

MINISTERIO DE AMBIENTE, ENERGÍA Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL

Sobre algunos fenómenos meteorológicos en Costa Rica



INTRODUCCION

Suele creerse que un *fenómeno* es una cosa o evento extraordinario, sorprendente e inexplicable de la naturaleza, o también aquellos procesos permanentes de movimientos y de transformaciones que sufre la naturaleza y que pueden influir en la vida humana. Etimológicamente hablando, el término *fenómeno* tiene su origen en la palabra latina *phaenomēnon*, que a su vez deriva de un concepto griego (φαινόμενον) cuyo significado es *aparición o manifestación*. El diccionario de la real Academia Española (RAE) lo define como toda manifestación que se hace presente a la conciencia de un sujeto y aparece como objeto de su percepción. Filosóficamente hablando, puede conceptualizarse como lo que aparece o se manifiesta y es captable por los sentidos. Resumiendo lo anterior en un sentido más físico, se puede concluir que los fenómenos -como los meteorológicos- son sucesos naturales sujetos de ser captados y estimados por nuestros sentidos o por algún instrumento, con la capacidad de producir un impacto en la vida humana.

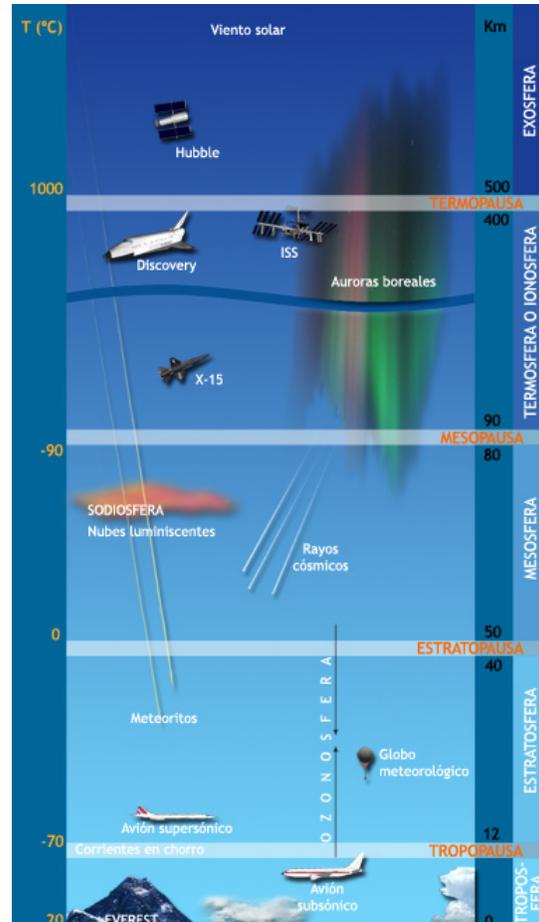
Antes de empezar a describir los distintos fenómenos meteorológicos que forman parte del tiempo y clima de Costa Rica, debemos tener en cuenta que éstos tienen como escenario la *atmósfera*, es decir, esa porción del cielo donde acontecen todos los fenómenos meteorológicos. Por esta razón el primer tema a tratar es el de la atmósfera. Posteriormente se hará una descripción de los fenómenos meteorológicos que nos afectan directa e indirectamente, atendiendo a una clasificación según la dimensión espacio-temporal, es decir, por su tamaño y tiempo de persistencia, comenzando por aquellos de mayor extensión y duración. En esta clasificación se hará referencia a todo tipo de fenómenos, no solo los que ocasionan desastres sino también a los “inofensivos” o los que son poco conocidos del público, como las vaguadas, el monzón, el efecto Föhn, la oscilación Madden-Julian, etc.

LA ATMOSFERA

La atmósfera es la capa de aire que rodea la Tierra y es retenida por la acción de la gravedad. Prácticamente el 100% de la masa total de la atmósfera está a una altura menor de los 1000 km, de hecho se considera que arriba de esta capa tenemos el espacio. Químicamente hablando, la atmósfera terrestre está compuesta de 78% de nitrógeno y 21% de oxígeno, donde también están presente otros gases y vapores en menores concentraciones: CO₂ (dióxido de carbono), H₂O (vapor de agua), O₃ (ozono), etc. Sin embargo varios de estos componentes, juegan un rol fundamental en el resguardo de la vida en la Tierra, por ejemplo el ozono (O₃) nos protege de la radiación ultravioleta.

La atmósfera terrestre está dividida en estratos o capas, cada una de las cuales muestra un comportamiento distinto de la temperatura. El gráfico adjunto, muestra las capas que componen la atmósfera y el comportamiento de cada una de ellas. Aproximadamente un 75% de la masa de la atmósfera está a una altura de menos de 18 km, esta primera capa es conocida como la **troposfera**,

donde la temperatura disminuye con la altura a razón de 6,5°C/km. La vida, el tiempo, el clima, el vuelo de los aviones, etc. se desarrollan en esta capa. El espesor de la troposfera no es constante en toda la Tierra, sino que varía con la latitud: en los polos tiene casi la mitad de espesor que en el ecuador (18 km). En promedio el espesor de la troposfera es de unos 12 km. Al disminuir hasta una temperatura de -70°C, la temperatura se estabiliza en una zona de transición conocida como la tropopausa. Arriba de la tropopausa, y hasta una altura de unos 50 km, tenemos la estratosfera, aquí más bien la temperatura aumenta con la altura, aumentando hasta 0°C. Este incremento está relacionado con la absorción de la radiación solar ultravioleta por el ozono, el cual presenta un máximo de concentración en esta capa. Entre los 50 km y 85 km tenemos la mesosfera, donde nuevamente la temperatura disminuye con la altura a una razón de 3,5°C/km, es la capa más fría de la atmósfera, ya que la temperatura puede llegar a valores tan bajos como -90°C. Por lo general en esta capa se queman la mayoría de los meteoritos que inciden sobre la tierra. Arriba de esta capa y hasta unos 450 km tenemos la termósfera, donde nuevamente la temperatura aumenta con la altura, de tal modo que es la capa más caliente de la atmósfera (temperatura media de



400°C, pero puede llegar hasta los 1000°C). Estas altas temperaturas están asociadas a la fuerte absorción de radiación solar por las moléculas de oxígeno. En esta capa se forman las auroras boreales y es donde orbitan los transbordadores espaciales y la estación internacional (ISS). Finalmente, la exosfera, es la capa límite entre la atmósfera y el espacio, donde existe prácticamente el vacío y el cielo es de color negro. La base de la exosfera se localiza aproximadamente a unos 500 km de altitud. En esta capa prácticamente no hay aire, por lo tanto es casi imposible y no tiene sentido medir la temperatura, ya que depende de la cantidad de partículas y su grado de agitación.

La atmósfera terrestre, lejos de ser una masa de aire inerte, presenta características cambiantes de gran complejidad. Las masas atmosféricas se mueven constantemente, se calientan o se enfrían, se saturan o se liberan de humedad. Aunque los fenómenos ligados al carácter cambiante de la atmósfera pueden llegar a ser extremadamente destructivos, es muy posible que sin ellos la vida en la tierra no existiera, o por lo menos sería muy distinta a lo que conocemos.

ESCALA DE LOS FENÓMENOS METEOROLÓGICOS

Los fenómenos meteorológicos se pueden agrupar en distintas categorías, por ejemplo por la frecuencia con la que se presentan y el grado de influencia o impacto que ejercen sobre el medio. A este tipo de clasificación se le denomina “escala espacio-temporal”, así por ejemplo la turbulencia en el suelo es un fenómeno que produce un cambio repentino (o en unos pocos minutos) en la dirección del viento y se manifiesta a pocos metros sobre la superficie terrestre, sin embargo, su influencia no se extiende a distancias superiores a los cientos de metros, por eso se le clasifica como un fenómeno de escala local o pequeña. La tabla siguiente muestra en detalle la clasificación que utilizan los meteorólogos, donde se incluyen ejemplos de cada categoría así como el tamaño espacial y duración.

	FENÓMENOS METEOROLÓGICOS	ESCALA ESPACIAL	ESCALA TEMPORAL	PLAZOS PREDICCIÓN
MACROESCALA o ESCALA PLANETARIA	Alisios, vientos del Oeste, ondas planetarias	Miles de kilómetros	Semanas a meses	Largo Plazo (> 10 días)
ESCALA SINÓPTICA	Borrascas, anticiclones, frentes, huracanes	Cientos a miles de Km	Días a semanas	Medio Plazo (3 a 10 días)
MESOESCALA	Brisas de mar, montaña, tormentas, tornados	Uno a cientos de km	1 hora a 2 días	Corto plazo (12 a 48 horas) Muy corto plazo (1- 12 horas)
MICROESCALA	Turbulencia, remolinos, ráfagas de polvo	Centímetros a metros	Minutos	

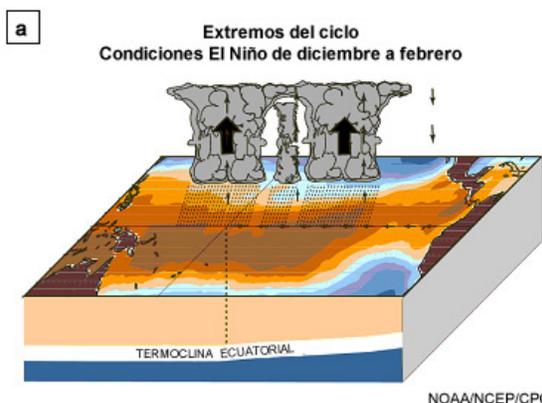
Dada la escala de tiempo y espacio en que se suscitan los fenómenos meteorológicos, se puede tener sobre ellos un control relativo de su evolución y permiten pronósticos aceptables del clima y del tiempo.

FENÓMENOS DE MACROESCALA O ESCALA PLANETARIA

En esta escala, los fenómenos involucrados cubren inmensas áreas de la Tierra (mayor a los 2000 kilómetros) y tardan meses en formarse, meses en desarrollarse y meses en desaparecer. Los fenómenos más frecuentes en Costa Rica en esta escala son: el ENOS, la Zona de Convergencia Intertropical, el viento Alisio, el Monzón y la Oscilación Madden-Julian.

1. EL FENÓMENO ENOS

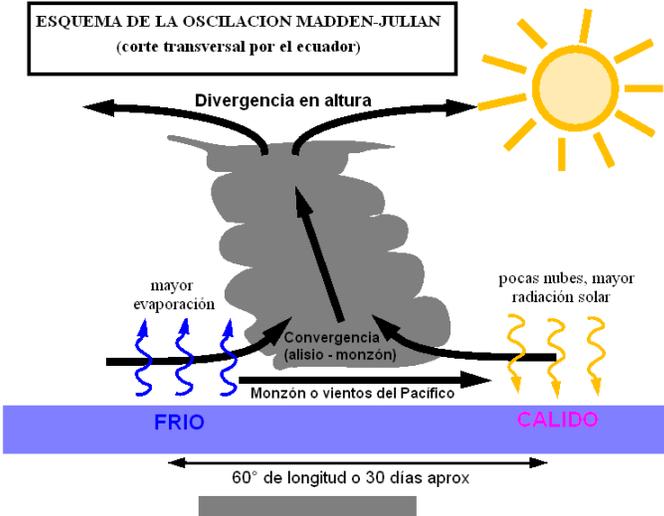
Este es uno de los fenómenos más grandes y más estudiados de la naturaleza, ya que ocasiona cambios atmosféricos y oceánicos a nivel mundial. **ENOS** son las siglas en español de **El Niño Oscilación del Sur**. Es un fenómeno cíclico pero aperiódico que surge del acople de anomalías en el océano y la atmósfera, consiste en la interacción del enfriamiento o el calentamiento -más allá de los niveles normales- de las aguas del océano Pacífico tropical con la atmósfera circundante. El ENOS consta de dos fenómenos principales, por un lado la fase de El Niño, que se caracteriza por un calentamiento excesivo del océano y, por otro lado, la fase de La Niña, la cual se manifiesta como un enfriamiento atípico de las mismas aguas. Es importante aclarar que ambas fases no se producen al mismo tiempo y no siempre se suceden en forma alternada. La duración de cada fase, su aparición e intensidad son muy variables de un ciclo al otro, sin embargo puede decirse que en término medio la duración es de 17 meses, aunque con un rango de variación de 6 hasta 48 meses (4 años). En promedio la Niña dura más tiempo que el Niño (18 vs 15). En cuanto a la recurrencia, hace unos 60 años se podían registrar hasta 48 meses (4 años) entre un evento y el otro, es decir, se presentaban hasta 4 eventos por década, no obstante en los últimos 20 años ese tiempo disminuyó a la mitad, lo que significa que la frecuencia de fenómenos aumentó a 7 por década. Respecto a la intensidad, definitivamente los fenómenos del Niño han sido más intensos que los de la Niña, por ejemplo la máxima magnitud de un evento Niño ha sido de 3,1 (según un índice acoplado) en 1983, mientras que de la Niña fue de 2,0 en el 2011. Lo anterior también pone de manifiesto que los eventos ENOS más intensos se han producido en los últimos 30 años.



