

Unidad 6 – Estabilidad atmosférica

OBJETIVOS:

Al terminar esta unidad, los estudiantes serán capaces de:

1. Describir la relación entre presión atmosférica, temperatura, densidad y volumen.
2. Describir el gradiente térmico y la estabilidad, y los diferentes gradientes térmicos usados para determinar la estabilidad de la atmósfera.
3. Describir los efectos de la estabilidad atmosférica en el comportamiento de los incendios forestales.
4. Nombrar cuatro tipos de inversiones térmicas y describir su influencia en el comportamiento de los incendios forestales, incluyendo el cinturón térmico.
5. Nombrar y describir los cuatro procesos de ascenso que pueden producir tormentas.
6. Describir los elementos de una tormenta y sus tres etapas de desarrollo.
7. Utilizar indicadores visuales para describir la estabilidad de la atmósfera.
8. Describir los cuatro principales grupos de nubes, e identificar las seis nubes más frecuentemente asociadas con el comportamiento crítico de los incendios forestales.



## I. INTRODUCCIÓN

Hasta ahora, nuestra atención ha estado en la temperatura y los factores que influyen en su cambio en la superficie terrestre o cerca de ella.

En esta unidad nos enfocaremos en la temperatura del aire en la tercera dimensión, la estabilidad atmosférica, y cómo la estabilidad afecta al comportamiento de los incendios forestales.

También discutiremos los indicadores visuales comúnmente utilizados para identificar cambios críticos en la estabilidad atmosférica

## II. LA RELACIÓN ENTRE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA, TEMPERATURA, DENSIDAD Y VOLUMEN

Nuestra atmósfera está compuesta de numerosos gases. Esta mezcla gaseosa incluye **gases permanentes de aire seco**. Se supone que este aire no contiene vapor de agua con una concentración que permanece constante dentro de un volumen atmósfera. Estos gases incluyen:

- Nitrógeno
- Oxígeno
- Argón
- Helio
- Hidrógeno
- Xenón

El nitrógeno y el oxígeno representan el 99 % de los gases permanentes del aire seco en la tropósfera.

Los gases restantes, llamados **gases variables**, varían en concentración dentro de un volumen de la atmósfera sobre el tiempo y el espacio. Estos gases incluyen:

- Vapor de agua
- Dióxido de carbono
- Metano
- Óxido Nitroso
- Ozono

En este grupo de gases, el **vapor de agua** es el más abundante, variando de una poca cantidad a 4 por ciento del volumen.

A. El comportamiento de los gases

Casi todos los gases en la atmósfera responden uniformemente a cambios en temperatura y presión. Por esta razón, podemos utilizar la ley del gas ideal, la cual está basada en un conjunto de reglas físicas.

La relación entre presión, temperatura, y densidad (masa por volumen) puede ser expresado por la ecuación de la ley del gas ideal:

$$P = (\rho)RT \quad \text{o} \quad P = (m/V)RT$$

**Dónde:** **P** es presión,  **$\rho$**  es densidad, **m** es la masa del gas, **V** es volumen, **R** es una constante del gas, y **T** es la temperatura.

Como **R es una constante**, podemos ignorarla y entonces simplificar la ecuación como:

$P \sim (\rho)T$	<b>o</b>	$P \sim (m/V)T$
------------------	----------	-----------------

El término **(m/V)** representa la densidad ( **$\rho$** ) del gas; mientras que **~** es el símbolo que significa “es proporcional a”.

B. Aplicando la ley del gas al aire en movimiento

Para simplificar, nos referiremos al aire en movimiento en términos de pequeñas unidades llamadas **parcelas de aire**.

**Una parcela de aire** es simplemente un volumen de aire, lo suficientemente grande para contener un gran número de moléculas, pero lo suficientemente pequeña para que su energía (calor) y masa (moléculas de aire) dentro de sus límites se mantengan casi constantes.

Las parcelas de aire pueden expandirse y comprimirse, pero el aire en el exterior no es capaz de mezclarse con el aire en el interior; esencialmente haciendo que una parcela de aire sea un contenedor sellado.

Las parcelas de aire son comúnmente representadas como cubos o esferas tridimensionales.

- C. Aplicando la ley del gas a las parcelas de aire ascendentes.

Recuerde de la Unidad 4 que la presión atmosférica disminuye rápidamente con la altitud en la atmósfera inferior.

A medida que una parcela de aire asciende a través de la atmósfera inferior, su presión disminuirá en respuesta a una disminución en la presión atmosférica con el incremento de la altitud. Por lo tanto, según la ley del gas **a medida que la presión del aire disminuye:**

- Su volumen incrementará
- Su densidad disminuirá
- Su temperatura disminuirá

**Las parcelas de aire ascendentes siempre se expandirán y enfriarán.**

- D. Aplicando la ley del gas a las parcelas de aire descendentes

A medida que una parcela de aire desciende a través de la atmósfera inferior, su presión interna aumentará en respuesta al incremento en presión atmosférica con la disminución de altitud.

Por lo tanto, según la ley del gas ideal a medida que la presión del aire aumenta:

- Su volumen disminuirá
- Su densidad aumentará
- Su temperatura aumentará

**Las parcelas de aire descendentes siempre se comprimirán y calentarán.**

- E. Proceso adiabático

Cuando una parcela de aire asciende o desciende sin ninguna pérdida de energía o masa hacia la atmósfera circundante, nos referimos a esta condición como un **proceso adiabático**—la energía y masa de una parcela de aire permanecen constantes.

**Ejercicio 1**  
**Relación entre presión, temperatura, densidad y volumen.**

Conteste las siguientes preguntas sobre el comportamiento de gases como se describe en la ley del gas ideal. Usted tiene 5 minutos para completar este ejercicio.

1. El vapor de agua es considerado un:
  - a. gas de aire seco
  - b. gas permanente
  - c. gas variable
  - d. gas neutro
  
2. Según la ley de gas ideal, a medida que la presión del aire aumenta:
  - a. la temperatura y el volumen aumentan.
  - b. la temperatura disminuye y el volumen aumenta.
  - c. la temperatura aumenta y el volumen disminuye.
  - d. la temperatura y el volumen disminuyen.
  
3. A medida que una parcela de aire asciende:
  - a. se comprime, se enfría, y se vuelve más densa.
  - b. se expande, se enfría, y se vuelve más densa.
  - c. se expande, se enfría, y se vuelve menos densa.
  - d. se comprime, se enfría, y se vuelve menos densa.
  
4. A medida que una parcela de aire desciende:
  - a. se comprime, se calienta y se vuelve más densa.
  - b. se comprime, se enfría y se vuelve más densa.
  - c. se expande, se calienta y se hace menos densa.
  - d. se comprime, se calienta y se hace menos densa.
  
5. A medida que una parcela de aire asciende y desciende, su energía y masa permanecen constantes. Esto describe:
  - a. el proceso adiabático
  - b. la ley del gas
  - c. sublimación
  - d. ninguna de los anteriores

### III. LA ESTABILIDAD Y LOS TRES DIFERENTES GRADIENTES DE TEMPERATURA UTILIZADOS PARA IDENTIFICAR LA ESTABILIDAD DE LA ATMOSFERA

#### A. Aire en movimiento

Nuestra atmósfera está en constante movimiento. La rotación de la Tierra sobre su eje, junto con las variaciones en presión y temperatura a gran y pequeña escala son las que producen el movimiento horizontal y vertical del aire en la atmósfera.

En la Unidad 4, discutimos como los cambios horizontales en presión y temperatura producen un movimiento horizontal del aire llamado **viento**.

El viento sucede en todos los niveles de la atmósfera. Los tipos de vientos, basados en su ubicación y en cómo estos se forman, se discutirán con gran detalle en la Unidad 7.

Nuestra preocupación será sobre el movimiento vertical del aire al que nos referimos como **estabilidad atmosférica**.

