los vientos.

Anticiclón

Área de presión alta y circulación de viento; en el hemisferio norte fluye en el sentido de las manecillas del reloj y en el hemisferio sur, en contra de las manecillas del reloj.

Ángulo de incidencia

Ángulo que se forma entre la superficie terrestre y los rayos solares cuando estos llegan el suelo.

Altitud

Es la distancia vertical entre el nivel medio del mar y un punto situado sobre la superficie terrestre o la atmósfera.

Atmósfera

La capa de aire, vapor de agua y distintas partículas suspendidas que rodea a la Tierra. La atmósfera terrestre se extiende desde la superficie hasta una altura aproximada de 400 km.

Baja presión

Presión más baja en un área en relación con su entorno. La circulación fluye en sentido horario. Este fenómeno provoca convergencia, por lo que se asocia a la presencia de gran nubosidad y chubascos.

Biósfera

Capa de la Tierra en la que se desarrolla la vida (flora y fauna). La biósfera se extiende desde el fondo de los océanos hasta la tropósfera, e incluye la superficie terrestre.

Calor

Energía que fluye de un objeto a otro por medio de la diferencia de la temperatura.

Afelio

Punto de la órbita del planeta Tierra que está a mayor distancia del Sol.

Afloramiento

Movimiento vertical ascendente de masas de agua fría y rica en nutrientes (nitratos, fosfatos, silicatos, etc.) desde el fondo marino hacia la superficie. Este movimiento es producido principalmente por los vientos.

Anticiclón

Área de presión alta y circulación de viento; en el hemisferio norte fluye en el sentido de las manecillas del reloj y en el hemisferio sur, en contra de las manecillas del reloj.

Ángulo de incidencia

Ángulo que se forma entre la superficie terrestre y los rayos solares cuando estos llegan el suelo.

Altitud

Es la distancia vertical entre el nivel medio del mar y un punto situado sobre la superficie terrestre o la atmósfera.

Atmósfera

La capa de aire, vapor de agua y distintas partículas suspendidas que rodea a la Tierra. La atmósfera terrestre se extiende desde la superficie hasta una altura aproximada de 400 km.

Baja presión

Presión más baja en un área en relación con su entorno. La circulación fluye en sentido horario. Este fenómeno provoca convergencia, por lo que se asocia a la presencia de gran nubosidad y chubascos.

Biósfera

Capa de la Tierra en la que se desarrolla la vida (flora y fauna). La biósfera se extiende desde el fondo de los océanos hasta la tropósfera, e incluye la superficie terrestre.

Calor

Energía que fluye de un objeto a otro por medio de la diferencia de la temperatura. Es una forma de energía producida por la vibración electromagnética de las moléculas. La cantidad de calor depende de la intensidad de la vibración molecular. El calor se mide con calorímetros, unidades de calorías o Joules.

Afelio

Punto de la órbita del planeta Tierra que está a mayor distancia del Sol.

Afloramiento

Movimiento vertical ascendente de masas de agua fría y rica en nutrientes (nitratos, fosfatos, silicatos, etc.) desde el fondo marino hacia la superficie. Este movimiento es producido principalmente por los vientos.

Anticiclón

Área de presión alta y circulación de viento; en el hemisferio norte fluye en el sentido de las manecillas del reloj y en el hemisferio sur, en contra de las manecillas del reloj.

Ángulo de incidencia

Ángulo que se forma entre la superficie terrestre y los rayos solares cuando estos llegan el suelo.

Altitud

Es la distancia vertical entre el nivel medio del mar y un punto situado sobre la superficie terrestre o la atmósfera.

Atmósfera

La capa de aire, vapor de agua y distintas partículas suspendidas que rodea a la Tierra. La atmósfera terrestre se extiende desde la superficie hasta una altura aproximada de 400 km.

Baja presión

Presión más baja en un área en relación con su entorno. La circulación fluye en sentido horario. Este fenómeno provoca convergencia, por lo que se asocia a la presencia de gran nubosidad y chubascos.

Biósfera

Capa de la Tierra en la que se desarrolla la vida (flora y fauna). La biósfera se extiende desde el fondo de los océanos hasta la tropósfera, e incluye la superficie terrestre.

Calor

Energía que fluye de un objeto a otro por medio de la diferencia de la temperatura. Es una forma de energía producida por la vibración electromagnética de las moléculas. La cantidad de calor depende de la intensidad de la vibración

molecular. El calor se mide con calorímetros, unidades de calorías o Joules.

Calor sensible

Energía requerida para elevar la temperatura de un cuerpo sin que este cambie de estado. Se evidencia en el cambio de temperatura del cuerpo.

Calor latente

Energía requerida para cambiar el estado de un cuerpo sin que cambie de temperatura. Calor presente en los cambios de fase del agua (de gaseoso a líquido, de sólido a gaseoso, etc.).