Los efectos que estos dos fenómenos causan en el país son inversos y tan variables tanto en espacio como en tiempo, así por ejemplo el Niño ocasiona temperaturas más altas que las normales y déficit de lluvias en la Vertiente del Pacífico, mientras que la Niña produce una temporada lluviosa más intensa en las mismas regiones. En la mayoría de los casos ese faltante de lluvias durante el Niño se llega a convertir en sequías severas, especialmente en Guanacaste, caso contrario a Limón, donde se presentan grandes inundaciones, específicamente a mediados de año.

2. OSCILACIÓN DE MADDEN-JULIAN (OMJ)

A principios de la década de 1970, los análisis de las observaciones realizadas en las regiones tropicales revelaron que la presión en la superficie y los vientos atmosféricos tienden a exhibir un ciclo coherente con una frecuencia media de 45 días (variación de 30 a 60 días). Las investigaciones posteriores han vinculado dichas variaciones a la alternancia entre amplias zonas de actividad e inactividad de lluvias tropicales, por esta razón su comportamiento es el de una oscilación, con una fase o periodo de lluvia y otra fase con ausencia o con pocas precipitaciones.



Al igual que el ENOS, la OMJ es un sistema acoplado océano-atmósfera. La componente atmosférica se caracteriza por una oscilación que se propaga hacia el este desde Indonesia a lo largo de la línea ecuatorial a aproximadamente 5 m/s (lo cual corresponde a un período aproximado de 30 a 60 días, cuya escala espacial se puede describir en términos de una longitud de onda aproximadamente de 12000 a 20000 km). La OMJ suele estar más organizada en la región comprendida entre el océano Índico austral a través de Australia, hacia el este, hasta el Pacífico occidental, en el invierno boreal. La señal atmosférica característica es evidente en la presión de superficie, la intensidad de los vientos troposféricos en altura y en niveles inferiores y en los campos representativos de la convección profunda (humedad relativa, radiación de onda larga saliente y agua precipitable). La componente oceánica de la OMJ exhibe una oscilación cuyo

período es algo más largo, entre 60 y 75 días. La señal oceánica característica de la OMJ es evidente en la temperatura superficial del mar (TSM).

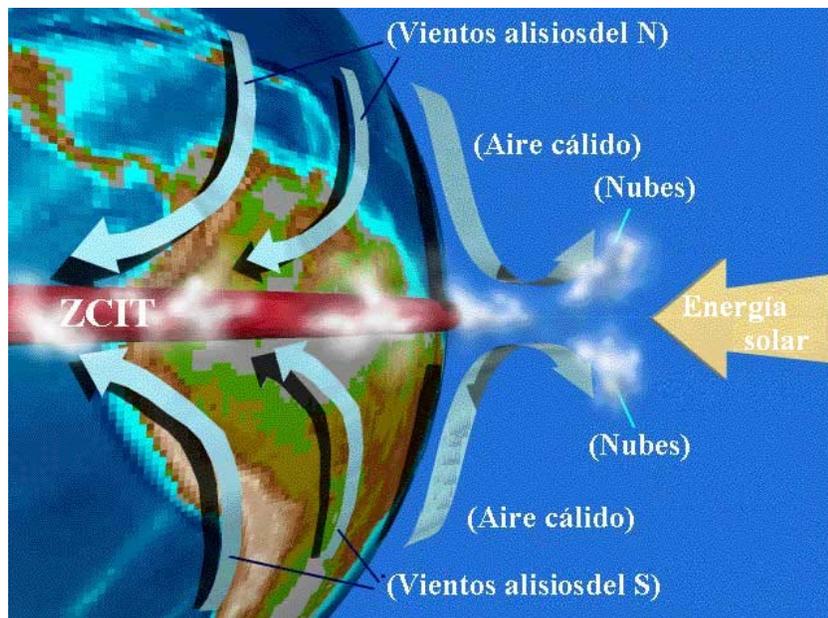
La influencia de este fenómeno en el país es más evidente en las variaciones de las precipitaciones locales, manifestándose como un periodo con altas cantidades de lluvias seguido de otro con bajos montos. En este sentido la OMJ es muy similar a una onda tropical, sin embargo se diferencian en la escala y en la dirección de desplazamiento: la OMJ es una onda tropical de mayor escala que proviene del oeste o del océano Pacífico, mientras que la onda tropical es un fenómeno de menor tamaño y proviene del este o del Atlántico. También se ha demostrado que la OMJ modula las fases de actividad e interrupción de los vientos monzónicos y alisios, así como el comportamiento de los ciclones tropicales, los cuales tienden a ser más o menos numerosos en función de cuál fase de la OMJ está pasando por el país.

3. ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL (ZCIT)

Se trata de una zona de la Tierra muy especial situada justo en la franja ecuatorial y en donde el sol provoca una actividad frenética de evaporación y calentamiento.

La zona de convergencia intertropical (ZCIT) es un cinturón de bajas presiones, nubes y tormentas que rodea a todo el globo terrestre en la región tropical. Está formado, como su nombre indica, por la convergencia de aire cálido y húmedo de latitudes al norte y al sur del ecuador, es decir, por la confluencia de los alisios de ambos hemisferios. La posición de esta banda de nubes y lluvias varía meridionalmente con el ciclo estacional siguiendo la posición del Sol en el cenit. Sobre el continente americano alcanza su posición más al norte (15° N) durante setiembre y su posición más al sur (6° S) en enero. Sin embargo la ZCIT es menos móvil en las longitudes oceánicas, donde mantiene una posición estática al norte del ecuador. En estas áreas la lluvia simplemente se intensifica con el aumento de la insolación solar y disminuye a medida que el Sol ilumina otras latitudes.

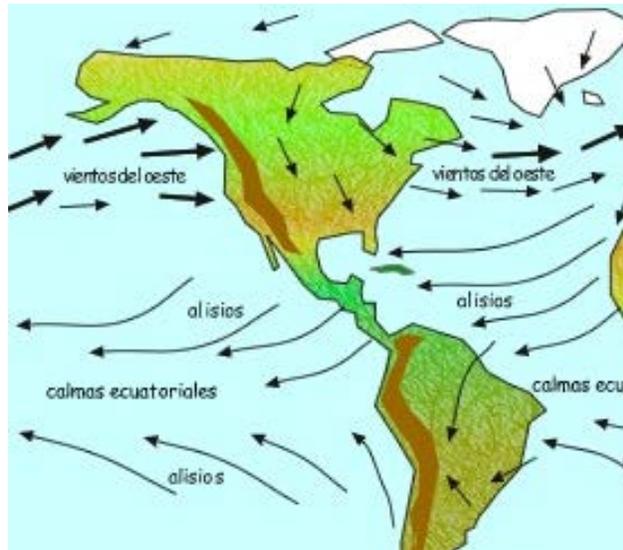
Existe también un ciclo diurno, en el cual se desarrollan nubes cúmulos a mediodía y se forman tormentas por la tarde. Las variaciones de



posición de la ZCIT afecta las precipitaciones en los países tropicales, produciendo las estaciones secas y lluviosas. En Costa Rica, su importancia estriba en la influencia que ejerce sobre el inicio, desarrollo y finalización de la temporada de lluvias, de tal forma que el establecimiento de las lluvias sigue el movimiento meridional de la ZCIT: comienza en marzo en la parte sur del país hasta alcanzar dos meses después (mayo) la región norte.

4. VIENTOS ALISIOS

Los vientos alisios son el sistema de flujo dominante en las regiones tropicales. Su etimología es muy incierta, sin embargo algunos dice que procede del vocablo griego *alx* (mar), que literalmente significa: viento marítimo, dicha condición se halla implícita en otras denominaciones, tales como la inglesa *trade-winds*, que no tiene nada que ver, como a menudo se cree, con la actividad comercial que fomentaron (al traducirse como “vientos del comercio”) los ibéricos al descubrir América, sino que deriva de “*tread*”, que significa pisar, hacer senderos, y la alemana de *passatwinde*, que



proviene del holandés y que significa vientos de tránsito o cruces. Los franceses se adjudican el término mediante los “*vents alizes*” que alude a estar unido, ser plano y liso.

Técnicamente los Alisios son vientos que proceden del noreste o sureste según sea el hemisferio. Soplan de manera relativamente constante en el verano boreal (julio) y menos en invierno (diciembre). Circulan entre los trópicos, desde los 30° de latitud (norte o sur) hacia el ecuador. Nacen en las altas presiones semipermanentes de latitudes subtropicales y se dirigen hacia las bajas presiones ecuatoriales donde se forma la Zona de Convergencia Intertropical. La fuerza de Coriolis, debida al movimiento de rotación de la Tierra, desvía a los alisios hacia el oeste, y por ello soplan del noreste al suroeste en el hemisferio norte y del sureste hacia el noroeste en el hemisferio sur.

En el caso particular de Costa Rica, los vientos Alisios parecen provenir del Mar Caribe, pero realmente se originan en el océano Atlántico, más precisamente del anticiclón o sistema de alta presión de las Azores, que se ubica en la isla del mismo nombre. Desde abril a octubre soplan con menor fuerza y con dirección del este, algunas veces desaparecen por completo debido a las bajas presiones que se forman en el Mar Caribe y océano Atlántico. Por el contrario, durante el invierno boreal (noviembre a febrero) la fuerza de los Alisios aumenta considerablemente y su dirección

cambia a una componente más del norte o noreste debido a la mayor intensidad de las altas presiones migratorias sobre Norteamérica.

Los vientos Alisios, al igual que los monzones y la Zona de Confluencia Intertropical, son en gran medida responsables de los cambios estacionales de las lluvias, es decir, ocasionan las temporadas lluviosas y secas en la Vertiente del Pacífico en función de su presencia o ausencia. Cuando corren con mayor velocidad producen condiciones lluviosas en la provincia de Limón, ya que recogen y transportan toda la humedad del mar Caribe, la cual se condensa al llegar a la costa y en las laderas de barlovento (al este de la cordillera). Al pasar por las laderas de sotavento (al oeste de las cordilleras) y llegar a la Vertiente del Pacífico, los vientos Alisios llegan secos y con una alta velocidad, principalmente en Guanacaste y el Valle Central, donde existe una estación lluviosa y seca muy marcadas. Nuestros abuelos -y aun en la actualidad- utilizaban la expresión "rompieron los Nortes" para referirse a la llegada de los vientos Alisios fríos e intensos provenientes de los frentes fríos que procedían de las zonas polares de Norteamérica. En plena temporada de lluvias, las tardes suelen ser muy lluviosas y tormentosas debido a la convergencia o choque frontal entre los vientos alisios con el sistema de vientos de los monzones y brisas marinas.