La magnitud o fuerza del viento es mucho mayor que el movimiento vertical del aire asociado con la estabilidad atmosférica. Sin embargo, su influencia sobre el comportamiento de los incendios forestales es igualmente importante.

#### B. ¿Qué es la estabilidad?

La estabilidad es simplemente la resistencia de la atmósfera al movimiento vertical. Específicamente, es el grado en el que el movimiento vertical en la atmósfera es estimulado o suprimido.

Dependiendo del perfil vertical de temperatura de la atmósfera, el aire asciende, desciende o permanecerá en reposo.

## 1. Tres tipos de estabilidad

Puede existir estabilidad de diversos tipos simultáneamente en diferentes niveles de la tropósfera. Estos tipos son **inestable**, **estable** y **neutra**. En general:

- Una **atmósfera inestable** intensificará o estimulará el movimiento vertical del aire.
- Una **atmósfera estable** suprimirá o resistirá el movimiento vertical.
- Una **atmósfera neutra** no suprimirá ni estimulará el movimiento vertical.

- a. Una **atmósfera inestable** es aquella donde el cambio de temperatura vertical o gradiente es tal que las parcelas de aire se desplazan hacia arriba o hacia abajo y continuarán acelerándose en esa dirección.

Una atmósfera inestable promueve la formación de corrientes ascendentes y nubes desarrolladas verticalmente, como los Cumulus y Cumulonimbus, o nubes de tormenta.

- b. Una **atmósfera estable** es aquella donde el cambio de temperatura vertical obliga el movimiento vertical de las parcelas de aire para regresar a su nivel de origen donde su temperatura y densidad son similares a las de la atmósfera circundante.

En una atmósfera estable, los vientos tienden a ser ligeros, particularmente sobre terreno plano y en valles montañosos. La visibilidad también puede ser reducida debido a la mala mezcla vertical, especialmente dentro de la capa límite.

En terreno montañoso, sin embargo, las condiciones atmosféricas estables pueden y a menudo producen viento arrachado en la cima de las crestas y vientos descendentes de ladera cálidos y secos llamados vientos **Foehn**. Estos vientos pueden tener un efecto importante en el comportamiento de los incendios forestales.



- c. La **estabilidad neutra** normalmente existe solo por periodos cortos de tiempo durante la transición entre una atmósfera estable y una atmósfera inestable.

En una atmósfera de estabilidad neutra, poco movimiento vertical del aire ocurre. Si esta condición existiera a través de una capa profunda de la atmósfera, el movimiento vertical de una parcela de aire se detendría.

- 2. El efecto de la estabilidad en el comportamiento de los incendios forestales

Las siguientes son algunas generalizaciones:

- a. Las condiciones atmosféricas inestables son más a menudo asociadas con comportamiento crítico o extremo de los incendios forestales.
- b. Las condiciones atmosféricas estables tienden a suprimir o reducir el crecimiento o la intensidad del comportamiento de los incendios forestales.
- c. Las condiciones atmosféricas neutras no se asocian ni con un comportamiento crítico ni con comportamiento suprimido de los incendios forestales.

#### C. Estabilidad atmosférica cambiante

La estabilidad cambia casi continuamente, debido a las fluctuaciones diarias en la estructura vertical de la temperatura de la atmósfera inferior.

Hay cuatro formas básicas en las que la estabilidad de la atmósfera puede ser cambiada.

- 1. **Por condiciones inestables** - la atmósfera puede ser calentada desde abajo o enfriada desde arriba.
- 2. **Por condiciones estables** - la atmósfera también puede ser enfriada desde abajo o calentada desde arriba.

#### D. Gradiente de temperatura

Un buen entendimiento de la estabilidad atmosférica depende de nuestra comprensión de cómo la temperatura del aire puede cambiar verticalmente en la tropósfera. Para describir estos cambios, utilizaremos el gradiente de temperatura.

El **gradiente de temperatura** se define simplemente como el cambio en temperatura con un cambio en altitud.

Cambio en temperatura

---

Cambio en altitud

El gradiente de temperatura es usado para determinar la estabilidad de diferentes capas en la atmósfera. Difiere a lo largo de la tropósfera, particularmente en los 900 metros más bajos sobre el suelo donde la temperatura del aire es fuertemente influenciada por el calentamiento solar diurno y por el enfriamiento nocturno por radiación.

Esta capa más baja de la tropósfera es llamada la **capa límite**. A menudo nos referiremos a esta importante capa cercana al suelo.

La temperatura normalmente disminuye con el incremento en altitud en la tropósfera. Esto representa el cambio normal o “estándar” en temperatura con la altitud. Sin embargo, la temperatura del aire puede también aumentar con el incremento en altitud en la tropósfera.

Esta alteración en la tendencia normal en la reducción de temperatura con la altitud es a lo que referimos como una **inversión**. Mas sobre inversiones se verá más adelante en esta unidad.

Esencialmente, un **gradiente negativo** indica una disminución “normal” en temperatura con incremento en altitud, mientras un **gradiente positivo** indica un incremento “invertido” o “anormal” de temperatura con un incremento en altitud.

Los meteorólogos determinan los gradientes utilizando radiosondas (globos meteorológicos) y otros sistemas de observación.

## E. Tres gradientes para recordar

Dos diferentes gradientes de temperatura son usados para determinar la estabilidad de la atmósfera. El tercer gradiente no se usa para este fin.

En cambio, este gradiente es algunas veces utilizado para estimar o proyectar una temperatura para un punto en el espacio, como en un lado de una montaña.

Los tres gradientes son:

- gradiente adiabático seco
- gradiente adiabático húmedo
- gradiente promedio

### 1. Gradiente adiabático seco

A medida que el aire se enfría, su capacidad para retener el vapor de agua disminuye, y a medida que la temperatura disminuye, la humedad relativa aumenta.

Siempre que una parcela de aire moviéndose verticalmente permanezca no saturada (su humedad relativa permanece con menos de 100 por ciento) se enfriará o se calentará a un ritmo constante con su energía y masa internas (aire seco y vapor de agua) permaneciendo sin cambios.

Esto es a lo que nos referimos como un “verdadero” proceso adiabático.

Esta tasa de cambio de temperatura para parcelas de aire ascendentes y descendentes no saturado es llamada el **gradiente adiabático seco**.

Para parcelas de aire ascendentes no saturado o secas el gradiente es de **-1 °C por cada 100 metros**.

Para parcelas de aire descendentes no saturado o secas el gradiente es de, **+1 °C por cada 100 metros**.

## 2. Gradiente adiabático húmedo

El proceso adiabático se complica un poco más cuando se trata de condensación. Como se indicó anteriormente, todas las parcelas de aire ascendentes se expanden y se enfrían, independientemente si la condensación ocurre o no.

Si una parcela de aire ascendente se satura (su humedad relativa es igual al 100 por ciento), un mayor ascenso da lugar a la condensación.

Durante la condensación (formación de nubes), las parcelas de aire ascendentes pierden masa, principalmente en forma de vapor de agua (gotas de las nubes y precipitación).

La energía calorífica (llamada **calor latente**) es también liberada a la parcela y su entorno durante la condensación. Este calor latente calienta la parcela, sin embargo, no es suficiente para revertir el enfriamiento causado por la expansión.

En lugar de enfriar a una velocidad de  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  por cada 100 metros, una parcela de aire ascendente saturado se enfría a una velocidad más lenta de  **$-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  por cada 100 metros** debido a la introducción de calor latente.

Nos referimos a esta velocidad más lenta de enfriamiento debido a la expansión, como el **gradiente adiabático húmedo (o mojado)**.

Debido a la ganancia de calor y la pérdida de masa (principalmente vapor de agua) durante la condensación, el gradiente adiabático húmedo no representa un “verdadero” proceso adiabático.

Por lo tanto, es a veces referido como **gradiente pseudoadiabático** donde el prefijo pseudo- significa “muy parecido”.