Cambio climático

Variaciones en los promedios de los valores de los elementos meteorológicos (temperatura, precipitación, humedad, etc.) de una región en un periodo largo de tiempo, las cuales provocan alteraciones en el clima original de esa zona.

Clima

Estado medio de los elementos meteorológicos de una localidad considerando un periodo largo de tiempo. El clima de una localidad viene determinado por los factores climatológicos: latitud, longitud, altitud, orografía y continentalidad.

Climatología

Ciencia dedicada al estudio de los climas en relación con sus características, variaciones, distribución, tipos y posibles causas determinantes.

Condiciones atmosféricas

Condiciones referidas a la temperatura, el viento, la humedad, la lluvia, etc., que cambian de hora a hora, de día a día, en un determinado lugar.

Congelación

Cambio de estado de líquido a sólido.

Condensación

Cambio de estado de gaseoso a líquido. Mediante la condensación se puede formar rocío, neblina o nubes.

Convergencia

Condición en la que los movimientos atmosféricos resultan en una entrada neta de masa en una determinada área.

Criósfera

Capa de agua sólida (hielos, nieves, glaciares). Se encuentra sobre la superficie terrestre, en ambos hemisferios, en las zonas de baja temperatura (polos, montañas, altas latitudes).

Deslizamiento

Movimiento rápido de una masa de suelo, rocas o material suelto por una pendiente.

Densidad

Cociente entre la masa de un objeto y su volumen: $\rho = m/V$.

Divergencia

Condición atmosférica en la que se presenta una salida neta de masa de una área determinada.

Efecto invernadero

Efecto por el cual la radiación electromagnética solar (alta energía), que ingresa a través de la atmósfera y es absorbida por la superficie terrestre, no puede volver a salir luego de ser radiada como energía infrarroja (baja energía), sino que es absorbida por la atmósfera, lo que aumenta la temperatura de la superficie.

Efecto Coriolis

Fuerza aparente que desvía el viento, cualquier parcela de fluido o un objeto en movimiento hacia la izquierda en el hemisferio sur.

Elementos climatológicos

Variables originadas por los procesos de intercambio energético entre la Tierra y la atmósfera en un período largo. Pueden ser la temperatura, el viento, la nubosidad, la precipitación, la humedad del aire, etc.

Energía

Capacidad de un sistema para hacer un trabajo.

Equinoccio

Cualquiera de las dos fechas del año en que el Sol cruza aparentemente el ecuador celeste: del 20 al 21 de marzo y del 22 al 23 de septiembre. En la Tierra, la duración del día es igual a la de la noche.

Erosión

Destrucción de la superficie causada por la acción de agentes externos, como el viento y el agua. También puede ser causada por el efecto de las actividades

humanas, como la tala irracional de los bosques.

Espectro electromagnético

Rango de frecuencia en que la radiación electromagnética se propaga. Las ondas electromagnéticas van, de las de más baja frecuencia a las de la más alta, como siguen: ondas de radio, microondas, rayos infrarrojos, luz visible, rayos ultravioleta, rayos X y rayos Y. El rango que cubre este espectro va desde kilómetros (ondas de radio) hasta Angstroms (rayos gamma y rayos X).

Estación meteorológica u observatorio meteorológico

Lugar representativo de una localidad donde se evalúan las condiciones presentes del tiempo. En ella se instalan instrumentos meteorológicos que permiten realizar las observaciones meteorológicas e instrumental adecuado para tomar las lecturas de los parámetros necesarios.

Estratósfera

Capa atmosférica entre la tropósfera y la mesósfera (por arriba de los 50 km). Se caracteriza por un aumento continuo de la temperatura y por ser una región de estabilidad en la que no se pueden desarrollar movimientos convectivos en forma natural.

Estratopausa

Región fronteriza entre la tropósfera y la estratósfera.

Evaporación

Cambio de estado de la materia líquida a gaseosa como resultado de la separación de las moléculas del cuerpo líquido. Es el proceso por el cual el agua se convierte en vapor de agua y se transfiere a la atmósfera. Este proceso es opuesto al de la precipitación en la superficie terrestre.

Fases fenológicas

Periodo durante el cual aparecen, se transforman o desaparecen los órganos de las plantas. Tiempo de una manifestación biológica.

Fotoperiodo

Duración del día desde la salida hasta la puesta del sol (duración del día solar).

Friaje

Fenómeno meteorológico que se produce por el ingreso de masas de aire frío y seco a la selva, lo que ocasiona un descenso brusco de la temperatura del aire.

Gas

Fluido que tiende a expandirse y que se caracteriza por su baja densidad, como el aire.

Gases de efecto invernadero

Componentes atmosféricos (antropogénicos o naturales) que retienen la radiación de onda larga (infrarroja). Los principales gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre son el H_2O , CO_2 , CH_4 , N_2O , O_3 y CFC.