5. EL MONZON

La palabra "monzón" parece haberse originado del vocablo árabe "موسم" (mosem), que significa **estación**. Originalmente se utilizaba preferiblemente para nombrar un cambio estacional significativo en la dirección del viento, sin embargo, por tradición el término Monzón es usado para referirse a la fase lluviosa de un patrón de cambio estacional, aunque técnicamente también hay una fase seca. Por lo tanto el monzón es un tipo especial de régimen de vientos y lluvias que afectan a muchas partes del mundo. El Monzón, expresado como vientos, por lo general sopla desde el suroeste durante gran parte del año, siempre en la dirección del mar a la tierra. En un verdadero Monzón, los cambios estacionales



del viento provocan típicamente un cambio drástico en los patrones generales de precipitación y temperatura. Debido a esa razón, la definición ahora no contempla solo el cambio en la dirección del viento, denota sistemas climáticos donde quiera que la lluvia aumente dramáticamente en la estación cálida (verano) y disminuyan o desaparezcan en la estación invernal.

El caso mejor conocido es el monzón asiático, que afecta al sureste de Asia y al subcontinente indio, pero también existe un Monzón en otras partes del mundo, incluyendo en Costa Rica. Se puede describir físicamente el origen del Monzón como el resultado de la variación de la radiación

solar entrante y el calentamiento diferencial en las superficies de la tierra y el agua. Dicho de una manera más simple, la tierra se calienta y se enfría más rápido que el agua por una propiedad física conocida como “calor específico”. Por lo tanto, en la época de mayor calor (verano), la tierra alcanza una temperatura mayor que el océano, esto hace que el aire sobre la tierra comience a subir, provocando un área de baja presión; como el viento sopla desde áreas de alta presión hacia áreas de baja presión, un viento extremadamente constante sopla desde el océano. La lluvia es producida por el aire húmedo elevándose en las montañas y enfriándose, posteriormente. En invierno, como la tierra se enfría más rápidamente, el océano está a una temperatura mayor. El aire se eleva, causando un área de baja presión en el océano. Esta vez el viento sopla hacia el océano. Como la diferencia de temperaturas es menor que durante el verano, el viento no es tan constante.

En Costa Rica el Monzón se manifiesta mejor por el comportamiento de la lluvia que por el del viento, ya que este último no experimenta cambios drásticos de una estación a la otra como sí se presenta con el régimen de lluvias, específicamente el de la Vertiente del Pacífico, ya que éste régimen se caracteriza por tener una época lluviosa y una época seca muy bien definidas. El viento en nuestro país es relativamente constante y no cambia como el Monzón de Asia debido a que nuestro clima no es de tipo continental, que es una característica necesaria -pero no suficiente- de los climas monzónicos según el criterio del cambio estacional de los vientos. En este sentido el viento Alisio es el viento dominante en nuestro país casi todo el año, salvo casos extremos en que colapse o imperen los vientos provenientes del Pacífico, pero por lo general la ausencia del Alisio no es del orden de meses, sino de días o algunas semanas. A pesar de esas diferencias, nuestro monzón puede ser considerado igual o más intenso que el de Asia, en particular por las cantidades de lluvia y por su mayor prolongación, pues el Monzón asiático se produce entre junio y setiembre. Como se dijo antes, el Monzón de nuestro país se manifiesta mejor en las regiones del Pacífico, y para efectos prácticos, coincide con la época de lluvias, que en los casos más extremos -como en el Pacífico Sur- se extiende desde marzo hasta diciembre. Sin embargo, es entre setiembre y octubre que el Monzón se intensifica, pues es cuando el viento Alisio está más debilitado y son más frecuentes los vientos del Pacífico.

FENÓMENOS DE ESCALA SINOPTICA

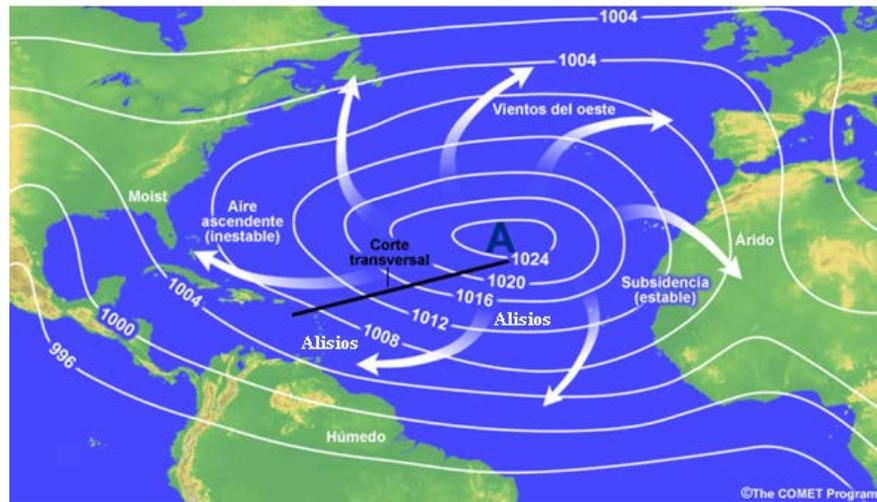
La palabra sinóptico deriva del vocablo griego *sunoptikos*, que significa *vistos juntos* o *visión generalizada*. Distintas actividades humanas, tales como la agricultura, la pesca, las comunicaciones y el turismo, entre otras, son fuertemente afectadas por fenómenos meteorológicos sinópticos, los cuales tienen una escala espacial promedio del orden de varios cientos de kilómetros (de 100 a 1000 km) y una escala temporal del orden de varios días (de 3 a 10 días). Estos fenómenos sinópticos tienen como principal función transportar grandes cantidades de calor, humedad y energía de las regiones de exceso a aquellas en que se tiene un déficit. La meteorología sinóptica es la rama de la meteorología que estudia estos fenómenos y está

estrechamente ligada al pronóstico del tiempo pues son los sistemas sinópticos los responsables principales de los cambios del tiempo.

Los fenómenos sinópticos que afectan a Costa Rica con mayor frecuencia son: los ciclones tropicales, las ondas del este, los sistemas de alta presión y sus dorsales, los sistemas de bajas presiones, las vaguadas de altura, los empujes polares, los frentes fríos, líneas de cortante.

1. SISTEMA DE ALTA PRESIÓN O ANTICICLÓN (EN SUPERFICIE)

Es una vasta área de la atmósfera, cuya presión interior (el peso del aire del aire por unidad de área) es mayor que la de sus alrededores. En un mapa del tiempo se le identifica por su forma casi ovalada o circular, con valores crecientes de la presión desde su periferia al centro del



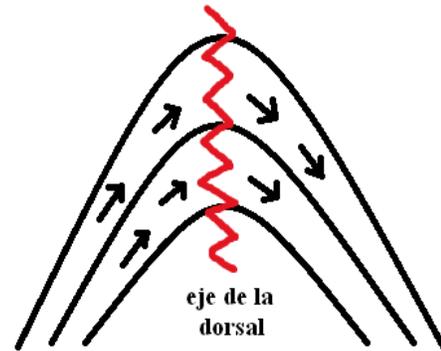
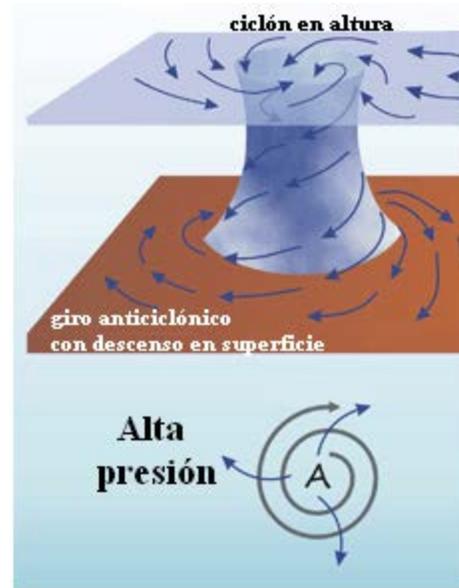
sistema. Se acostumbra utilizar la letra A (de Alta) para identificar el centro del fenómeno. La circulación del aire en el interior de un sistema de alta presión es de adentro hacia afuera (donde existe menor presión), es decir, el viento fluye de la alta a la baja presión, en este sentido se puede decir que las altas presiones se comportan como los ventiladores, porque soplan viento. Al mismo tiempo que el viento sale de una alta presión, también está rotando en el sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio norte, o contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio sur, a este tipo de giro se le conoce como “anticiclónico”, por ser inverso al de en un ciclón, por esta razón a estos fenómenos también se les denomina anticiclones. La dorsal es como un brazo o extensión elongada del anticiclón y comparte características similares a las del anticiclón.

El anticiclón de niveles bajos de la atmósfera ocasiona un tiempo claro y seco que se debe al fenómeno de la subsidencia, es decir, el movimiento vertical hacia abajo de aire proveniente desde las capas altas de la atmósfera. Los anticiclones, debido a lo anterior, provocan situaciones de tiempo estable y ausencia de precipitaciones, ya que la subsidencia limita la formación de nubes. Además, por ser una de las fuentes de los vientos, cuanto

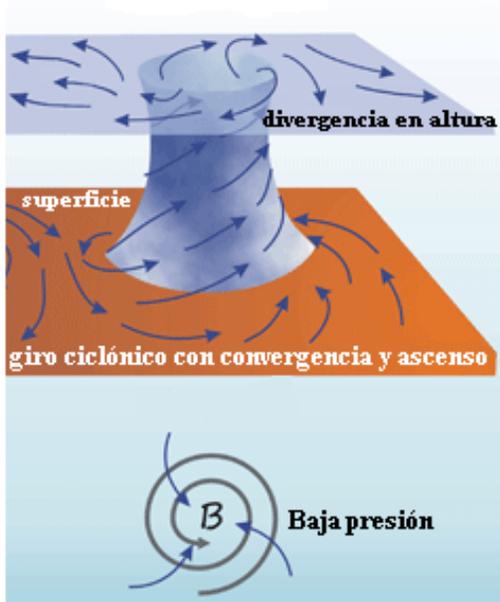
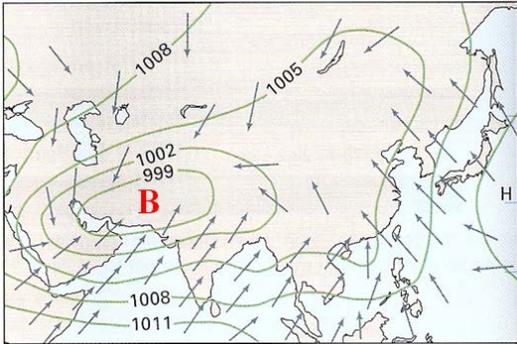


mayor sea la presión central, mayor será la velocidad de los vientos. Es importante en este punto diferenciar el efecto de estos anticiclones a los de los niveles altos, pues en promedio tienen impactos contrarios, es decir, un anticiclón a 10 km de altitud está asociado con tiempo inestable y lluvioso.