Las parcelas de aire descendentes raramente se calientan en el gradiente adiabático húmedo. Por ejemplo, una vez que una parcela de aire saturado comienza a descender por la ladera de sotavento de una cordillera, la compresión causa su calentamiento.

Una vez que su humedad relativa baja a menos del 100%, la parcela se calentará al gradiente adiabático seco más rápido de  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$  por cada 100 metros.

Esta transición del gradiente húmedo al gradiente seco a menudo ocurre de manera bastante repentina y normalmente cerca de la cima de la ladera de sotavento de una cordillera.

Las observaciones de una radiosonda son trazadas en gráficos llamados **diagramas skew-T** (oblicuo de temperatura).

Estos diagramas son usados para representar la presión, la temperatura, la densidad, la humedad y el viento dentro de una columna de atmósfera por encima de un punto en la superficie terrestre.

Los diagramas skew-T trazados son entonces utilizados para determinar los gradientes de temperatura y la estabilidad de la troposfera.

### 3. Gradiente promedio

Este gradiente generalizado representa el cambio vertical promedio de temperatura para todas las capas de la atmósfera inferior combinadas.

Este gradiente es de alrededor de  $\pm 0.65$  °C por cada 100 metros. El gradiente promedio raramente iguala los gradientes seco y húmedo.

Debido a que este gradiente no representa la distribución de la temperatura “real” para una columna específica de la atmósfera, no puede ser usado para determinar la estabilidad de una columna de atmósfera.

Pero este gradiente es útil para estimar o proyectar la temperatura y la humedad relativa a un nivel en la atmósfera o para un punto en la ladera de la montaña.

Debido a las variaciones en topografía, vegetación, viento, nubosidad, etc., evite usar este gradiente para proyectar temperaturas a más de 600 metros por encima o por debajo de su ubicación.

Aquí hay un ejemplo que utiliza el gradiente promedio para estimar o proyectar una temperatura cerca de un incendio forestal en la ladera de una montaña.

- En un lugar de observación de una montaña a 1,372 metros, la temperatura observada es 34.5 °C.
- Utilizando el gradiente promedio, la temperatura en un fuego a 1,981 metros es proyectada a 30.5 °C.

La humedad relativa en el fuego también puede ser estimada utilizando la tabla psicrométrica apropiada para la altitud, y el procedimiento discutido en la Unidad 5, asumiendo el mismo punto de rocío en ambas ubicaciones.

### **Un día en la vida de una parcela de aire ascendente.**

1. Una parcela de aire no saturado sobre un campo sin vegetación bañado por el sol tiene una temperatura de 27 °C.
2. El aire sobre los campos cercanos cubiertos de vegetación tiene una temperatura de 23 °C.
3. La parcela de aire más caliente y menos densa (más ligera) se acelera hacia arriba, expandiéndose y enfriándose al gradiente seco a medida que la presión exterior disminuye.
4. A 1,524 msns (metros sobre el nivel del suelo), la parcela de aire se ha enfriado hasta una temperatura de 11 °C.
5. La temperatura del aire observada a esa altitud es 9.5 °C.
6. Aún más cálida y ligera que el aire circundante, la parcela continúa subiendo, enfriándose mediante el proceso adiabático seco, a una temperatura de -13 °C a 3,963 m.
7. A esa altitud, la parcela es sólo ligeramente más cálida que su entorno, pero continúa subiendo a un ritmo mucho más lento debido a una diferencia muy pequeña en temperatura entre ella y el aire circundante.

Si la parcela de aire se saturara durante su ascenso, por ejemplo, a 1,524 metros, se formaría una nube (asumiendo que la parcela permaneciera saturada mientras continuaba subiendo).

Después de saturarse, la parcela se enfriaría al gradiente adiabático húmedo más lento de -0.5 °C por cada 100 metros hasta que la condensación ya no ocurriera.

F. ¿Qué tan estable o inestable es la atmósfera?

La diferencia en temperatura entre una parcela de aire y la atmósfera a su mismo nivel determinará qué tan rápido una parcela de aire ascenderá o descenderá.

Cuanto mayor sea la diferencia de temperatura o el gradiente, más rápido la parcela subirá o bajará.

Esta diferencia en temperatura es también un muy buen indicador de que tan estable o inestable es una capa de la atmósfera.

Los grandes incendios forestales pueden producir corrientes ascendentes extremadamente fuertes capaces de levantar residuos, tales como arbustos y árboles a cientos de metros por el aire.

Sin duda, este es un ejemplo de comportamiento crítico de los incendios forestales producido por una atmósfera extremadamente inestable.

G. La influencia de la humedad en la estabilidad

La cantidad de humedad o vapor de agua en el aire también juega un papel importante en el cambio de la estabilidad de la tropósfera.

El aire seco es más pesado que el aire húmedo o el vapor de agua, como lo indican sus pesos moleculares promedio.

Añadiendo vapor de agua a una columna de aire, se desplazan las moléculas de aire secas más pesadas, y se reduce la presión atmosférica medida en la superficie terrestre.

La eliminación del vapor de agua permite que las moléculas de aire seco regresen, aumentando el peso de la columna. Este cambio de peso sería indicado por una mayor presión de aire en la superficie terrestre.

Esta diferencia en peso explicaría por qué los días de baja humedad son generalmente más estables, tienen menos nubes y una mayor presión de aire.

Los días de alta humedad son generalmente más inestables, tienen más nubes y tienen una mayor probabilidad de precipitación e incluso tormentas. Una mayor humedad equivale a una mayor inestabilidad.



## **Ejercicio 2**

### **Flujo de aire sobre una cordillera**

Utilizando la ilustración de la diapositiva 53 y la información del ejercicio de abajo, calcule la temperatura de la parcela de aire que sube y baja de esta cordillera.

Use los indicadores visuales en la ilustración para ayudarse a seleccionar el gradiente apropiado para sus cálculos.

Usted tiene 10 minutos para completar este ejercicio. Los estudiantes compartirán sus respuestas y una breve explicación de cómo se calculó, incluyendo el gradiente que se usaron.

#### **Información del ejercicio:**

Una parcela de aire no saturado con una temperatura de 27 °C se eleva desde una altitud de 1,524 metros en Grand Junction por la ladera de barlovento de la montaña hasta la división continental a 3,963 metros. Luego la parcela se mueve hacia abajo por la ladera de sotavento de la montaña, regresando a su elevación original de 1,524 metros en Denver.

En el trayecto, la parcela se satura al pasar por una nube precipitante sobre la pendiente de barlovento. Una vez sobre la división (continental), la parcela rápidamente se convierte en no saturada cuando empieza a hundirse.

Calcule la temperatura de la parcela a 2,438 metros en la pendiente de barlovento utilizando el gradiente seco, en 3,963 metros utilizando el gradiente húmedo; y en 2,438 y 1,524 metros en la pendiente de sotavento usando el gradiente seco.

Decidan qué gradiente usar con la ayuda de indicadores visuales (nubes, sin nubes) en la ilustración.

2,438 metros en pendiente oeste:

3,963 metros en la cresta:

2,438 metros en pendiente este:

1,524 metros en Denver:

Explique por qué la temperatura de la parcela aumentó 7 °C entre Grand Junction y Denver; señalando que la parcela comenzó y terminó en la misma elevación.



### **Ejercicio 3**

#### **Gradientes y estabilidad atmosférica.**

Responda las siguientes preguntas sobre el gradiente de temperatura y la estabilidad atmosférica.

1. Agregando vapor de agua a una parcela de aire la hará:
  - a. Más fría
  - b. Más cálida
  - c. Más ligera
  - d. Más pesada
  
2. La temperatura observada en una estación meteorológica a 914 metros es de 28 °C. Proyecte cual sería la temperatura actual en un incendio forestal a 549 metros por encima de esa ubicación.
  - a. 25.5 °C
  - b. 25 °C
  - c. 23 °C
  - d. 32 °C
  
3. Una columna de aire frío y seco es \_\_\_\_\_ que una columna de aire cálido y húmedo.
  - a. Más pesada y generalmente más estable.
  - b. Más ligera y generalmente más inestable.
  - c. Ambas respuestas son correctas.
  - d. Ninguna respuesta es correcta.