Granizo

Precipitación en forma de hielo, generalmente con la forma de pequeñas bolas de 5 mm de diámetro (más pequeñas que un copo de nieve). El granizo se observa en latitudes medias y es muy raro en los trópicos. Se forma en las nubes convectivas.

Helada

Condición meteorológica durante la cual la temperatura del aire está por debajo de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. En la agricultura hay dos tipos de heladas muy comunes: la helada blanca y la helada negra.

Helada blanca

Condición meteorológica que se caracteriza, además, por el aire húmedo. Con la temperatura por debajo de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, el vapor de agua se congela directamente por el proceso de sublimación; es decir, pasa de gas (vapor de agua) a sólido (hielo) sin pasar por el estado líquido. Este tipo de helada no es muy severa, pues al formarse el hielo en la superficie de las plantas, se forma una capa protectora que impide que el organismo siga perdiendo calor.

Helada negra

Condición meteorológica que se caracteriza, además, por el aire seco. Con la temperatura por debajo de los $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, la atmósfera seca no permite que se forme la capa de hielo que aparece durante la helada blanca, por lo que la planta pierde demasiado calor y finalmente muere (se aprecia en el cambio de color de claro a oscuro).

Hidrosfera

Capa de agua líquida que rodea a la tierra sólida y cubre $3/4$ partes de la superficie terrestre. Está conformada por los océanos, mares, lagos, ríos, acuíferos, etc.

Humedad

Contenido de vapor de agua presente en el aire. Puede ser expresada como humedad absoluta, humedad específica, humedad relativa, o en razón de

mezcla.

Humedad relativa

Cociente entre la cantidad de humedad en el aire y la cantidad de humedad que el aire puede contener a una temperatura dada. Se expresa en porcentajes.

Huaico

Flujo de lodo y piedras con gran poder destructivo, muy comunes en el Perú. En quechua se dice *llocllas*.

Inversión térmica

En la tropósfera, en condiciones normales, la temperatura decrece con la altura. Se dice que hay una inversión térmica cuando la temperatura aumenta con la altura, de tal manera que el gradiente térmico es positivo. La inversión térmica se asocia siempre a un estado de estabilidad en la atmósfera.

Inundación

Flujo o invasión de agua por exceso de escurrimientos superficiales o por acumulación en terrenos planos, ocasionados por falta o insuficiencia de drenaje tanto natural como artificial.

Latitud

Distancia que existe entre un punto cualquiera y el ecuador, medida sobre el meridiano que pasa por dicho punto.

Litósfera

Capa de tierra sólida (masas continentales) en nuestro planeta.

Lluvia

Precipitación de partículas de agua en forma de gotas, cuyo diámetro superior es de 0,5 mm. Estas gotas tienen una distribución amplia, hay mucho espacio entre unas y otras.

Longitud

Distancia que existe entre un punto cualquiera y el meridiano de Greenwich, medida sobre el paralelo que pasa por dicho punto.

Longitud de onda (λ)

Se define como $\lambda = v/f$, donde v es la velocidad de fase y f es la frecuencia de la onda. Cada tipo de radiación tiene diferente longitud de onda. Las ondas de radio tienen la longitud de onda más grande, mientras que los rayos gamma

la tienen más pequeña.

Masa

Cantidad de materia de un objeto. Es la medida de la inercia de un cuerpo dada por la aceleración que le comunica una fuerza.

Masa de aire

Extensa porción de la atmósfera que presenta características homogéneas de temperatura y humedad.

Meteorología

Ciencia del tiempo atmosférico. Trata del estudio de la atmósfera y de los fenómenos y procesos que en ella ocurren.

Mesósfera

Capa atmosférica que se ubica a entre 50 y 80 km de altura y que se caracteriza por no presentar vapor de agua y por una disminución de la temperatura. Además, por efecto de la radiación solar, las moléculas de oxígeno se separan y dan lugar a las moléculas de ozono en esta capa.

Nubes

Conjunto de diminutas gotas de agua líquida o sólida suspendido en la atmósfera.

Ozono

Molécula triatómica de oxígeno (O_3) que se produce principalmente en la alta estratosfera por la disociación de moléculas provocada por la radiación ultravioleta que emite el Sol. El ozono absorbe esta radiación a longitudes de onda de entre 0,2 y 0,3 micras. La mayor concentración de este elemento se encuentra a entre 20 y 25 km de altitud, en la ozonósfera.

Perihelio

Punto en la órbita de un planeta en el que se encuentra más cercano al Sol. En el caso de la Tierra sucede a principios de enero.

Plano orbital

Plano que describe la Tierra en su movimiento de traslación alrededor del Sol.

Pluviómetro

Instrumento usado para medir la cantidad de agua (sólida o líquida) precipitada al suelo.