Un anticiclón semipermanente ubicado en el Atlántico norte (a nivel de superficie) es el que ejerce la mayor influencia en el tiempo y el clima de Costa Rica. El centro de este anticiclón se localiza en la latitud 30°N, y se desplaza estacionalmente entre las islas de las Bermudas y la Azores (ambas en el Atlántico Norte), por eso se le suele llamar también como anticiclón de las Bermudas o de las Azores según la temporada. Este fenómeno es responsable en gran medida de la estación seca de nuestra Vertiente Pacífica, de la actividad lluviosa en la Vertiente del Caribe y de los vientos Alisios fuertes que se producen en el Valle Central y Guanacaste a finales y principios de año. Durante marzo y abril este anticiclón suele posicionarse en los 25°N, situación que propicia vientos alisios más cálidos que los de diciembre o enero. Posteriormente, entre mayo y junio, este anticiclón se debilita y se desplaza a una posición más al norte y al este (en las Azores), por este motivo el Alisio es más débil y se establece la temporada de lluvias en la Vertiente del Pacífico. En julio y agosto el anticiclón se comporta como en diciembre y enero, o sea, se intensifica y se ubica más al sur, situación que tiene un impacto muy significativo en Costa Rica, ya que es cuando se establecen los veranillos o canículas en el Pacífico, pero por el contrario se registran condiciones muy lluviosas en la Vertiente del Caribe. En setiembre y octubre es cuando el anticiclón registra la presión más baja, debido principalmente a la máxima temperatura que alcanza el océano Atlántico, lo cual no solo causa vientos Alisios más calmos, sino también la formación de ciclones tropicales, lo cual tiene como consecuencias condiciones más lluviosas en la Vertiente Pacífico y relativamente secas en la del Caribe.

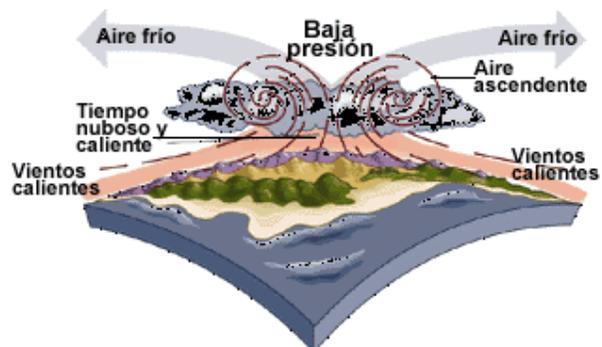


2. SISTEMA DE BAJA PRESIÓN (EN SUPERFICIE)



Es una vasta área de la atmósfera, cuya presión interior es menor que la de sus alrededores. En un mapa del tiempo se le identifica por su forma casi ovalada o circular, con valores decrecientes de la presión desde su periferia al centro del sistema. Se acostumbra utilizar la letra B (de Baja) para identificar el centro del fenómeno. El viento en el interior de un sistema de baja presión es de afuera hacia adentro (donde existe menor presión), es decir, una baja presión se comporta como una “aspiradora”, porque “aspira aire”. Al mismo tiempo que el aire entra al sistema de baja presión, también está rotando en el sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte, o en el sentido de las manecillas en el hemisferio sur, a este tipo de giro se le conoce como “ciclónico”, por esta razón cualquier fenómeno cuyos vientos roten de esa forma - independientemente de la velocidad- se le conoce como “ciclón”, de ahí que no solo los huracanes son ciclones, sino también los sistemas de baja presión, ya que los dos tienen un centro de mínima presión (mucho más baja en un huracán) y los vientos rotan contrario a las manecillas del reloj (más intenso en el huracán).

En las bajas presiones hay un tercer tipo de viento que se establece en su interior y que ocasiona un tiempo nublado, fresco y lluvioso debido al fenómeno de la convergencia, es decir, el movimiento vertical hacia arriba de aire proveniente desde las capas bajas de la atmósfera. Es importante en este punto diferenciar el efecto de estos ciclones en los niveles altos de la atmósfera, pues en promedio presentan un efecto contrario al de los ciclones de superficie, es decir, un ciclón a 10 km de altitud está asociado con tiempo



estable y seco, no obstante el comportamiento de una vaguada a esa altura tiene un impacto muy distinto.

Las bajas presiones son fenómenos muy frecuentes en nuestra latitud, especialmente entre mayo y noviembre, debido a que en esa época nos encontramos bajo el dominio de la Zona de Convergencia Intertropical y otros fenómenos ciclónicos que migran desde el Océano Atlántico. Una baja presión sobre el país produce lluvias en todo lado, sin embargo también se producen lluvias cuando estos fenómenos están relativamente lejos, lo cual se debe al cambio que produce en la dirección de los vientos. Así, un ciclón en el mar al oeste del país, o al este de Nicaragua o incluso más lejos (Cuba o el Golfo de México) es capaz de inducir lluvias orográficas por varios días en la Vertiente del Pacífico, lo cual se conoce más técnicamente como un "temporal del Pacífico". Los temporales accionados por estos ciclones son muy comunes entre setiembre y octubre (aunque también se han registrado en otros meses), y muchos de ellos han producido grandes inundaciones y daños, muy parecidas a las producidas por ciclones más intensos y desarrollados como los huracanes.

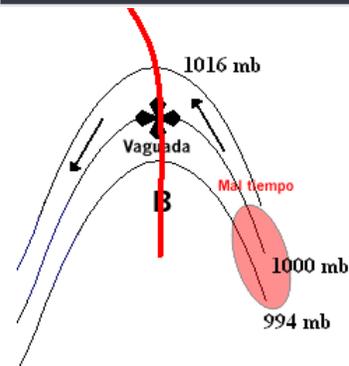
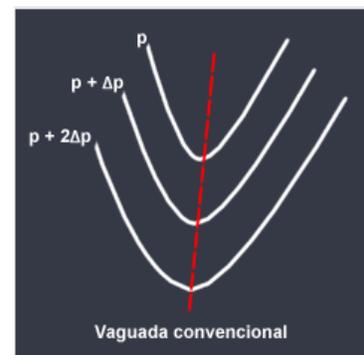
3. VAGUADA

Comúnmente escuchamos a los meteorólogos dar explicaciones de los fenómenos atmosféricos que nos afectan. Hablan de abajas, de altas, de frentes, de vórtices, etc. Pero el más común de todos estos vocablos técnicos es la palabra "vaguada". Este vocablo es de uso frecuente durante la estación lluviosa. Se dice que muchas de las precipitaciones intensas son producidas por esta clase de fenómeno meteorológico.

Una vaguada es, originalmente, un término geomorfológico que ha sido adaptado y adoptado por la Meteorología debido a la similitud existente entre el trazado de las curvas de nivel en un mapa topográfico y las isobaras en un mapa meteorológico. Este término parece proceder de aguada, la parte deprimida del relieve que representa la vía natural de los ríos. También se cree que la palabra vaguada puede provenir de la transmutación de la expresión en Inglés "Bad Weather" que significa mal tiempo y pronunciada en inglés británico sería algo como "Ba_Guadar".

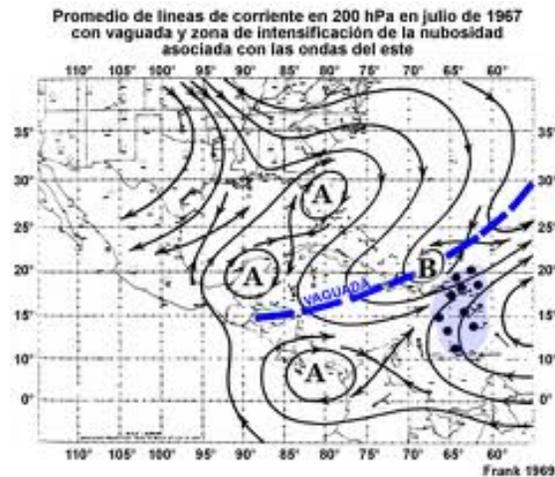
El concepto de vaguada está muy relacionado con el de baja presión, puesto que una vaguada se define como una depresión barométrica alargada ubicada entre dos anticiclones, o dicho con más propiedad, una extensión elongada de una baja presión.

En un mapa del tiempo la vaguada convencional está representada por un sistema de isobaras (líneas imaginarias que unen puntos de



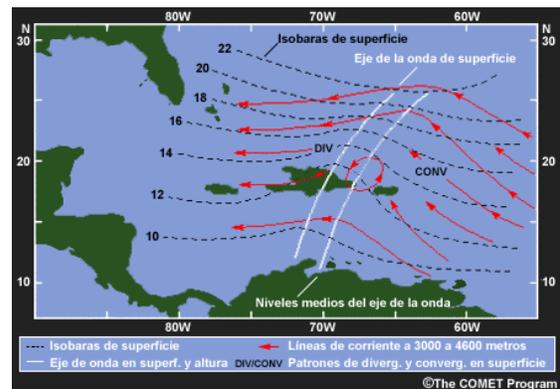
igual presión) casi paralelas y en forma aproximadamente de V, cuya concavidad está dirigida hacia las bajas presiones. Típicamente, este tipo de vaguada se extiende hacia el sur desde el centro de la baja presión. Los frentes fríos o cálidos son ejemplos de estas vaguadas. Sin embargo, en la atmósfera también existe la vaguada invertida, donde las isobaras se extienden hacia el norte del centro depresionario. Un ejemplo clásico de esta vaguada es la onda tropical. El denominado eje de vaguada es el que pasa por todos los puntos donde es más baja la presión.

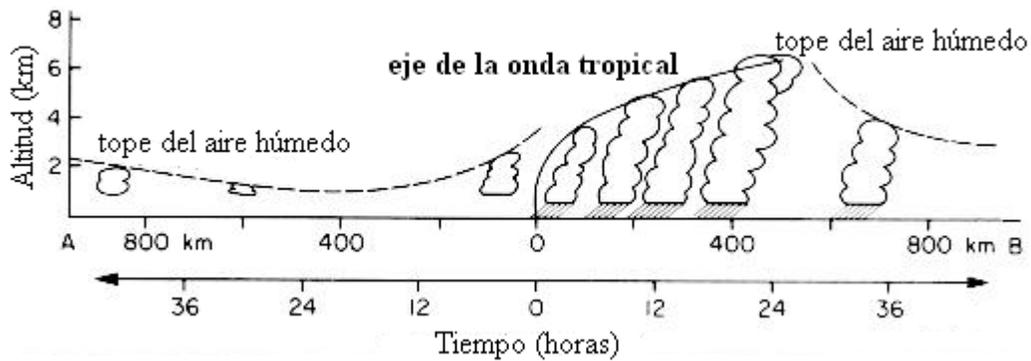
El viento horizontal asociado a la vaguada circula ciclónicamente pero sin cerrarse. El aire sobre una vaguada se caracteriza por ser inestable, mucho más húmedo y cálido que en las zonas anticiclónicas vecinas. La vaguada da origen a un fenómeno de inversión térmica, ya que a nivel del mar el aire es más frío y denso que a mayor altura. El ascenso del aire húmedo y cálido en la vaguada genera nubes de gran desarrollo vertical con lluvias intensas. En las vaguadas de niveles altos y bajos, la zona de lluvias y tormentas se ubica a la derecha del eje, mientras que detrás el tiempo es más estable y menos lluvioso.



4. ONDA TROPICAL DEL ESTE

La onda tropical es un tipo especial de vaguada invertida móvil en superficie, es decir, un área alargada de relativa baja presión orientada de norte a sur y empujada hacia el oeste por los vientos Alisios. La onda se manifiesta también como una máxima curvatura -en sentido ciclónico- de los vientos Alisios y las isobaras (líneas imaginarias que unen puntos con la misma presión atmosférica). Estas ondas tienen una extensión latitudinal (de norte a sur) considerable, de 10 a 15 grados (unos 1500 km). Su longitud de onda promedio (la distancia entre la cresta de una onda y la siguiente) es de 2000 km, con un periodo (el tiempo entre una onda y la siguiente) de hasta 5 días, no obstante en la temporada pico ocurren con una frecuencia de una onda cada 3 días. Son “ondas del este” porque provienen del Atlántico Tropical, específicamente desde África. Detrás del eje de la onda el viento Alisio sopla con dirección del sureste, pero se torna a noreste delante del eje.