4. Cuando una parcela de aire ascendente se satura:
- a. Se enfría debido a la expansión en  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  por cada 100 metros.
  - b. Se enfría debido a compresión en  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  por cada 100 metros.
  - c. El enfriamiento debido a la expansión es compensado por calor latente de la condensación causando que la parcela se enfríe a una velocidad más lenta de  $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  por cada 100 metros.
  - d. El enfriamiento debido a la expansión es compensado por el calor latente de la evaporación causando que la parcela se enfríe a una velocidad de  $-1^{\circ}\text{C}$  por cada 100 metros.
5. El comportamiento crítico o extremo de los incendios forestales es a menudo más asociado con:
- a. Condiciones atmosféricas estables.
  - b. Condiciones atmosféricas inestables.

#### IV. LOS EFECTOS DE LA ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES

##### A. La capa de mezcla.

La capa de mezcla, también llamada capa de mezcla convectiva, es el nivel inferior de la tropósfera donde el calentamiento superficial mezcla y transporta verticalmente moléculas de aire, vapor de agua y contaminantes como humo, potencialmente a miles de metros por encima del suelo.

La capa límite localizada en la porción inferior de la capa de mezcla durante el día, se convierte en la capa de mezcla durante la noche.

La capa de mezcla es generalmente:

- Más profunda o más alta en el interior de los continentes y regiones tropicales, y
- Menos profunda o más baja en los océanos, costas, y regiones polares.

En el territorio continental de los Estados Unidos, la profundidad máxima de la capa de mezcla varía de aproximadamente 800 a 5500 metros en promedio.

La capa de mezcla está normalmente “tapada” por una capa de aire muy estable, la cual limita el ascenso de las nubes de desarrollo vertical y las columnas de humo.

Las partes superiores de altas columnas de humo, y nubes Cumulonimbus se extienden en la parte superior de la capa de mezcla debido a la capa sobrepuesta de aire muy estable.

Las tormentas eléctricas con corrientes ascendentes muy fuertes son capaces de ascender más allá de la parte superior de la capa de mezcla, y en raras ocasiones, hasta la base de la tropopausa.

##### 1. Evolución de la capa de mezcla diurna

La altura de la capa de mezcla puede variar ampliamente desde una baja altura temprano por la mañana cuando el aire superficial es más fresco a grandes alturas a media tarde, cuando las temperaturas del verano son usualmente más altas.

## **El aumento de altura de la capa de mezcla durante un típico día de verano intercontinental**

- Al amanecer, la capa de mezcla es poco profunda, posiblemente no más que unos pocos cientos de metros de profundidad.
- Debido al desfase de temperatura temprano por la mañana, la temperatura del aire superficial aumenta lentamente; de 13 °C a las 0600 a 17 °C a las 0800.
- Durante este periodo de dos horas, la parte superior de la capa de mezcla asciende lentamente hasta una altura de 457 metros sobre el nivel del suelo. Cualquier humo producido por un incendio forestal ardiendo lento, probablemente permanecerá atrapado cerca del suelo debido a la poca profundidad de la capa de mezcla.
- De las 0800 a las 1000, la parte superior de la capa de mezcla continúa su ascenso lento a una altura de 853 metros sobre el nivel del suelo. Sin embargo, durante este mismo periodo, ¡la temperatura del aire superficial aumenta 7° C!
- Incluso con un aumento grande en la temperatura del aire cerca del suelo, el comportamiento y la intensidad del fuego es probable que permanezcan bajos antes de que a las 1000, convirtiéndose en una capa de mezcla constante de baja profundidad. La dispersión del humo solo mejora ligeramente a medida que los vientos superficiales comienzan a aumentar ligeramente en velocidad.
- Poco después de las 1000, la “inversión” de la temperatura nocturna se rompe repentinamente (las inversiones se discutirán con mayor detalle más adelante en esta unidad), y la parte superior de la capa de mezcla asciende rápidamente a una altitud de 2,256 metros sobre nivel del suelo para las 1200.
- Obsérvese que el aumento dramático de la altura de la capa de mezcla entre las 1000 y las 1200 ocurre con un aumento de sólo 3 °C en la temperatura del aire superficial.
- Durante este periodo al final de la mañana, el comportamiento del incendio forestal aumenta repentinamente, como lo indica el aumento repentino de la columna de humo. Las velocidades del viento aumentan, las temperaturas suben y la humedad relativa disminuye a medida que el aire más caliente y seco se mezcla en la superficie con la disipación de la inversión nocturna.

- Finalmente, de las 1200 a las 1400 horas, la parte superior de la capa de mezcla asciende otros 1,402 metros hasta su máxima altitud de 3,658 metros sobre el nivel del suelo. Este cambio en altura se produjo con solo 4.5 grados de incremento en la temperatura del aire superficial. La altura máxima de la capa de mezcla ocurre en el momento de máxima temperatura, alrededor de las 1430 horas.
- Para la media tarde, la columna de humo alcanza su máxima altura y el comportamiento del incendio forestal permanece activo debido a las altas temperaturas y bajas humedades relativas.

## 2. Variación estacional en la altura de la capa de mezcla.

- a. La altura promedio de la capa mezcla es menor durante los meses fríos del invierno cuándo el día es más corto y los ángulos solares son más bajos.
- b. La altura promedio de la capa de mezcla es mayor durante los meses cálidos del verano cuándo el día es más largo y los ángulos solares son más altos.
- c. La altura promedio de la capa de mezcla aumenta rápidamente durante la primavera a medida que las temperaturas superficiales aumentan constantemente con el aumento de horas luz.
- d. La altura promedio de la capa de mezcla disminuye rápidamente en el otoño a medida que la temperatura superficial desciende constantemente con la disminución de horas luz.
- e. El hundimiento marcado o subsidencia y el calentamiento del aire de nivel medio a menudo hará descender la parte superior de la capa de mezcla a niveles muy por debajo de aquellos observados en la primavera.

B. Los efectos del aire inestable en el comportamiento de los incendios forestales

El aire inestable puede contribuir a un comportamiento del incendio forestal más activo por el incremento de:

1. La probabilidad de remolinos de fuego y polvo (ambos indicadores de condiciones muy inestables cerca del suelo).
2. La probabilidad de vientos superficiales erráticos y en ráfagas.
3. La altura y fuerza de las columnas de convección y de humo.
4. La probabilidad de que las pavesas se eleven a grandes alturas para focos secundarios de gran alcance e iniciar nuevos fuegos.

C. Los efectos del aire estable en el comportamiento de los incendios forestales

El aire estable puede contribuir a un comportamiento del incendio forestal menos activo:

1. Limitando la elevación de columnas de humo; esto resultará en una escasa dispersión de humo y visibilidad.
2. Reduciendo el flujo entrante de aire fresco, limitando así el crecimiento de los incendios forestales y el desarrollo de la columna convectiva.
3. Disminuyendo las velocidades del viento superficial y la velocidad de propagación del fuego, excepto en terreno montañoso y lomeríos.



#### D. Índice de Haines

El índice de Haines es un índice de estabilidad que fue específicamente diseñado para uso en tiempo atmosférico del fuego por Donald Haines de la estación experimental del centro norte del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés).

**El Índice de Haines** se calcula combinando la estabilidad y la sequedad de la atmósfera inferior en un número que se correlaciona bien con el crecimiento del fuego dominado por una gran columna.

1. El **término de estabilidad** es determinado por la diferencia de temperatura entre dos niveles atmosféricos (gradiente de temperatura).
2. El **término de sequedad** es determinado por la diferencia entre la temperatura y el punto de rocío dentro de una misma capa inferior de la atmósfera.