Presión atmosférica

Peso de una columna de masa de aire atmosférica sobre un área.

Precipitación

Partículas de agua líquidas o sólidas que caen desde la atmósfera hacia la superficie terrestre.

Promedio climático

Media de una serie larga de datos sobre un elemento climático.

Pronóstico meteorológico

Pronóstico del estado del tiempo, es decir, la predicción del estado futuro de las condiciones atmosféricas. Para esto se utilizan métodos observacionales o modelos computacionales y matemáticos.

Predicción meteorológica

Estimación del estado futuro de la atmósfera con base en las condiciones meteorológicas presentes.

Radiación

Forma en que la energía o las partículas se propagan. La transferencia de calor por radiación se da por medio de ondas electromagnéticas que pueden propagarse de igual manera en un medio material que en la ausencia de este. Los cuerpos oscuros absorben la mayor parte de la radiación que reciben, en cambio los más claros reflejan más radiación que la que absorben.

Radiosonda

Instrumento de medida que se ata a un globo lleno con algún gas ligero, con el objeto de realizar la medición de datos meteorológicos a diferentes alturas, los cuales transmiten a una estación receptora ubicada en superficie. La radiosonda incluye sensores para medir la presión, la temperatura y la humedad.

BIBLIOGRAFÍA

Ahrens, D. C., Peter Jackson y Christine Jackson (2009). *Meteorology today: An introduction to weather, climate, and the environment*. Belmont: Brooks/Cole, Cengage Learning. Consulta: 1 de diciembre de 2015. <http://www.nelsonbrain.com/content/ahrens00391_0176500391_02.01_chapter01.pdf>

Aksit, F. (2012). "Clarification of selected misconceptions in climate topic". *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. s/l, volumen 46, pp. 4363-4368. Consulta: 1 de diciembre de 2015. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187704281201991X>>

Alexander, L. y C. Tebaldi (2012). "Climate and weather extremes: observations, modeling, and projections". En Henderson-Sellers, Ann y Kendal McGuffie (editores). *The future of the world's climate*. Waltham: Elsevier, pp. 253-288.

Arguez, A. y Russell Vose (2011). "The definition of the standard WMO climate normal: The key to deriving alternative climate normal". *Bulletin of the American Meteorological Society*. Boston, volumen 92, número 6, pp. 699-704

Barry, R., y Chorley, R. (2003). "Atmospheric composition, mass and structure". En Barry R. y R. Chorley. *Atmosphere, weather, and climate*. Londres, UK: Routledge, pp. 13-39.

Blakey, R. (s/f). [Mapas rectangulares de paleogeografía]. Colorado: Colorado Plateau Geosystems. Consulta 21 de diciembre de 2018: 1 de diciembre de 2015. <<https://www2.nau.edu/rcb7/>>

Bell, M., D. Davis y T. Fletcher (2004). "A retrospective assessment of mortality from the London smog episode of 1952: The role on influenza and pollution". *Environmental Health Perspectives*. s/l, volumen 112, año 1, pp. 6-8.

Brooks, T. M. y otros (2006). "Global Biodiversity conservation priorities". *Science*. s/l. volumen 313, pp. 58-61.

Brusseau, M., G. Famisan y J. Artiola (2004). "Chemical contaminants". En Artiola J., I. Pepper y M. Brusseau. *Environmental monitoring and characterization*. Londres: Elsevier, pp. 299-312.

Caviedes, C. (1975). El Nino 1972: Its climatic, ecological, human, and economic implications. *Geographical Review*. s/l, volumen 65, numero 4, pp. 493-509.

Centro de Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres Consulta 28 de febrero 2018. www.cenepred.gob.pe/web/descargas/Escenario%20de%20Riesgo%202018/Heladas%202018/Heladas%20y%20friaaje/2018/ESCENARIO_RIESGOS_PMAHYF_2018.pdf

Comité Multisectorial Encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (2012). *Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú*. Lima. Consulta: 1 de diciembre de 2015. <http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_comenf_not_tecni_enfen_09abr12.pdf>

Consejo Nacional del Ambiente (2001). *Perú: Estrategia nacional sobre diversidad biológica*. Lima: APECO.

DeVries, T. J. y otros (1997). "Determining the early history of El Niño". *Science*. s/l, volumen 276, pp. 965-967.