En la parte delantera de una onda tropical (a la izquierda del eje) existen movimientos de subsidencia, es decir, el aire baja y la mayoría de las veces hay poca nubosidad sin precipitación; en cambio, detrás de la onda existen movimientos convergentes, circunstancia que provoca que el aire ascienda y provoque nubes tipo cumulonimbo, las cuales ocasionan aguaceros intensos y tormentas. El origen de estas ondas se localiza en las costas occidentales del norte de África, desde donde se desplazan hacia el oeste a una velocidad de 5° a 7° de latitud por día (5 a 10 m/s), el impulso que reciben estas ondas se debe precisamente a que ahí existe un fuerte chorro de vientos, cuya posición modula o controla la génesis y propagación de las ondas tropicales.



Un gran porcentaje de estas ondas cruzan todo el Atlántico, el Caribe e incluso logran llegar hasta Costa Rica y salir al Pacífico. A lo largo de este camino las ondas pueden sufrir todo tipo

de cambios, desde la disipación hasta intensificación a un huracán. En promedio se producen unas 60 ondas tropicales cada temporada en la cuenca del océano Atlántico, de las cuales el 60% se convierten en tormentas tropicales y un 85% en huracanes intensos. Las primeras ondas salen del continente africano en el mes de mayo, sin embargo es hasta junio que las primeras logran arribar al istmo centroamericano. Sin embargo, su frecuencia es mayor desde mediados de agosto a mediados de octubre. Las ondas tropicales más intensas se presentan de julio a septiembre debido

al aumento en la inestabilidad general de los trópicos y al mayor calentamiento del océano Atlántico y Mar Caribe.

Las ondas tropicales juegan un rol dominante no solo como precursores de la formación de huracanes en el océano Atlántico, sino también son responsables de la modulación a escala diaria de las lluvias en nuestro país. En Costa Rica los primeros efectos se perciben en la Vertiente del Caribe, con un cambio del tiempo de condiciones secas a muy lluviosas en menos de 24 horas, dejan aproximadamente 1 ó 2 días de lluvias, las cuales se registran con mayor frecuencia después del mediodía. En promedio dejan caer entre 20 mm y 50 mm de lluvia al día, aunque se han registrado hasta 100 mm cuando éstas llegan muy intensas.

5. CICLÓN TROPICAL

La palabra ciclón viene del griego *κυκλών*, que significa girar o dar vueltas. Coloquialmente hablando, el ciclón tropical es un remolino gigantesco que cubre cientos de miles de kilómetros cuadrados y se desarrolla únicamente sobre los mares tropicales. Técnicamente, el “ciclón”



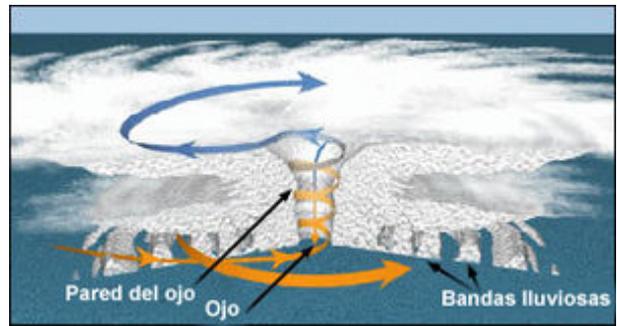
es un término genérico que hace referencia a cualquier fenómeno meteorológico de escala sinóptica en superficie con un centro cerrado de baja presión y con circulación de los vientos en dirección contraria a las manecillas de reloj en el Hemisferio Norte o en dirección a las manecillas del reloj en el Hemisferio Sur. Esta definición es independiente de la intensidad de los vientos o de la presión central, por lo tanto los ciclones extratropicales, huracanes, tormentas y depresiones tropicales son todos ciclones, sin embargo, no se consideran ciclones a las ondas tropicales del este y vaguadas ya que no son sistemas cerrados. El término compuesto “ciclón tropical” se utiliza preferiblemente solo para aquellos ciclones que se desarrollan entre los 30°N y 30°S, y que además presentan una circulación más intensa y definida que el de una simple baja presión. Por lo general se utiliza como umbral mínimo la velocidad de 62 km/h para clasificar a un ciclón tropical. Los ciclones tropicales pasan por diferentes estadios en su desarrollo, a cada estadio lo caracteriza la presión mínima en su centro y la velocidad de los vientos asociados. En este sentido los ciclones tropicales se pueden clasificar en tres categorías: depresión tropical, tormenta tropical y huracán.

La tabla siguiente muestra los límites de los vientos de cada categoría.

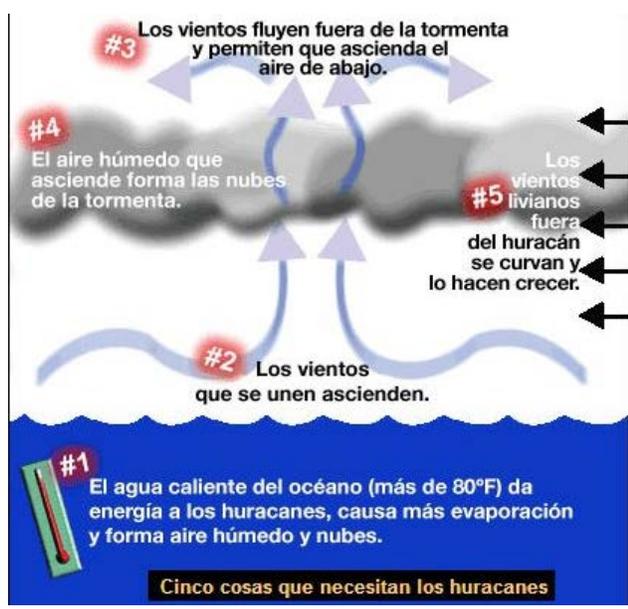
Estadio	Vientos
Perturbación tropical	Hasta los 15 m/s
Depresión tropical	Hasta los 20 m/s
Tormenta tropical	Hasta los 32 m/s
Huracán	Mayores de 32 m/s

El diámetro promedio de los ciclones tropicales varía entre 3 y 6 grados de latitud, es decir entre 330 km y 660 km. El movimiento de las masas de aires hacia el centro concentra grandes cantidades de humedad, por eso, los ciclones tropicales son sistemas productores de precipitaciones intensas.

La estructura tridimensional de un ciclón tropical presenta un área de aire que circula en sentido descendente en el centro del mismo; si el descenso de aire es lo suficientemente fuerte se puede desarrollar lo que se llama el "ojo". Normalmente, en el ojo la temperatura es más cálida y se encuentra libre de nubes. Normalmente el ojo es de forma circular y puede variar desde los 3 a los 370 kilómetros de diámetro. La pared del huracán es una banda alrededor del ojo donde los vientos alcanzan las mayores velocidades, las nubes alcanzan la mayor altura y la precipitación es más intensa. El daño más grave debido a fuertes vientos ocurre mientras la pared del ojo de un huracán pasa sobre tierra.

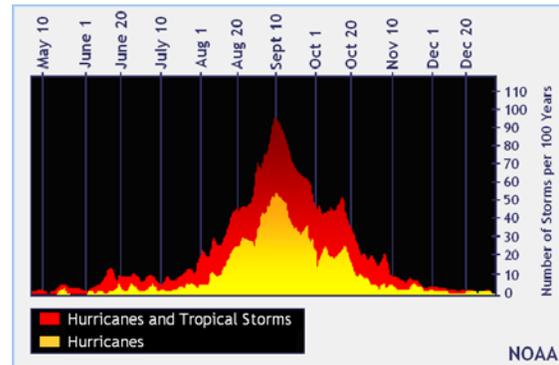


Para que un ciclón tropical se forme y desarrolle se requieren al menos seis factores atmosféricos y oceánicos: (1) temperatura del agua de al menos 26,5 °C hasta una profundidad de al menos 50 m, (2) una perturbación atmosférica preexistente con algún tipo de circulación como centro de bajas presiones que fuercen el ascenso del aire húmedo, (3) un sistema de alta presión encima de la perturbación, (4) alta humedad, especialmente en la troposfera baja y media, (5) baja cortante vertical, pues cuando es alta, las tormentas que forman el ciclón o perturbación se rompen, deshaciendo el sistema, (6) lejos



del ecuador terrestre, ya que permite que la fuerza de Coriolis desvíe los vientos hacia el centro de bajas presiones, causando la circulación

En el Atlántico Norte, la temporada de ciclones comienza el 1 de junio y finaliza el 30 de noviembre, alcanzando su mayor intensidad a finales de agosto y en septiembre. Estadísticamente, el máximo de actividad de la temporada de huracanes en el Atlántico es el 10 de septiembre. En promedio, en cada temporada se registran entre 10 y 15 ciclones tropicales.



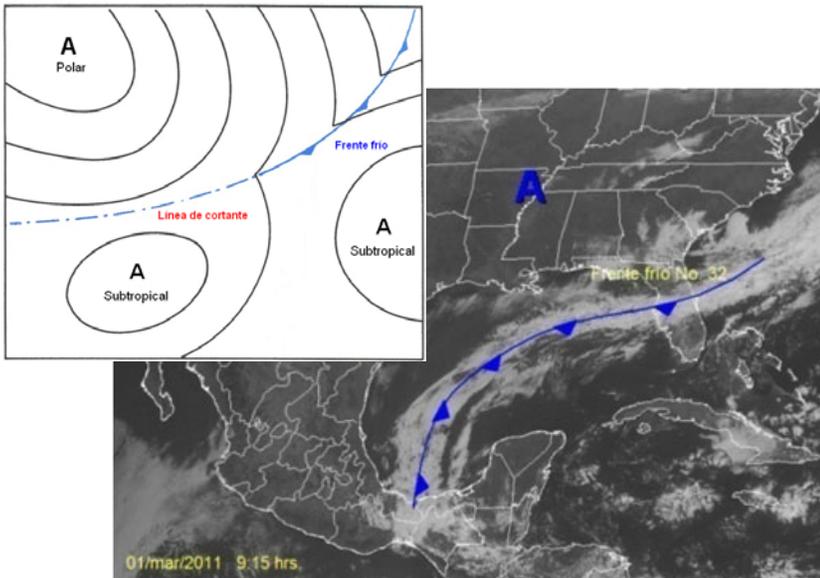
Los ciclones que alcanzan la fuerza de tormenta tropical reciben un nombre, con el fin de advertir a la gente de la llegada de una tormenta y además para indicar que se trata de fenómenos importantes que no deben ser ignorados. Estos nombres se toman de listas que varían de región a región y son renovadas cada pocos años. Cada año, los nombres de tormentas que hayan sido especialmente destructivas son "retirados" y se eligen nuevos nombres para ocupar su lugar. Se preparan con antelación seis listas de nombres y cada una se utiliza cada seis años. Si hay más de 21 tormentas con nombre en la temporada del Atlántico, o más de 24 en la temporada del Pacífico oriental, el resto de tormentas son nombradas usando las letras del alfabeto griego: la vigésimo segunda tormenta es llamada "Alfa", la vigésimo tercera, "Beta", y así sucesivamente. Fue necesario durante la temporada de 2005 cuando la lista se agotó. Cuando una tormenta tropical cruza desde el Atlántico al Pacífico, o viceversa (huracán Cesar-Douglas en 1996 y el huracán Joan-Miriam en 1988), la norma antes de 2001 era renombrar a dicha tormenta, actualmente retendrá su nombre siempre y cuando mantenga su intensidad, pero desde entonces no se ha dado un caso de esta naturaleza.

Un ciclón tropical moviéndose sobre tierra puede hacer daño directo de cuatro maneras: fuertes vientos, marejada ciclónica, lluvias torrenciales y tornados. De todos estos daños el que más muertes causa son las lluvias torrenciales las cuales producen inundaciones y deslizamientos.

6. EMPUJES Y FRENTE FRIOS

El frente es zona imaginaria de transición que separa dos cuerpos de aire de distintas propiedades, principalmente de temperatura, humedad y estabilidad.