Debido a las grandes diferencias en elevación a través de los Estados Unidos, tres combinaciones de capas atmosféricas son usadas para construir el índice de Haines.

En la mayor parte del este de los Estados Unidos, incluyendo las Montañas Apalaches, se usan datos de los 610 a los 1,524 metros sobre el nivel del mar (msnm).

En las Grandes Llanuras y las Montañas Apalaches se usan datos de los 1,524 a los 3,048 msnm y en el oeste de los Estados Unidos se usan datos de los 3,048 a los 5,486 msnm.

El índice de Haines oscila entre 2 a 6.

- Entre más seca y más inestable es la atmósfera inferior, más alto es el índice de Haines.
- Entre más húmeda y más estable es la atmósfera inferior, más bajo es el índice de Haines.

Un índice de Haines de 2 o 3 indica un potencial muy bajo; 4 potencial bajo, 5 potencial moderado y 6 un potencial alto para el crecimiento de un fuego dominado por una gran columna

Haines encontró que sólo el 10% de los grandes fuegos ocurrieron cuándo el índice era muy bajo, a pesar de que el 62% de los días de la temporada de incendios cayeron en la clase muy baja.

El 45% de los grandes fuegos estuvieron asociados con días de clase alta, aunque sólo 6 % de los días cayeron en esa clase. Los meteorólogos del Servicio Meteorológico Nacional de todo el país incluyen el índice de Haines en los pronósticos meteorológicos del fuego rutinarios.

En resumen, cuanto más seca e inestable es la atmosfera inferior, más alto es el índice Haines; y cuanto más húmeda y estable es la atmósfera inferior, más bajo es el índice Haines.

## V. CUATRO TIPOS DE INVERSIONES TÉRMICAS Y SUS EFECTOS EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES

### A. ¿Qué es una inversión térmica?

Una inversión térmica es una capa de aire muy estable donde la temperatura aumenta con el incremento en altitud.

1. Las temperaturas en una inversión pueden incrementar aproximadamente 2.6° C por cada 100 metros de altitud.
2. Una inversión actúa como un tapón o tapa que limita severamente el movimiento ascendente del aire.
3. Las inversiones térmicas pueden existir en muchos niveles de la tropósfera. La inversión más fuerte o capa estable es localizada en la parte superior de la tropósfera llamada tropopausa.
4. El humo ascendente de la mayoría de los fuegos se aplanará y propagará horizontalmente en la primera capa de inversión que se encuentre debido a la pérdida de impulso ascendente.
5. Sólo las corrientes ascendentes más fuertes asociadas a las tormentas eléctricas y fuegos muy grandes logran “traspasar” a través de esta primera capa de inversión, y en raras ocasiones, pueden extenderse hasta las partes superiores de la tropopausa.

## B. Cuatro tipos de inversiones térmicas

La siguiente es una descripción de cuatro tipos de Inversiones Térmicas:

- Inversión nocturna o por radiación
- Inversión frontal (conversión de masa de aire)
- Inversión marina
- Inversión por subsidencia

Estos tipos de inversión se clasifican según cómo se forman y dónde se forman en la atmósfera.

### 1. Inversión nocturna o por radiación

El tipo de inversión más común. Por la noche, el aire cerca del suelo se enfría más rápido que el aire sobre él, lo que resulta en una inversión nocturna o por radiación.

Durante las horas nocturnas, la inversión nocturna o de radiación basada en la superficie es débil y poco profunda, normalmente no más de unos cuantos cientos de metros de profundidad. A medida que el drenaje de aire frío y el enfriamiento por radiación continúan durante la noche, la inversión se fortalece y finalmente alcanza su máxima profundidad al amanecer cuando las temperaturas de la superficie son más bajas.

La profundidad de la inversión nocturna o por radiación puede variar de varios cientos de metros a unos cuantos miles de metros. Factores como la **nubosidad, el viento, la precipitación, la cubierta de nieve, la amplitud y profundidad del valle o cañón, y la época del año** pueden influir en la profundidad y la fuerza de la inversión nocturna o por radiación.

Las inversiones nocturnas o por radiación son particularmente fuerte en los valles de montaña debido al mayor drenaje de aire frío en estas ubicaciones. El aire frío y denso que fluye hacia abajo de las laderas circundantes y las paredes del valle se acumula en el suelo del valle durante la noche.

Este aire relativamente frío y denso desplaza el aire relativamente más caliente y menos denso que estaba en el fondo del valle durante el día.

Las inversiones nocturnas en los valles de montaña pueden alcanzar profundidades de unos pocos miles de metros con cielos despejados y vientos muy ligeros o en calma.

a. Los efectos de la nubosidad y el viento en las inversiones nocturnas o por radiación

- Las inversiones nocturnas o por radiación son más profundas o fuertes en noches claras con poco o ningún viento. La falta de viento permite que se forme un fuerte gradiente de temperatura vertical. Sin el viento, el aire más cálido y seco en lo alto no puede mezclarse hacia abajo a nivel de suelo.
- Las inversiones nocturnas o por radiación son menos profundas o débiles en noches nubladas y ventosas. El aire más cálido y seco en lo alto es capaz de mezclarse hacia abajo a nivel del suelo cuándo hay vientos.
- La nubosidad reduce la cantidad de enfriamiento por radiación que normalmente ocurriría bajo un cielo despejado; resultando en temperaturas más cálidas y humedades relativas más bajas.

b. Disipación de la inversión nocturna o por radiación

- La inversión es más fuerte justo después del amanecer, cuándo el aire cercano al suelo es más frío.

La intensidad del fuego es baja y la dispersión del humo es pobre. La columna de humo sobre un fuego que arde lentamente hacia abajo se extiende en todas direcciones cuando los vientos superficiales son normalmente muy ligeros o en calma.

- A media mañana, la inversión nocturna se debilita considerablemente ya que el aire cerca del suelo se vuelve casi tan caliente como el aire en la parte superior de la inversión.

La intensidad del fuego aumenta gradualmente a medida que los vientos superficiales ligeros traen oxígeno fresco al fuego. La columna de humo empieza a inclinarse hacia arriba y la dispersión del humo mejora a medida que la parte superior de la capa de inversión asciende.

- Al final de la mañana, el aire cercano al suelo se ha vuelto más caliente que el aire por sobre la inversión nocturna, causando que la inversión se disipe o se “rompa”.

Cuando esto ocurre, a menudo hay un aumento repentino en el comportamiento del fuego a medida que el aire fresco de arriba aporta oxígeno al fuego. Cuando la inversión se rompe, la columna de humo asciende repentinamente, quedando bien formada y con un aspecto casi vertical.

- Una vez que la columna asciende lo suficiente, comienza a inclinarse en dirección los vientos generales de transporte, llevando pequeñas brasas y pavesas lejos del fuego.

c. ¿Qué se puede esperar cuándo la inversión nocturna o por radiación se rompe?

- Los vientos a menudo aumentan repentina y posiblemente se vuelvan racheados y erráticos.
- La temperatura del aire incrementa repentinamente.
- La humedad relativa disminuye repentinamente.

d. El cinturón térmico

Hay varios aspectos del aire estable que deben ser entendidos por el combatiente de incendios. Uno de ellos es la relación de la inversión nocturna o inversión por radiación con los cinturones térmicos.

El **cinturón térmico** se forma donde la parte superior de la inversión nocturna o por radiación hace contacto permanente con la pared del valle o la ladera de la montaña.

En promedio, la temperatura nocturna en esta área es más caliente que en la parte alta o baja de la ladera; esta área típicamente experimenta menos variación de la temperatura diurna, y tiene la temperatura media más alta y la humedad relativa promedio más baja durante la noche.

Los cinturones térmicos pueden tener, y a menudo tienen, un efecto significativo en los esfuerzos de control de los incendios forestales. Las temperaturas más altas y humedades relativas más bajas secan los combustibles y crean condiciones de quema que pueden llegar a ser severas.