Earls, J. (1998). *The character of Inca and Andean agriculture*. Lima. Consulta: 21 de diciembre de 2018: <<http://anthrome.wordpress.com/2011/03/26/>>

Echevarría, A. I. y R. Miazso (2002). *El Ambiente en la producción animal*. Material de enseñanza. Córdoba: Universidad Nacional de Río Cuarto. Consulta: 1 de diciembre de 2015. <http://www.produccion-animal.com.ar/clima_y_ambientacion/01-el_ambiente_en_la_produccion_animal.pdf>

Egúsqüiza, R. y W. Catalán (2011). *Manejo integrado de papa*. Cuzco. Consulta: 1 de diciembre de 2015. <http://www.agrobanco.com.pe/pdfs/CapacitacionesProductores/Papa/MANEJO_INTEGRADO_DE_PAPA.pdf>

El tiempo - Tutiempo Network, S.L. (s/f). *Diccionario Meteorología*. s/l: TuTiempo.net. Consulta: 20 de enero de 2015. <www.tutiempo.net/meteorologia/diccionario>

Environmental Protection Agency (2012). *What are the six common air pollutants*. Consulta: 1 de diciembre de 2015. <<http://www3.epa.gov/airquality/urbanair/>>

Fagan, B. M. (1999). *Floods, famines, and emperors: El Niño and the fate of civilizations*. New York: Basic Books.

Gomes, R. (2006). "Weather and climate and animal production". En World Meteorological Organization (editores). *Update of the guide to agricultural meteorological practices*. Ginebra: Autor.

Gómez, B. (2005). "Weather, climate and tourism: A geographical perspective". *Annals of Tourism Research*. s/l, volumen 32, número 3, pp. 571-591.

Gruen, G. E. (2000). "Turkish Waters: Source of Regional Conflict or Catalyst for Peace?". *Water, Air, & Soil Pollution*. s/l, volumen 123, número 1-4, pp. 565-579.

Grujil, F. R. (1999). "Skin cancer and solar UV radiation". *European Journal of Cancer*. s/l, volumen 35, número 14, pp. 2003-2009.

Huddart, D. y T. Stott (2010). *Earth Environments: Past, present and future*. Hoboken: John Wiley & Sons.

Instituto Nacional de Defensa Civil (2006). *Manual básico para la estimación del riesgo*. Lima: Instituto Nacional de Defensa Civil.

Instituto Nacional de Innovación Agraria (2012). Catálogo de nuevas variedades de papa: sabores y colores para el gusto peruano. Lima: Instituto Nacional de Innovación Agraria. Consulta: 1 de diciembre de 2015. <<http://www.inia.gob.pe/prod-servicios/publicaciones/publicacion>>

Instituto Nacional de Innovación Agraria (2010). *Papa INIA 317-Altiplano: Variedad de alto rendimiento, adaptada al altiplano*. Lima: Instituto Nacional de Innovación Agraria Programa Nacional de Innovación Agraria en Papa.

Instituto Nacional de Innovación Agraria (2010). *Papa INIA 307-Puneñita: Nueva cultivar de papa con resistencia a nematodo rosario y tolerancia a sequía y granizadas*. Lima: Instituto Nacional de Innovación Agraria - Programa Nacional de Innovación Agraria en Papa.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2008). "Technical paper on climate change and water". 37 Session of the IPCC Bureau. Budapest.

Intergovernmental Panel on Climate Change (1992). *Climate Change 1992: The supplementary report to the IPCC scientific assessment*. Cambridge: Cambridge University Press.

Martínez, A. y otros (2012). "Conocimiento local sobre tiempo y clima en el valle del Mantaro". En Martínez, A. (editores). *Manejo de riesgos de desastres ante eventos meteorológicos extremos en el valle del Mantaro*. Lima: Instituto Geofísico del Perú, pp. 54-60.

Ministerio de Agricultura del Perú (2006). *Plan nacional de desarrollo ganadero 2006-2015*. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura del Perú, Comisión Técnica Plan Ganadero Nacional.

Ministerio de Agricultura y Riego (2013). *Papa: Principales aspectos agroeco-nómicos*. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego -Dirección de Información Agraria. <http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroeconomia/2014/papa_2014.pdf>

Ministerio del Ambiente (s/f). "Organismos adscritos". Lima: Autor. Consulta: 1 de diciembre de 2015. <<http://www.minam.gob.pe/?el-ministerio=organismos-adscritos>>

Ñiquen, M. y M. Bouchon, M. (2002). "Interactions between distribution and concentration of main pelagic resources in Peruvian waters during 1983-2001". *Investigaciones Marinas*. s/l, volumen 30, número 1. Consulta: 1 de diciembre de 2015. <http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-71782002030100084&script=sci_arttext>

Odada, E., L. Oyebande y J. Oguntola (2006). Lake Chad: Experience and lessons learned brief. Nairobi: Universidad de Nairobi. Consulta: 1 de diciembre de 2015. <http://www.worldlakes.org/uploads/06_Lake_Chad_27February2006.pdf>

Office of Satellite and Product Operations (2012). Monthly Mean SST Charts (1984-1998). [Gráficos de temperatura superficial del mar globales mensuales]. Consulta: 1 de diciembre de 2015. <http://www.ospo.noaa.gov/Products/ocean/sst/monthly_mean.html>