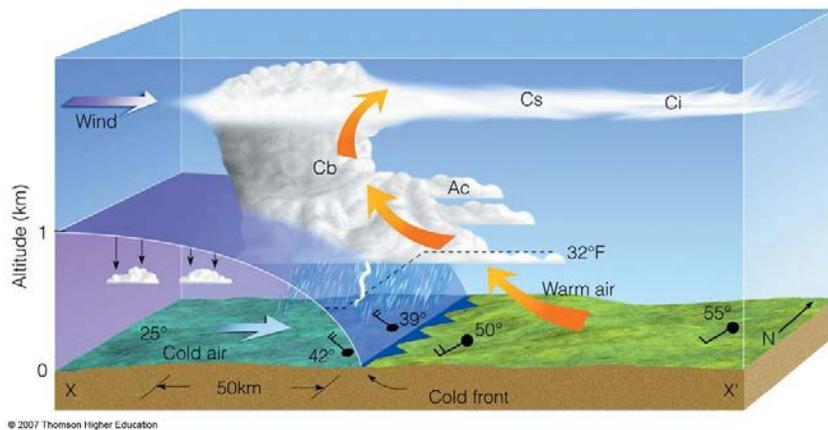
Se denomina frente frío cuando las masas de aire que intervienen son de origen tropical (cálida y caliente) y polar continental (fría y seca) o polar marítima (fría y húmeda), de tal manera que el aire frío, proveniente del norte, desplaza hacia latitudes menores al aire caliente de las zonas tropicales. Estos grandes cuerpos de aire no se mezclan de forma inmediata debido a la diferencia en sus densidades, sino más bien el aire frío se acuña y desplaza vertical y horizontalmente a la masa de aire tropical. Los frentes fríos viajan de oeste a este en el hemisferio norte, e inversamente en el sur. Se mueven rápidamente a velocidades entre 40 y 60 Km/h. Por lo general



presentan pendientes de 1:50 y 1:150, lo que significa que pueden tener una longitud de 500 Km a 5000 Km, un ancho de 5 a 50 Km y una altura de 3 a 20 Km. Dependiendo de la época del año y de su localización geográfica, los frentes fríos pueden venir en una sucesión de 5 a 7 días, son más frecuentes e intensos en el invierno del correspondiente hemisferio. El frente frío siempre viene precedido por un gran sistema de alta presión que es el que contiene el aire frío y el que está empujando el frente hacia el aire caliente de la región tropical, por esta razón a ese sistema de alta presión se le denomina también como “empuje frío”, de cuyo centro salen los vientos en todas las direcciones. No obstante, si bien todos los frentes fríos están acompañados de un empuje frío, lo contrario no siempre es cierto, es decir, no todos los empujes fríos tienen asociado un frente frío, de hecho la frecuencia de empujes fríos es mayor que la de frentes fríos.

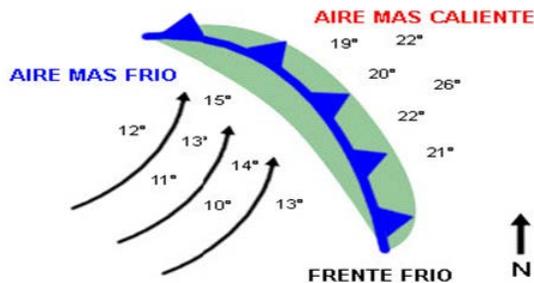
Por lo general la parte más norte de un frente frío es la más intensa, pues está coronada por un ciclón extratropical donde además del intenso frío se producen vientos mayores a los 120 km/h, mientras que la parte más sur es la más débil y la que más experimenta mezcla con el aire tropical y la interacción con el istmo centroamericano. Casi siempre este extremo sur del frente es el que sufre de primero el fenómeno de la “estacionalidad”, es decir, ninguno de los dos cuerpos de aire es lo suficientemente fuerte para reemplazar al otro, por lo que quedan en un estado estático o estacionario, con el tiempo la zona frontal se vuelve cada vez más pequeña en tamaño, transformándose posteriormente en una “línea de cortante”, que es una zona elongada muy angosta donde la dirección y magnitud de los vientos cambia en una distancia muy corta.

La zona frontal es la que sufre los mayores cambios temporales y espaciales, se caracteriza por la rápida disminución de la temperatura, la presión y los vientos, por el contrario, aumentan la humedad, la nubosidad y las precipitaciones. El aire frío por ser más denso,



avanza con rapidez por la superficie y hacer elevar con fuerza el aire más cálido, que se enfría y se condensa formando nubes del tipo Cumuliformes con un gran desarrollo vertical que originan

tormentas intensas que, dependiendo de la latitud, se manifiestan como tormentas de nieve, tornados, granizo y rayos. En las grandes llanuras, una vez que pasa la zona frontal, las condiciones del tiempo vuelven a cambiar ya que la temperatura y la humedad disminuyen, el cielo se despeja o queda parcialmente nublado por nubes cirrus y altoestratos, mientras que aumenta la presión atmosférica y la velocidad de los vientos. En zonas altas (tanto en latitud como en altitud) se llegan a producir heladas después del paso del frente.



En un mapa meteorológico el frente frío es representado con una curva de color azul con triángulos rellenos cuya base se apoya en dicha curva y cuyos vértices apuntan en la dirección hacia adonde avanza el frente. Detrás del frente frío se encuentran las temperaturas más frías.

Específicamente en Costa Rica, el frente frío se manifiesta con un cambio muy abrupto del tiempo, en particular aumentan los vientos y disminuyen las temperaturas, sin embargo debido a factores como la orientación de la cordillera se producen temporales (o llenas) en la Vertiente del Caribe y la parte oriental del Valle Central (ciudades de Cartago, San Jose y Heredia) condiciones secas en la Vertiente del Pacífico. Aproximadamente el 40% de la lluvia anual en la Vertiente del Caribe se acumula en el cuatrimestre de noviembre a febrero, precisamente un estudio del Instituto Meteorológico Nacional demostró que un gran porcentaje de esa lluvia es producida por los frentes fríos, los cuales tienen la mayor frecuencia de aparición entre noviembre y febrero.

Si bien la temporada de frentes fríos que afecta a Costa Rica se extiende de noviembre a febrero, ocasionalmente hay temporadas que inician en octubre y terminan en marzo o abril. Según los estudios, normalmente en una temporada arriban entre 23 y 30 frentes fríos al Golfo de México, de los cuales entre 17 y 20 llegan al norte de Centroamérica; los meses más activos son diciembre y enero con 4 o 5 eventos cada mes. Del total de frentes fríos, se determinó que en promedio 2 eventos por temporada logran llegar hasta Costa Rica y que uno de ellos es capaz de ocasionar un temporal del Caribe de moderada o fuerte intensidad. No obstante, la variabilidad de un año al otro es relativamente alta, pues hay temporadas como la del 2002-2003 en que no llegó ni un solo frente frío u otras como la del 2009-2010 en que llegaron hasta 7 frentes.

FENÓMENOS DE MESOESCALA O ESCALA REGIONAL

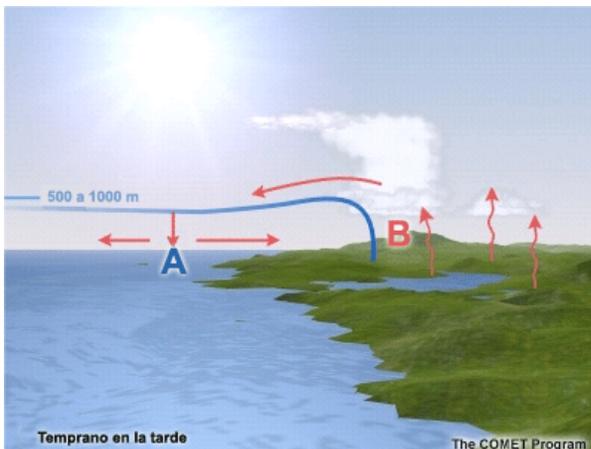
A diferencia de los procesos meteorológicos sinópticos como los frentes, los anticiclones y las depresiones, que están asociados a fenómenos cuyas dimensiones horizontales son mayores de 2 km y suelen persistir durante días y hasta semanas, la dimensión horizontal de los fenómenos de mesoescala oscilan entre 5 y 1000 km en la horizontal y de 1 a 15 km en la vertical, además presentan una duración de 1 a 24 horas. A esta escala ciertos factores como el terreno y el

calentamiento diferencia afectan profundamente a las manifestaciones meteorológicas y a veces hasta juega un rol dominante.

Los fenómenos mesoscalares son los que nos afectan directamente en nuestras vidas y los que, potencialmente, poseen mayor impacto social. A nosotros no nos afecta directamente una onda tropical sino las tormentas asociadas a ella. Las brisas locales de mar o de valle de una zona se pueden desarrollar en entornos sinópticamente anticiclónicos, pero ellas en sí mismas son fenómenos de mesoesala. Lo que no cabe duda es que ciertos fenómenos sinópticos favorecen a otros tantos de tipo mesoscalar, por lo que existe una estrecha relación entre las diferentes escalas meteorológicas y sus fenómenos asociados, pero en el fondo son los de tipo mesoscalar los que condicionan nuestras vidas y el potencial impacto positivo o negativo en nuestro entorno local o regional.

1. BRISAS DE MAR-TIERRA

No hay duda de que la brisa es una de las señas de identidad más importantes de los climas costeros y un ejemplo clásico de fenómeno de mesoescala. La brisa es un tipo de viento térmico que cambian de dirección dos veces por día, y, si bien se genera en las zonas costeras, los vientos pueden ingresar a la tierra o al mar varias decenas de kilómetros. Las brisas son inducidas por diferencias horizontales de temperatura que se desarrollan entre el mar y la tierra. Las diferencias de temperatura son resultado de que el calentamiento y el enfriamiento se producen más rápidamente en la tierra que en el mar, lo cual se debe una condición conocida como **calor específico**, que es una propiedad física que tienen todas las sustancias o cuerpos que indica la cantidad de calor que hay que suministrar a una sustancia para que aumente su temperatura en 1°C. De acuerdo con esta definición, cuanto mayor sea el calor específico de una sustancia, más costará que aumente su temperatura. El agua tiene un elevado calor específico, mucho mayor que el de la tierra, y por ello, a igual cantidad de calor recibido, la temperatura de la tierra será mayor que la del mar.