En general, el cinturón térmico es la zona de la pared de un valle o de la ladera de una montaña con mayor potencial para un incendio forestal.

Lo más importante es que la combustión continua activa durante la noche, mientras que las áreas situadas por encima y por debajo del cinturón térmico están relativamente en calma. Los combatientes de incendios a menudo se asombran por que la combustión está activa en esta zona durante la noche.

e. Elevación y ubicación de los cinturones térmicos.

La elevación y la ubicación de los cinturones térmicos varía por:

- lugar
- época del año
- duración de la oscuridad nocturna
- tamaño e inclinación del valle o cañón

El cinturón térmico tiende a formarse en **elevaciones más bajas** en las laderas de las montañas y en las paredes de los valles durante la temporada de verano cuando las noches más cortas permiten un menor enfriamiento por radiación y un menor drenaje de aire frío.

El cinturón térmico tiende a formarse en **elevaciones más altas** en las laderas de las montañas y en las paredes de los valles durante la temporada de invierno cuando las noches más largas permiten un mayor enfriamiento por radiación y el drenaje de aire frío para producir inversiones nocturnas o por radiación con mayores profundidades.

Los cinturones térmicos pueden aparecer a varios cientos de metros por encima del suelo del valle coincidiendo con las partes superiores de estas inversiones superficiales.

El cinturón térmico tiende a formarse en elevaciones más altas en las laderas de las montañas y en las paredes de **valles amplios** y en **cañones ligeramente inclinados** donde el aire frío que se drena en las laderas cercanas puede acumularse a grandes profundidades.

El cinturón térmico tiende a formarse en elevaciones más bajas en las laderas de las montañas y en las paredes de valles estrechos y en cañones escarpados donde el fuerte drenaje impide que el aire frío se acumule a grandes profundidades.

## 2. Inversión frontal

La **inversión frontal** se forma cuando una capa de aire relativamente frío cerca del suelo se mueve hacia abajo y desplaza una capa de aire relativamente más caliente y menos densa. Este proceso de formación inversión se produce con el paso de un **frente frío**.

Una inversión frontal también se forma cuando una capa de aire relativamente caliente y menos denso se desliza hacia arriba sobre una capa de aire más frío y denso cerca del suelo. Este proceso de formación de inversión ocurre con el paso de un **frente caliente**.

Las inversiones frontales asociadas con los frentes fríos son normalmente más fuertes que aquellas formados por frentes calientes; sin embargo, las inversiones frontales asociadas con los frentes calientes son a menudo más extendidas, cubriendo cientos de kilómetros.

La profundidad de una inversión frontal puede variar desde unos pocos cientos de metros cerca del límite frontal de la superficie, hasta varios miles de metros detrás del límite frontal de la superficie.

Una capa de nubes tipo Stratus a menudo definirá la parte superior de la inversión frontal durante el día. Mientras que, por la noche, la niebla puede formarse en el aire más fresco, húmedo y estable dentro de la capa de inversión.

Si la inversión permanece estacionaria en un área durante más de un día o dos, normalmente se profundizará y se hará más fuerte. Si hay suficiente humedad, la niebla y las nubes bajas se extenderán.

### 3. Inversión marina

La **inversión marina** es un tipo común de inversión que se encuentra a lo largo de las orillas de grandes lagos, y a lo largo de las costas de los continentes, particularmente en la costa oeste de los Estados Unidos.

La profundidad de la inversión marina puede variar desde unos pocos cientos de metros hasta varios miles de metros.

El aire marino frío, húmedo y estable bajo una capa de aire cálido, seco e inestable frecuentemente se mueve sobre llanuras a lo largo de la costa oeste con el ciclo diurno de vientos y temperatura.

La inversión marina en estas áreas puede persistir durante el día, pero es más fuerte y notable durante la noche.



Cuando el flujo hacia tierra o “empuje marino” se hace bastante fuerte, la inversión marina puede llegar a ser lo suficientemente profunda para permitir que la niebla y las nubes bajas tipo Stratus se extiendan miles de metros tierra adentro.

La capa de aire marino frecuentemente penetra en los valles interiores y en las cuencas del oeste de Washington, Oregón y California, donde la niebla y las nubes bajas pueden persistir durante semanas al mismo tiempo con vientos débiles y condiciones estables.

Tanto las inversiones marina y frontal pueden tener impactos significativos en el comportamiento de los incendios forestales, principalmente para reducir o suprimir la actividad del fuego.

#### 4. Inversión por subsidencia

Una inversión por subsidencia es un aumento en temperatura con el incremento en altura que es producido por el lento movimiento de hundimiento de una capa de aire de nivel medio o alto debajo de una gran cresta o dorsal de alta presión.

A medida que este aire de gran altitud se hunde o “baja”, se calientan por compresión, produciendo una capa de aire cálido y seco muy estable. Esta inversión se ve reforzada por la mezcla vertical de aire caliente e inestable desde abajo.

La subsidencia es un proceso lento que puede ocurrir durante varios días. Durante este periodo de tiempo, una inversión por subsidencia se hará más fuerte a medida que desciende y se vuelve progresivamente más caliente y seca que la capa de aire debajo de ella.

La cima de las cordilleras experimentará las condiciones cálidas y muy secas de una inversión por subsidencia primero. Si esta condición persiste, los combustibles se secan y las condiciones de combustión se pueden volver más severas.

Las malas condiciones de dispersión de humo también pueden desarrollarse debajo una inversión por subsidencia disminuyendo.

Las inversiones por subsidencia son normalmente más fuertes a finales del verano y en otoño, y en los lados norte y este de fuertes dorsales de alta presión que permanecen sobre una región, a veces durante semanas.

Las inversiones por subsidencia pueden tener un efecto significativo en el comportamiento de los incendios forestales, principalmente para reducir o suprimir la actividad y la formación de la columna de humo. Esto no siempre es el caso de las inversiones por subsidencia como veremos a continuación.

#### C. Subsidencia y vientos Foehn

Los vientos en terreno plano son normalmente ligeros en velocidad bajo grandes dorsales de alta presión e inversiones por subsidencia.

En regiones montañosas, estas mismas condiciones atmosféricas pueden producir vientos descendentes de ladera en ráfagas calientes y secas llamados vientos Foehn, pronunciados como fõne o foone.

Los vientos Foehn pueden tener efectos desastrosos en los incendios forestales. Ejemplos de vientos Foehn más famosos son los Santa Ana y Chinook.

#### **Ejercicio 4**

### **La estabilidad y sus efectos en el comportamiento de los incendios forestales.**

Conteste las siguientes preguntas sobre la estabilidad y sus efectos en el comportamiento de los incendios forestales.

1. Si se determina que una capa de aire cerca del suelo es estable durante la mañana, ¿se mantendrá estable durante el resto del día y por qué?
  - a. No. Porque en un día soleado el aire cerca del suelo probablemente se calentará más que el aire de arriba.
  - b. No. Porque en un día soleado el aire arriba probablemente se calentará más que el aire cercano al suelo.
  - c. Sí. Si el cielo permanece nublado, el aire cerca del suelo probablemente permanecerá más frío que el aire de arriba.
  - d. Las respuestas B y C son correctas.
  - e. Las respuestas A y C son correctas.
2. ¿Cuál de las siguientes causas hace que la atmósfera se vuelva más inestable?
  - a. Calentamiento de la atmósfera desde abajo.
  - b. Enfriamiento de la parte superior de la atmósfera.
  - c. Calentamiento de la parte superior de la atmósfera.
  - d. Las respuestas A y B son correctas.
  - e. Las respuestas B y C son correctas.
3. ¿Cuál de las siguientes opciones describen mejor una inversión?
  - a. La temperatura del aire aumenta con la altura.
  - b. La temperatura del aire disminuye con la altura.
  - c. Es una capa del aire estable tapada por una capa de aire inestable.
  - d. Las respuestas A y C son correctas.