Olds, W. J. y otros (2008). "In vitro model of vitamin D3 (Cholecalciferol) synthesis by UV radiation: Dose-response relationships". *Journal of Photochemistry and Photobiology*. s/l, volumen 93, pp. 88-93.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2009). UNESCO. World Water Assessment Programme The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World. Paris. Biblioteca digital. Consulta 5 de noviembre 2018. <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000181993>>

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2011). *Manual 10 preguntas 10 respuestas sobre: Sistemas de alerta Temprana*. s/l: Unesco. Consulta: 1 de diciembre de 2015. <<http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/San-Jose/pdf/Panama%20MANUAL%20INFORMATIVO.pdf>>
- Organización de las Naciones Unidas (2015). *Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015*. s/l.:Autor.
- Rodriguez, A. (2007). Cambio climático, agua y agricultura. *Comunica*. s/l, volumen 1, número 2, pp. 13-23.
- Sanabria, J. (2003). *Impacto del evento Niño en la agricultura Peruana*. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2014). *El fenómeno de El Niño en el Perú*. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2013). *La contribución del SENAMHI para la prevención de desastres*. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2007). *Evaluación y pronóstico de la radiación ultravioleta-B en las ciudades de Lima, Arequipa, Cajamarca y Puno*. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Consulta: 1 de diciembre de 2015. <http://www.senamhi.gob.pe/pdf/bol_rad_solar.pdf>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2010). *Atlas de heladas del Perú*. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú y Food and Agriculture Organization.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú y el Ministerio de Agricultura (2011). *Manual de observaciones fenológicas* (Publicación N°052-2011-AG-DVM). Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú y Ministerio de Agricultura del Perú.
- Shiklomanov, I. (1998). *World water resources: A new Appraisal and assess-ment for the 21st century*. Paris: Naciones Unidas.
- Taddei, R. (2012). "The politics of uncertainty and the fate of forecasters". *Ethics, Policy and Environment*. s/l, volumen 15, número 2, pp. 252-267.
- Tarbuck E. J. y F. K. Lutgens (2000). *Ciencias de la Tierra: Una Introducción a la geología física*. Madrid: Prentice Hall.
- Tibbetts, J. (1996). "Farming and Fishing in the Wake of El Nino". *BioScience*. s/l, volumen 46, número 8, pp. 566-569.
- Trenberth, K., J. Fasullo y J. Kiehl (2009). "Earth's global energy Budget". *Bulletin of the American Meteorological Society*. s/l, volumen 90, número 3, pp. 311-323.
- Uitto, J. (2002). "Management of transboundary water resources: lessons from

international cooperation for conflict prevention”. *The Geographical Journal*. s/l, volumen 168, número 4, pp. 365-378.

Uitto, J. y A. Wolf (2002). “Water wars? Geographical perspectives: Introduction”. *The Geographical Journal*. s/l, volumen 168, número 4, pp. 289-292.

Unesco (2006). “The State of the Resource”. En Autor. *Water, a shared responsibility*. s/l: Unesco - World Water Assessment Programme. Consulta: 1 de diciembre de 2015. <http://www.unesco.org/bpi/wwap/press/pdf/wwdr2_chapter_4.pdf>

U.S. Geological Survey (2013). *Professional Paper 1386-A. Chapter A-2 (Figure 40)*. s/l: Autor. Consulta: 1 de diciembre de 2015. <<http://pubs.usgs.gov/pp/p1386a/gallery2-fig40.html>>

United Nations Environment Programme (2010). *The greening of water law: Managing freshwater resources for people and the environment*. Nairobi: UNEP-Division of Environmental Law and Conventions.

University of Nebraska-Lincoln (s/f). Daylighthouseexplorer

Vannini, P. y otros (2011). “Making sense of the weather: Dwelling and weathering on Canada’s rain coast”. *Space and Culture*. s/l, volumen 20, número 10, pp. 1-20.

Vélez de Villa, E. (2013). *Factores de origen ambiental que afectan la producción de leche en vacunos bajo pastoreo semi-intensivo*. Lima: UNMSM. Consulta: 1 de diciembre de 2015. <http://veterinaria.unmsm.edu.pe/files/Articulo_velez.pdf>

Vergel Moncada Diana (2017). *Cuaderno de trabajo para el estudiante - Popularización de la Meteorología - Secundaria*. Lima: SENAMHI.

Vuille, M. (2007). *Climate Change in the tropical Andes: impacts and consequences for glaciation and water resources*. Part I: The scientific basis. Reporte del Climate System Research Center. Massachusetts: Universidad de Massachusetts.

Vuille, M., Bradley, R., Werner, M., & Keimig, F. (2003). “20th century climate change in the tropical Andes: Observations and model results”. *Climate Change*. s/l, pp. 59, 75-99.