Durante el día, la brisa marina suele formarse y comenzar a moverse de mar a tierra adentro entre las 9:00 am y 12:00 md, momentos en que la radiación solar llega en partes iguales a la tierra cerca de la costa y al mar, pero sin embargo, según lo explicado anteriormente, la temperatura de la tierra aumentará más que la del mar. Las temperaturas diurnas en tierra firme llegan a superar a las del océano adyacente en un promedio de 3 a 6 °C, y su velocidad es proporcional a la magnitud de la

diferencia de temperatura entre el suelo y el mar. Por conducción, el aire situado sobre el suelo se

calentará más y se formará un pequeño sistema de baja presión (B), el cual hará ascender al aire. Ese vacío será sustituido por el aire situado sobre el mar, ya que ahí se ha formado un sistema de alta presión (A). Ese aire moviéndose para sustituir ese vacío desde el mar hacia la costa es la brisa marina. En altura, a unos 500 y 1000 m, la circulación de la brisa es en sentido contrario al de la superficie. La brisa a nivel de superficie será por tanto un viento húmedo y relativamente



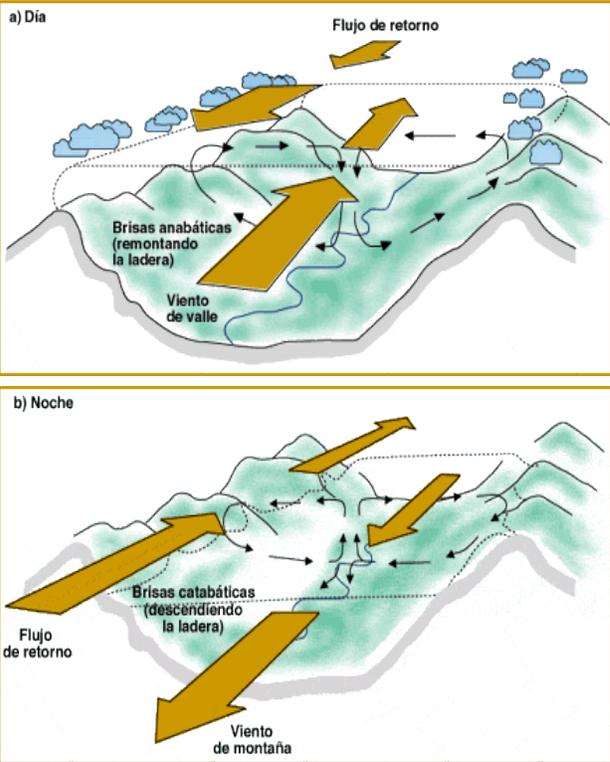
fresco, por esa razón cuando la brisa ingresa la temperatura empieza a disminuir y a aumentar la humedad. Por la noche sucede el fenómeno contrario, la brisa se establece de la tierra al océano, debido a que ahora es la Tierra la que se enfría más rápido, es decir, se forma un sistema de alta presión, mientras que el océano permanece relativamente más caliente y por lo tanto se desarrolla un sistema de baja presión. Es común que se desarrollen brisas marinas con velocidades de 15 a 35 km/h dentro de una capa vertical que alcanza una altura máxima de 450 a 900 m sobre la superficie. Debido a que los ríos y los lagos producen circulaciones más débiles y de menor alcance, las brisas de río y de lago tienden a ser más débiles y su penetración tierra adentro es menor. Estas circulaciones son más activas después del mediodía, cuando la diferencia de temperatura es mayor, lo cual se traduce en una mayor penetración tierra adentro de la brisa y los vientos alcanzan su velocidad máxima. La penetración máxima en tierra dependerá no solo del diferencial de temperatura, sino también del viento sinóptico dominante y de la orografía, sin embargo es posible que en llanuras logre llegar hasta más de los 100 km, y en zonas montañosas hasta los 50 km. Conforme avanza la tarde, las circulaciones producidas por la brisa marina disminuyen lentamente, para desvanecerse por completo una o dos horas después de la puesta del Sol. Al anochecer, cuando las áreas de tierra firme se enfrían más rápidamente que el océano adyacente, comienza a soplar la brisa de tierra a mar. Estas brisas terrales nocturnas normalmente son más débiles que las diurnas, porque la diferencia de temperatura entre la tierra y el mar es menor que durante el día, por esa razón las brisas terrales alcanzan velocidades que oscilan entre los 5 y los 15 km/h. En un punto sobre la costa, la duración media de la brisa de mar es de 11 horas, iniciando en promedio entre las 7 y 8 de la mañana, y finalizando entre las 7 y 8 de la noche.

Por su origen en el mar, las brisas tienen un efecto termorregulador (atemperan el ritmo térmico) de las localidades costeras y las ubicadas a todo lo largo de su paso, lo cual favorece el confort climático al impedir que la temperatura aumente si la brisa no existiera. No obstante, en determinadas situaciones atmosféricas, la penetración de la brisa marina tierra adentro puede culminar con la formación de «frentes de brisa» activos, es decir, la convergencia o choque con vientos de dirección contraria, en los que se generan fuertes tormentas que descargan precipitaciones abundantes en las tierras del interior. Este fenómeno es muy común en Costa Rica, particularmente en la Vertiente del Pacífico, donde se establece un frente de brisa entre la brisa

proveniente del océano Pacífico y los vientos Alisios provenientes del océano Atlántico. Este efecto se intensifica aun más debido al ascenso forzado por las laderas de Barlovento (las que están de frente al viento) de las brisa con dirección del oeste o suroeste. Una vez que la brisa logra su mayor alcance y se debilita el diferencial térmico entre el mar y el océano, el frente de brisa retrocede gradualmente al igual que las tormentas, por esa razón en la mayor parte de los casos, las tormentas inician desde principios de la tarde en las zonas del interior, como por ejemplo el Valle Central, y finalizan después del anochecer en las zonas costeras. En la Vertiente del Caribe también se forma un frente de brisa, aunque no tan bien definido como en el lado del Pacífico, debido a que por lo general la brisa se torna paralela a los vientos Alisios dominantes y por tanto no hay convergencia, puesto que en este litoral tanto la brisa como los Alisios tienen dirección del este o noreste. Salvo en casos muy especiales, como el de vientos sinópticos provenientes del oeste (a causa de un ciclón tropical en el mar Caribe) o el viento de rotor cuando el Alisio es muy intenso, el frente de brisa en la Vertiente del Caribe lo determina la magnitud del ascenso orográfico por la cordillera.

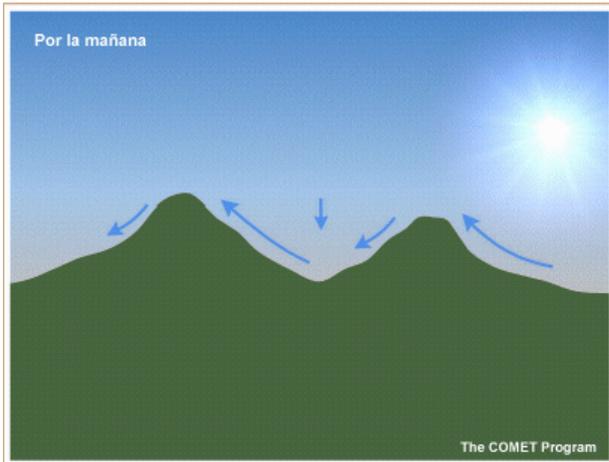
2. BRISAS DE VALLE-MONTAÑA

Similares a las anteriores, las brisas de valle-montaña se producen por la diferencia de insolación y las diferencias de calentamiento (en el día) o enfriamiento (en la noche) del aire en las cimas de las montañas y los fondos de los valles. Lo anterior significa que los rayos solares inciden desigualmente en las laderas de las montañas y en los valles; asimismo, varían su ángulo de incidencia a lo largo del día según la trayectoria del sol.



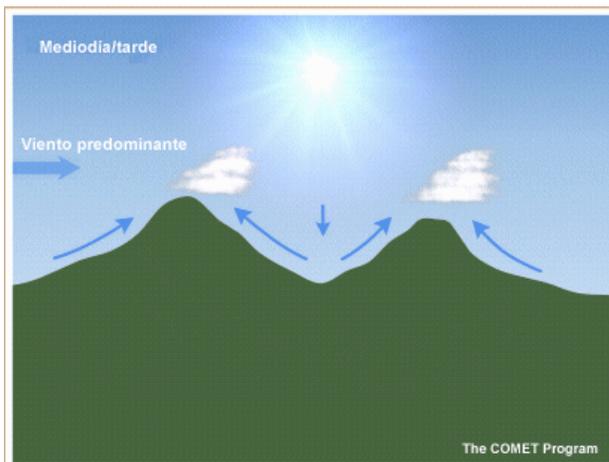
El calentamiento y enfriamiento se intensifican cuando el cielo está despejado y el suelo está seco. La orientación de la pendiente de la montaña con respecto al Sol y a la dirección del flujo sinóptico predominante también influye en la intensidad y el desarrollo de las brisas de valle y de montaña. Por ejemplo, en el hemisferio norte las brisas ascendentes tienden a ser más fuertes en la ladera sur de las montañas, mientras que en las laderas al norte los vientos tienden a ser más débiles o inexistentes. Por lo contrario, en el hemisferio sur las brisas ascendentes tienden a ser más fuertes sobre la ladera norte de las montañas, mientras que en las laderas orientadas hacia el sur los vientos tienden a ser más débiles o inexistentes. A las brisas

ascendentes se les suele llamar anabáticas y a las descendentes catabáticas. Estas últimas producen calentamiento por compresión originando o intensificando los procesos de inversión térmica en los valles. La formación e intensidad de las brisas de valle-montaña depende del contraste en la temperatura del suelo provocado por del calentamiento diurno y el enfriamiento nocturno.



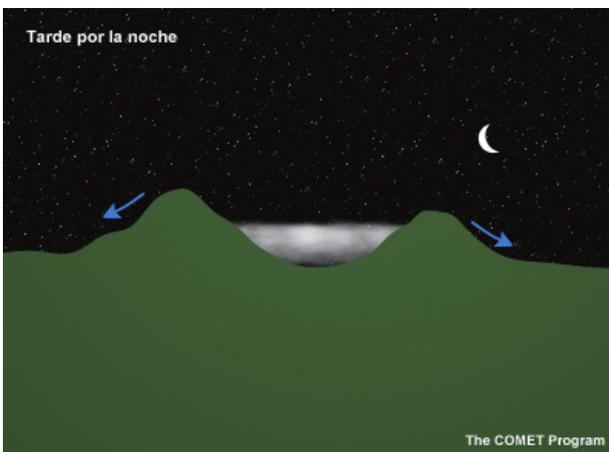
En las mañanas, el sol matutino calienta de primero la cima de las montañas, luego a las laderas este y sur (hemisferio norte) o norte (hemisferio sur). El aire sobre la cima y sus laderas también se calienta y empieza a elevarse en altitud, lo cual provoca el desarrollo de una brisa de ladera que sube por la montaña, lo cual realmente se produce en dos sentidos: a lo largo del valle hacia los sectores superiores y desde el fondo del valle hacia las laderas. Para compensar el aire que se desplaza hacia

arriba, en el valle se produce subsidencia, es decir, un descenso del aire de altura.



Durante la tarde, la brisa de ladera ascendente alcanza su intensidad máxima (entre 2,5 a 5 m/s). A esta altura del día ya se han formado nubes cumuloformes en las cimas de las cordilleras debido al ascenso de la brisa por la ladera montañosa. Si existiera un grado suficiente de inestabilidad atmosférica y humedad (producido por una vaguada o baja presión), este mecanismo de ascenso culmina con el desarrollo de la primera tormenta del día en la región. El viento de ladera ascendente tiende a

persistir todo el día, sin embargo se debilita a mediados de la tarde conforme el calentamiento solar disminuye. Al atardecer cuando cesa el calentamiento solar, se inicia el enfriamiento radiativo y al principio comienza a enfriarse el aire justo arriba del suelo. Por consiguiente, los vientos en superficie se debilitan o desaparecen del todo antes de que se debiliten los vientos situados más arriba. Gracias a este patrón, los vientos de ladera ascendentes persisten durante varias horas después de que los vientos en superficie ya han desaparecido. En los valles de alta montaña, sobre todo si son largos y rectos, con grandes laderas a los lados, las brisas de valle suelen ser muy fuertes, llegando frecuentemente a los 30 o 40 km/h.