4. ¿Las inversiones, en general, a qué tipo de comportamiento de incendios forestales están asociadas?
- a. Activo
  - b. Inactivo
5. ¿Qué debemos esperar cuándo la inversión nocturna o por radiación se rompe?
- a. Una caída repentina en temperatura y un aumento en humedad relativa.
  - b. Un aumento repentino en viento y temperatura, y una disminución en humedad relativa.
  - c. La formación repentina de nubes.
  - d. Una disminución del comportamiento del fuego debido a una disminución gradual en la velocidad del viento.
6. Los cinturones térmicos se forman:
- a. Donde el fondo de la inversión nocturna frecuentemente hace contacto con la pared del valle.
  - b. Donde la parte superior de la inversión nocturna frecuentemente hace contacto con la pared del valle.
  - c. En elevaciones más bajas en el invierno y en elevaciones más altas en el verano.
  - d. Respuestas B y C son correctas.

## VI. LOS CUATRO PROCESOS DE ASCENSO QUE PUEDEN PRODUCIR TORMENTAS ELÉCTRICAS

Hasta este punto hemos discutido lo que le sucede al aire cuando asciende o desciende, como las diferentes condiciones atmosféricas pueden causar cambios en la estabilidad, y cómo las inversiones térmicas pueden afectar el comportamiento de los incendios forestales y los esfuerzos de control.

Ahora discutiremos las formas en que el aire puede ser levantado para producir nubes, precipitación e incluso tormentas eléctricas.

Hay cuatro principales procesos de ascenso que se encuentran en la atmósfera. Cualquiera de estos procesos de ascenso en combinación con inestabilidad y humedad favorables, es suficiente para producir una tormenta eléctrica.

Los cuatro procesos de ascenso son:

- Térmico (convectivo)
- Orográfico (terreno)
- Frontal (convergencia de masas de aire)
- Corriente en chorro

### A. Ascenso térmico (convectivo)

El fuerte calentamiento del aire cerca del suelo produce corrientes térmicas ascendentes o convectivas. A medida que el aire se calienta, se vuelve menos denso y empieza a ascender.

A medida que asciende, se expande y se enfría. Si el aire calentado contiene suficiente humedad y asciende lo suficiente en la atmósfera, se alcanzará la saturación y se formarán nubes convectivas o tipo Cumulus.

El ascenso térmico es más común en el verano. En terreno plano, la mayor actividad convectiva es sobre las superficies más calientes. En regiones montañosas esto es ayudado por el ascenso orográfico (ver la siguiente sección) sobre los picos y crestas más altos.

## B. Ascenso orográfico (terreno)

El ascenso orográfico se refiere simplemente al ascenso de aire causado por montañas o terreno más alto. En general, el ascenso orográfico es causado por:

- Aire siendo forzado a subir una ladera o valle por calentamiento diurno, o
- Por la desviación ascendente del aire después de chocar con una barrera montañosa.

El aire forzado hacia arriba por ambos métodos se enfriará al gradiente adiabático seco. Si este aire alcanza su punto de saturación y continúa ascendiendo, se desarrollan las nubes. El ascenso orográfico y térmico a menudo trabajan juntos para producir el desarrollo de nubes Cumulus altas y verticalmente desarrolladas.

El ascenso orográfico y la convergencia de aire sobre la cima de una cresta o pico de montaña producirá nubes desarrolladas verticalmente que a menudo permanecen ancladas sobre este terreno elevado hasta que se disipa una vez que el calentamiento de la tarde ha terminado.

## C. Ascenso frontal (convergencia de masas de aire)

El tercer proceso es el ascenso frontal. En este proceso de ascenso, dos masas de aire de diferentes características de temperatura y humedad colisionan, produciendo un levantamiento o movimiento ascendente donde se cruzan.

Como referencia, el borde frontal de una masa de aire frío avanzando es llamada un frente frío, y el borde frontal de una masa de aire caliente avanzando es un frente caliente.

El ascenso creado por la **convergencia** o la unión de dos masas de aire causa una reducción en la presión del aire en la troposfera inferior. La reducción de la presión del aire crea boyancia (elevación) adicional que mejora aún más el ascenso a lo largo del límite frontal avanzando.

La magnitud del ascenso frontal producido depende de varios factores, entre ellos:

- La profundidad y velocidad de la masa de aire avanzando, y
- Cuán húmedo e inestable es el aire en los alrededores de las masas de aire convergentes.

Una masa de aire más fría, debido a su mayor densidad de aire, normalmente se deslizará por debajo y desplazará hacia arriba una masa más caliente y ligera.

El ascenso débil producido por masas de aire frío poco profundas y/o de movimiento lento típicamente crea nubes bajas tipo Stratus o niebla, asumiendo que el aire ascendido se satura.

El ascenso fuerte producido por masas de aire profundas y/o de movimiento rápido típicamente crea nubes altas y onduladas tipo Cumulus.

Bajo condiciones muy inestables, se forman muy grandes y altas nubes Cumulonimbus y tormentas eléctricas.

Las nubes de tipo Stratus y la niebla tienen más probabilidades de producirse con el ascenso frontal suave que se produce cuando el aire más caliente y ligero se desliza sobre una masa de aire más frío y pesado. Esto ocurre con el paso de un frente caliente.

**Convergencia sobre las crestas de las montañas** - A pequeña escala, la convergencia ocurre durante el día, especialmente durante la primavera y el verano, sobre las crestas de las montañas cuando los vientos conducidos térmicamente o por calor en laderas opuestas se unen. Las nubes muy altas tipo convectivas, como Cumulonimbus, son un indicador de que está ocurriendo una convergencia en la cima de la montaña.

D. Ascenso por corriente en chorro

Primero, ¿Qué es la **corriente en chorro**? Es simplemente un canal de aire que se mueve a gran velocidad que se encuentra a menudo a grandes altitudes en la tropósfera.

Varía considerablemente en velocidad y dirección conforme rodea la parte superior de las grandes dorsales de alta presión y depresiones de baja presión.

Los cambios en la velocidad y dirección de la corriente en chorro, conocido como cizalladura del viento, producen el intenso movimiento descendente asociado a las corrientes en chorro.

A medida que los segmentos de alta velocidad de la corriente en chorro pasan encima, la cizalla del viento produce divergencia (la dispersión horizontal de los vientos) en los niveles altos de la tropósfera.

Esta divergencia causa una reducción en la densidad del aire y en la presión del aire en lo alto.

Esta reducción de presión en los niveles altos de la tropósfera hace que el aire de los niveles inferiores se ascienda y literalmente llene el “vacío” dejado por el flujo de aire divergente en lo alto.

Este efecto parecido a una chimenea puede ser potenciado por un fuerte calentamiento y convergencia de aire (la unión del flujo de aire) en los niveles inferiores de la tropósfera. Cuando esto ocurre cerca de una nube convectiva, un gran fuego, o una corriente ascendente de tormenta eléctrica, puede ocurrir un crecimiento explosivo de estos fenómenos.

Un incendio forestal puede intensificarse rápidamente y llegar a ser dominado por la columna con el fuerte ascenso producido por el paso de una corriente en chorro. Se ha sabido que las columnas de humo de grandes fuegos alcanzan grandes alturas en un tiempo relativamente corto bajo estas condiciones.

Nubes tenues tipo Cirrus en lo alto de la troposfera pueden ser su único indicador de que los vientos de corriente en chorro están pasando por encima.

Los combatientes de incendios deben estar atentos a cualquier indicador visual del ascenso por corriente en chorro, tal como las partes superiores de las nubes de tormenta (Cumulonimbus) que se cortan por los fuertes vientos en lo alto.



### **Ejercicio 5**

#### **Procesos de ascenso**

1. Relacione los diversos procesos de ascenso con sus definiciones.

—	Frontal	A	Ascenso fuerte producido por vientos divergentes y baja presión de aire en lo alto.
—	Corriente en chorro	B	Ascenso de las corrientes de aire como resultado del calentamiento de la superficie.
—	Térmico	C	Aire que es forzado a ascender al ser empujado contra terreno montañoso.
—	Orográfico	D	Ascenso producido cuándo dos masas de aire convergen.