Wallace, J. M. y P. V. Hobbs (2006). *Atmospheric Science: An introductory survey*. Burlington: Academic Press.

World Meteorological Organization (s/f). *Observation components of the global observing system*. Ginebra. Consulta: 1 de diciembre de 2015. <<https://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/Gos-components.html>>

World Meteorological Organization (s/f). *Meteoterm*. s/l: WMO.multicorpora.net. Consulta: 20 de enero de 2015. <<http://wmo.multicorpora.net/MultiTransWeb/Web.mvc>>

World Resources Institute (2002). *People and Ecosystems: The Fraying Web of Life*. Washington: Autor.

Zilbert, L. (2012). *Sistemas de alerta temprana (SAT): Una herramienta para la gestión del riesgo*. Lima: Centro de Estudios y Prevención de Desastres.

Índice de figuras

Figura 1.	Diferentes representaciones del tiempo	19
Figura 2.	El clima y el promedio	19
Figura 3.	Tiempo y clima en la estación de Puno	20
Figura 4.	Fases fenológicas de la papa	22
Figura 5.	La papa y su relación con las condiciones meteorológicas	23
Figura 6.	La ranca	23
Figura 7.	El gorgojo de los Andes	24
Figura 8.	Efectos de los eventos meteorológicos extremos en el cultivo de la papa	24
Figura 9.	Efecto de la temperatura en la producción de leche	25
Figura 10.	Efecto de la sequía en el ganado	26
Figura 11.	Influencia del fotoperiodo en la reproducción del ganado	26
Figura 12.	Algunas características físicas del Perú	29
Figura 13.	Turismo afectado por fenómenos naturales	30
Figura 14.	Tipos de radiación ultravioleta	33
Figura 15.	La gran niebla	35
Figura 16.	Distribución total del agua	39-40
Figura 17.	Disponibilidad del agua en el mundo	40
Figura 18.	Uso del agua en el mundo	42
Figura 19.	Variación del lago Chad	44
Figura 20.	Friaje en la selva peruana	46
Figura 21.	Inundación en Aguas Calientes	46
Figura 22.	Salida del glaciar Qori Kalis	48
Figura 23.	Superficie terrestre en el periodo Cretácico	50
Figura 24.	Aves guaneras	52
Figura 25.	Colapso pesquero durante El Niño de 1982-1983	53
Figura 26.	Evolución de una tormenta estacionaria	56
Figura 27.	Composición química de la atmósfera	57
Figura 28.	Estructura vertical de la atmósfera	58
Figura 29.	Espectro de radiación electromagnética	61
Figura 30.	Distribución del espectro electromagnético del Sol y de la Tierra	62

Figura 31. Balance de la radiación en W/m^2	64
Figura 32. Comportamiento de la ROL y los gases de efecto invernadero	65
Figura 33. Variación latitudinal de la radiación solar incidente	66
Figura 34. Las estaciones	67
Figura 35. Ángulo de inclinación de la Tierra	67
Figura 36. Duración del día solar respecto a la latitud	69
Figura 37. Movimiento aparente del Sol y la radiación incidente	70
Figura 38. Influencia de las nubes en la radiación incidente	70
Figura 39. Relación entre la temperatura, la densidad y el volumen	73
Figura 40. Comparación entre las escalas kelvin, Celsius y Fahrenheit	75
Figura 41. Transferencia de calor entre la atmósfera y la superficie terrestre	76
Figura 42. Diferencia entre calor sensible y calor latente a través de la transferencia continua de calor	77
Figura 43. Calor absorbido y liberado en los procesos de cambio de estado del agua	77
Figura 44. Transporte de calor desde regiones cálidas hacia regiones frías	78
Figura 45. Convección del aire debido al calentamiento disperejo de la superficie	79
Figura 46. Variabilidad anual en la estación de Desagüadero, Puno	80
Figura 47. Variación horaria de la temperatura del aire	81
Figura 48. Variación anual de temperatura ($^{\circ}C$) en las estaciones de Puerto Pizarro (Tumbes) y A. Von Humboldt (Lima), periodo 1971-2000	84
Figura 49. Variación anual de temperatura ($^{\circ}C$) en las estaciones de Juli (localizada en las orillas del lago Titicaca) y Mazocruz (a 70 km del lago Titicaca, aproximadamente), periodo 1981-2010.....	85
Figura 50. Variación anual de temperatura ($^{\circ}C$) en las estaciones de Ñaña, Matucana y Jauja, periodo 1971-2000	86
Figura 51. Temperaturas medias diaria, mensual y anual de Huaraz, 2016	89
Figura 52. Presión atmosférica	92
Figura 53. Variación de la presión atmosférica con la altura	93
Figura 54. Variación de la presión atmosférica al mismo nivel de altura	95