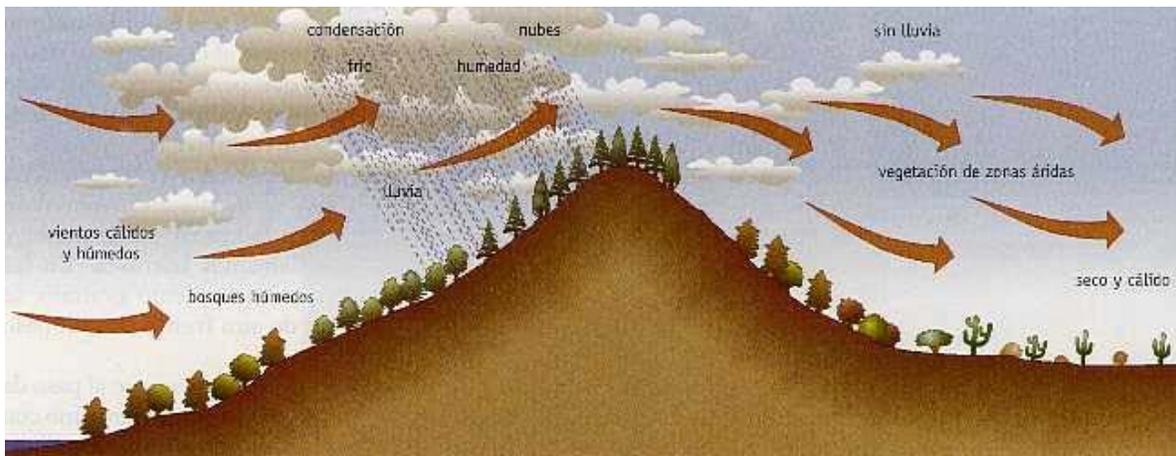


Temprano por la noche, tras un corto periodo de transición que ocurre conforme la ladera queda en la oscuridad, los vientos ascendentes de ladera dejan de soplar, lo cual produce un periodo de relativa calma. Entonces, un viento suave, uniforme o laminar comienza a descender por la ladera. La circulación de la brisa se invierte debido a que la pendiente de la montaña pierde calor y como resultado el aire que está en contacto con ella se enfría y se vuelve más pesado que el aire de la atmósfera que lo rodea, de modo que el aire empieza a moverse cuesta abajo de la montaña y del mismo valle. Este movimiento provoca el ascenso del aire sobre el valle. Como se dijo al principio, las brisas de ladera descendentes también se conocen como viento catabático o viento de montaña. A lo largo de la noche, principalmente en la madrugada cuando se alcanza la temperatura mínima, el valle sigue enfriándose, lo cual puede llevar a la formación de niebla, especialmente si el valle

contiene fuentes locales de humedad, tales como ríos o lagos. Debido a que el aire frío y denso es estable, el flujo descendente tiende a ser bastante uniforme y más lento que los vientos ascendentes, con velocidades que oscilan entre los 3 y 8 km/h. El principal factor que da impulso a los vientos descendentes de ladera es la gravedad. Estos vientos continúan toda la noche, hasta un poco después del amanecer.

3. EL EFECTO Y VIENTO FOEHN

Si hay un fenómeno curioso, conocido en todo el mundo pero de marcado carácter regional, ese es el efecto Foehn, el Fogony, o también conocido como el Fagueño. La palabra Foehn es una castellanización de la palabra alemana Föhn que significa viento fuerte. Los primeros estudios científicos de este viento tuvieron lugar en Suiza, razón por la cual al fenómeno se le identificó con la palabra alemana Föhn, ya que el alemán es una de las lenguas que se habla en ese país centroeuropeo. La barrera de los Alpes y los profundos valles alpinos provocan a veces unas subidas espectaculares de temperatura, siendo una de las regiones del mundo donde la incidencia del Foehn es más notable.



El efecto Foehn se puede definir como la transformación que sufre una masa de aire cuando atraviesa un obstáculo montañoso, y cuya principal característica sería un notable aumento de su temperatura. Cuando hay Foehn, en los valles situados a sotavento de las montañas se registran subidas espectaculares de temperatura; un ascenso térmico que viene acompañado de un viento seco, cálido, muy molesto y racheado, que parece surgir a borbotones de la montaña. Ese carácter turbulento del viento viene condicionado por las características orográficas del terreno, siendo más acusado en los valles estrechos, profundos e intrincados, donde las ráfagas pueden oscilar entre los 60 y 100 km/h.



Para entender por qué se produce este fenómeno, hay que tener en cuenta que el aire se enfría a un ritmo mayor o menor al ascender por la atmósfera, dependiendo de cuál sea su contenido de humedad. Para que se produzca este curioso fenómeno se requiere de un relieve montañoso y un viento de aire húmedo y cálido que incide perpendicularmente en el pie de la montaña o cordillera. Inmediatamente la masa de aire es obligada a elevarse para remontar esa barrera montañosa y en su

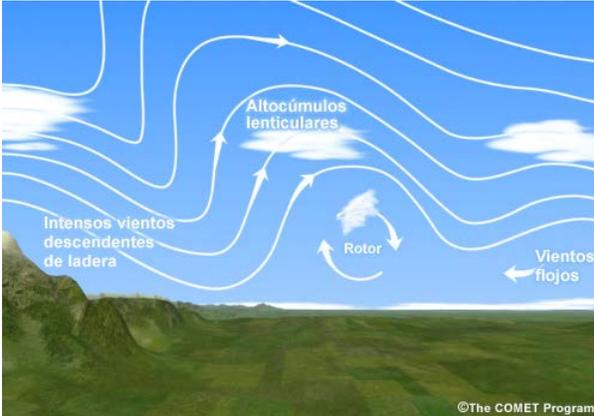
ascenso este aire se enfriará a razón de 1° por cada 100 m (este es el cambio de temperatura aproximado que se experimenta cuando se sube por una montaña en un día soleado), suponiendo que el aire no esté saturado. En este momento es probable que todavía no se haya producido nubosidad pero al ir ganando altura se enfriará aun más de modo que la masa de aire empezará a condensar el vapor de agua y por lo tanto a formar gotas de agua, generándose las primeras nubes. Desde ese momento, si la fuerza del viento es suficiente, la masa de aire seguirá subiendo pero la disminución de temperatura será más lenta que al principio, ya que la bajará $0,5^{\circ}\text{C}$ por cada 100 m. Es decir, que con el aire saturado de humedad, la temperatura decrecerá a razón de

medio grado. Normalmente, la nubosidad producida a partir del nivel de condensación producirá precipitación a media montaña en el lado de barlovento (el lado de la montaña de frente al viento). Una vez superada la barrera montañosa el aire iniciará el descenso por la vertiente opuesta (sotavento). En este caso el descenso será como aire no saturado a razón de 1°C por cada 100 m. El aire descenderá y se calentará por compresión llegando a alcanzar una temperatura muy superior respecto a la que tenía cuando remontaba la ladera a barlovento (en su nivel inicial). El viento resultante a sotavento, canalizado debido a la orografía, cálido, seco y racheado define el efecto Föhn.

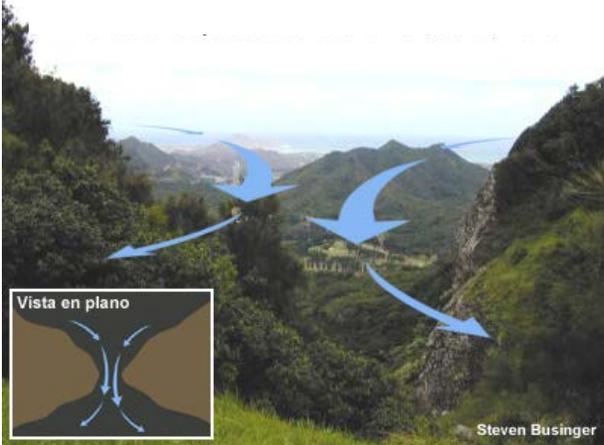
Los altocúmulos lenticulares, como el de esta foto, se describen a menudo como platillos volantes, o una gran pila de platos, que suelen acompañar a los vientos Foehn que descienden por las laderas de las montañas. Estas particulares nubes se forman cuando el

aire fluye sobre una cadena montañosa. La cima de las montañas eleva el aire, enfriándolo y condensando la humedad para formar una nube en el lado de sotavento.

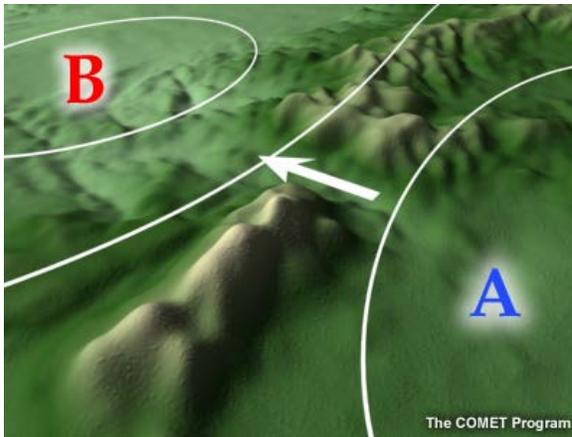
En nuestro país el efecto Foehn explica la fuerte sequedad y calor que se produce en lugares como Guanacaste o la ciudad de Alajuela cada vez que el viento Alisio se intensifica, tal como sucede en febrero o julio.



4. VIENTOS CANALIZADOS



Los vientos canalizados son vientos muy fuertes que se producen cuando el aire que procede de espacios abiertos se ve forzado a circular por barrancos, cañones, valles, pasos entre montañas o cualquier configuración orográfica que estrangule el flujo. Entre más estrecho sea el paso orográfico, y más fuertes los vientos de entrada, más altas serán las velocidades resultantes. La parte más fuerte de este viento no se produce dentro –como



erróneamente se piensa- de la estrangulación, sino más bien a la salida de ésta, donde se registran velocidades de 40 a 80 kph con ráfagas de 100 kph o más. Normalmente estos vientos se extienden por varios cientos de kilómetros, son poco profundos ya que alcanzan unos pocos cientos de metros arriba del suelo, pero presentan fuertes cambios de intensidad en su límite superior y lateral.

Se ha creído erróneamente que el efecto Venturi es el mecanismo físico que explica el origen de los vientos canalizados. Así, es relativamente habitual escuchar que "el viento se acelera en los valles estrechos y barrancos debido al efecto Venturi", lo cual no es totalmente cierto. El efecto Venturi establece que "Cuando un fluido circula por un tubo cuya sección se estrecha... ¡la presión disminuye!", es decir, lo que se conoce como efecto Venturi es la disminución de la presión que tiene lugar en el estrechamiento, donde la velocidad aumenta por conservación de la masa. Sin embargo lo que sucede en el mundo real es que la mayor intensidad de los vientos no se produce en la sección más angosta del estrangulamiento, sino más bien en la región de salida de la canalización. Lo que explica el fenómeno del viento canalizado es un principio más básico (en el cual también se fundamenta el efecto Venturi): Principio de Conservación de la Masa, el cual establece que "todo lo que entra, debe salir". El rápido ensanchamiento en la región de salida de la canalización provoca la distribución horizontal del flujo y su rápida rarificación. Esta rarificación del aire en los niveles inferiores reduce la presión, lo cual contribuye a la formación de un diferencial de presión en la región de salida. Por consiguiente, los vientos aceleran sobre la región de salida, pues en este caso el aire debería acelerar de la zona de presión alta a la de presión más baja ubicada a la salida. Si bien el efecto Venturi no es el mecanismo responsable en las canalizaciones de mesoescala de 10 a 100 km de ancho, puede ser un factor muy importante en pasos de pequeña escala, como por ejemplo entre dos edificios muy altos.



Ejemplos clásicos de este fenómeno en Costa Rica son los "vientos Papagayo" al noroeste de la provincia de Guanacaste, y los "vientos de La Palma" en el Valle Central, que son los vientos que se canalizan por el paso de "La Palma" (entre los volcanes Irazú y Barba). En ambos casos el forzante es el aumento de la presión atmosférica asociado con los frentes fríos, así como las altas presiones sobre Norteamérica y/o el océano Atlántico, particularmente durante la temporada seca

(noviembre a abril) y julio. Los datos demuestran que en Guanacaste el “Papagayo” ha llegado a alcanzar ráfagas de 100 kph, mientras que en el Valle Central se han medido ráfagas de 120 kph.

FENÓMENOS DE MICROESCALA

La microescala es la menor de las escalas de los fenómenos meteorológicos. En esta escala las dimensiones espaciales de los fenómenos es del orden de los metros hasta los 2 km, y con duraciones de minutos hasta unas cuantas horas. En este sentido, las nubes, las tormentas, los microreventones y los tornados o trombas marinas son ejemplos de esta escala.