Figura 55. Líneas de presión	96
Figura 56. Representación del viento.	97
Figura 57. Rosa de viento	97
Figura 58. Efecto Coriolis.	98
Figura 59. Modelo de circulación atmosférica de una sola célula	99
Figura 60. Modelo de circulación atmosférica de tres células	100
Figura 61. El ciclo del agua y sus principales componentes	102
Figura 62. Medición de la precipitación	103
Figura 63. Uso de la bóveda celeste para medir la cantidad de nubes	105
Figura 64. Clasificación de las nubes	107
Figura 65. Escorrentías según la intensidad de la precipitación	109
Figura 66. Componentes del balance hídrico	110
Figura 67. Distribución de los componentes del balance hídrico de una cuenca	111
Figura 68. Los componentes del sistema climático	112
Figura 69. Interacción entre los componentes del sistema climático	113
Figura 70. Escala de tiempo geológico	114
Figura 71. Transformación de la superficie terrestre	116
Figura 72. Variación horaria de la temperatura en Puno	117
Figura 73. Variación anual de la temperatura media mensual en Puno	118
Figura 74. Variación de la temperatura media anual en Puno, 1964-2013	118
Figura 75. Causas de variabilidad climática y cambio climático	119
Figura 76. Corriente de El Niño	120
Figura 77. Temperatura superficial del mar (TSM).	122
Figura 78. Componentes de la estación meteorológica de superficie	128
Figura 79. Imágenes de la Tierra tomadas por el satélite GOES 16	129
Figura 80. Red de estaciones hidrometeorológicas del Perú	130
Figura 81. Algunos productos del SENAMHI que nos informan sobre las condiciones actuales del tiempo	133
Figura 82. Algunos productos del SENAMHI que nos informan sobre el pronóstico del tiempo	135-136
Figura 83. Mapas de escenarios de riesgos	143
Figura 84. Mapa de escenarios de riesgos por heladas y friajes para el sector educación	144

Figura 85. Mapa de aviso meteorológico del SENAMHI	146
Figura 86. Componentes del sistema de alerta temprana para eventos meteorológicos extremos	148
Figura 87. Índice Costero El Niño	149
Figura 88. Regiones de monitoreo del fenómeno de El Niño	149

Índice de tablas

Tabla 1. Preguntas clave para el turista y el empresario de turismo	31
Tabla 2. Necesidades del turista	32
Tabla 3. Los seis contaminantes más importantes del aire	36
Tabla 4. Gases de efecto invernadero	37
Tabla 5. Gases reactivos	38
Tabla 6. Eventos meteorológicos extremos en el Perú y sus consecuencias	45
Tabla 7. Horas de Sol	83
Tabla 8. Temperaturas mínimas diarias de Huaraz, 2016	87
Tabla 9. Temperaturas máximas diarias de Huaraz, 2016	88
Tabla 10. Cálculo del rango de temperatura anual en Huaraz, 2016	90
Tabla 11. Niveles mandatorios de presión y su altitud aproximada	94
Tabla 12. Relación entre la cobertura de nubes y las oktas	106
Tabla 13. Altura aproximada de la base de las nubes en diferentes regiones	106
Tabla 14. Instituciones que nos proporcionan productos y servicios relacionados con el ambiente	123
Tabla 15. Instituciones adscritas al Ministerio del Ambiente	124
Tabla 16. Pronóstico del clima de acuerdo con el conocimiento local en el valle del Mantaro	126
Tabla 17. Pronóstico de eventos meteorológicos extremos de acuerdo con el conocimiento local en el valle del Mantaro	126

Tabla 18.	Medidas para evitar o mitigar eventos meteorológicos extremos de acuerdo con el conocimiento local en el Valle del Mantaro	127
Tabla 19.	Clasificación de las estaciones meteorológicas	131
Tabla 20.	Tipo de observaciones realizadas por las diferentes clases de estaciones meteorológicas.....	132
Tabla 21.	Condiciones normales de algunas localidades de los Andes, 1981–2010	134
Tabla 22.	Diversidad de cultivos en la microcuenca Mollebamba.	138
Tabla 23.	Tipos de piel y su respuesta a la exposición solar	140
Tabla 24.	Índice de radiación UV y acciones de protección	141
Tabla 25.	Instituciones que nos ayudan a identificar el peligro y la vulnerabilidad de nuestras comunidades	142
Tabla 26.	Clasificación de la severidad de las heladas.	145
Tabla 27.	Niveles de peligro usados en los avisos meteorológicos del SENAMHI	145
Tabla 28.	Categorías de las anomalías de la TSM	150

EL PERÚ PRIMERO

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation
Federal Department of Home Affairs FDHA
Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss

MeteoSwiss



 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Embajada de Suiza en el Perú

**Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE**



PERÚ

**Ministerio
del Ambiente**