2. ¿Cuál definición describe mejor una inversión por subsidencia?

- a. Calentamiento y secado en lo alto con aire que desciende; los vientos superficiales son ligeros en terreno plano.
- b. Cuando el aire es forzado a subir por la ladera de una montaña haciendo que los niveles medios de la troposfera se calienten y se sequen.
- c. Se forma por la noche cuando el aire cerca del suelo se enfría más rápido que el aire en lo alto; es más fuerte en valles amplios de montaña.
- d. Se forma encima de una masa de aire frío avanzando donde aire frío y estable es tapado por aire caliente e inestable.

3. ¿Qué proceso de ascenso causará un incremento en el comportamiento de los incendios forestales y los esfuerzos de control?
- a. Orográfico
  - b. Frontal
  - c. Corriente en chorro
  - d. Térmico
  - e. Todos los anteriores
4. ¿Qué proceso de ascenso puede causar un crecimiento explosivo en las columnas de humo y tormentas eléctricas?
- a. Frontal
  - b. Corriente en chorro
  - c. Orográfico
  - d. Térmico
5. El ascenso producido por aire que choca con una ladera de montaña es llamado:
- a. Térmico
  - b. Frontal
  - c. Orográfico
  - d. Topográfico

## VII. LOS ELEMENTOS DE UNA TORMENTA ELÉCTRICA Y SUS TRES ETAPAS DE DESARROLLO

### A. La tormenta eléctrica

La **tormenta eléctrica** es una tormenta local casi siempre producida por nubes Cumulonimbus, y siempre acompañada por **relámpagos** (rayos) y **truenos**.

La tormenta eléctrica puede producir fuertes viento en línea recta o flujo de salida, fuerte lluvia y granizo. Las tormentas más intensas son también capaces de convertirse en tornados.

Otros elementos de las tormentas eléctricas incluyen un yunque, la extensión de la parte superior de la nube de tormenta eléctrica, y fuertes corrientes ascendentes y descendentes. Los relámpagos producidos por todas las tormentas eléctricas pueden ser nube a tierra, nube a nube, y nube a aire.

Los relámpagos pueden llevar una carga negativa o una carga positiva. Los relámpagos cargados negativamente son mucho más comunes (aproximadamente 90 por ciento), pero se cree que los relámpagos cargados positivamente (aproximadamente 10 por ciento) producen la mayoría de los incendios forestales provocados por relámpagos en los Estados Unidos.

Un mecanismo de **ascenso** (frontal, orográfico, térmico, corriente en chorro), **inestabilidad favorable** y **humedad adecuada** es todo lo necesario para para producir una tormenta eléctrica.

### B. Las tres etapas de una tormenta eléctrica

Las tormentas eléctricas pasan por tres etapas de desarrollo y descomposición:

- Cumulus
- madurez
- disipación

## 1. La etapa de Cumulus

Esta es la etapa inicial de una tormenta eléctrica cuando las columnas ascendentes de aire relativamente húmedo e inestable forman nubes que consisten en domos, montículos o torres, y las partes superiores se asemejan a una coliflor.

Las partes iluminadas por el sol de estas nubes son en su mayoría blancas y brillantes, mientras sus bases son relativamente oscuras y plana en apariencia.

Esta nube crece verticalmente, a menudo con una sola corriente ascendente. En su desarrollo posterior, esta nube crecerá verticalmente hasta convertirse en una nube Cumulus muy alta, capaz de provocar ráfagas de viento fuertes.

Las torres de nubes pueden extenderse miles de metros en el cielo justo antes de convertirse en una tormenta eléctrica de etapa madura.

La precipitación no se produce durante esta etapa, pero los vientos arrachados son relativamente comunes, particularmente en días calurosos y soleados cuándo la sombra de la nube produce un fuerte contraste de temperatura en el suelo.

## 2. La etapa de madurez

La etapa de madurez, la etapa más activa del ciclo de las tormentas eléctricas comienza cuando los **relámpagos** y los **truenos** son vistos por primera vez.

Una fuerte **corriente ascendente** y **descendente** también se formará dentro de la nube de la tormenta eléctrica durante esta etapa.

La nube de tormenta eléctrica, llamada **Cumulonimbus**, es excepcionalmente densa y desarrollada verticalmente, formándose como una sola masa de nubes, o en una línea de nubes complejas.

Las bases de las tormentas eléctricas maduras son oscuras e irregulares. Una parte superior en forma de yunque, compuestas completamente por cristales de hielo, se forman en la parte superior de la nube. El yunque se aplana a medida que se acerca a la tropopausa estable.

Si el aire debajo de una tormenta eléctrica es muy seco, por ejemplo, aire con una humedad relativa muy por abajo del 30%, la lluvia que cae de la base de una tormenta eléctrica en la mayoría de los casos se evaporará antes de llegar al suelo.

Esto algo que ocurre comúnmente en las regiones semiáridas del oeste de los Estados Unidos. La lluvia que se evapora antes de llegar al suelo se llama **virga**.

El relámpago que se producen por una tormenta eléctrica con muy poca lluvia o virga, se llama **rayo seco**.

La evaporación de la lluvia y el granizo cerca de la base de la tormenta eléctrica causa que el aire circundante se enfríe rápidamente. El aire se hace más denso a medida que se enfría, causando que se acelere hacia el suelo como una corriente.

Al alcanzar el suelo, esta corriente descendente se extiende en todas direcciones como un flujo de salida relativamente frío y en rachas o como vientos en “línea recta”. El borde principal de estos vientos en rachas es llamado frente de rachas.

Velocidades de viento de 30 a 45 kph son comunes, aunque rachas superiores a 90 kph son posible en tormentas eléctricas grandes. Los frentes de rachas pueden viajar a más de 16 kilómetros desde la tormenta eléctrica, causando un repentino cambio en la velocidad y dirección del viento a lo largo de su trayectoria.

### 3. La etapa de disipación

Durante esta etapa final, existen corrientes descendentes a través de toda la nube Cumulonimbus. Sin una corriente ascendente que provea a la tormenta eléctrica de una fuente de humedad y energía, el núcleo de la tormenta colapsa.

El colapso resultante causa una corriente descendente de aire enfriado por lluvia que puede ser fuerte y en rachas como los vientos de corriente descendente durante la etapa de madurez.

La lluvia y actividad eléctrica disminuye rápidamente durante esta etapa, terminando eventualmente a medida que la corriente descendente de la tormenta se disipa.

#### C. Peligros para combatientes de incendios

Las tres etapas de la tormenta eléctrica plantean un peligro para el combatiente de incendios forestales.

Es la etapa de madurez, sin embargo, la que plantea el mayor riesgo para la seguridad personal, y potencialmente el mayor impacto en el comportamiento de los incendios forestales.

## **Ejercicio 6**

### **La tormenta eléctrica y sus etapas.**

Responda las siguientes preguntas sobre la tormenta eléctrica y sus etapas de desarrollo y decadencia. Solo hay una respuesta correcta para cada pregunta. Tiene cinco minutos para completar este ejercicio.

1. ¿Cuáles son los tres ingredientes necesarios para producir una tormenta eléctrica?
  - a. Un yunque, relámpagos y viento fuerte.
  - b. Un mecanismo de ascenso, inestabilidad y humedad.
  - c. Corrientes ascendentes, corrientes descendentes y relámpagos.
  - d. Todas las respuestas son correctas.
  
2. La extensión de la parte superior de una nube Cumulonimbus o de tormenta se llama:
  - a. Una nube virga
  - b. Un Yunque
  - c. Una nube ancla
  - d. Una nube de corriente ascendente
  
3. La etapa de madurez de una tormenta eléctrica comienza:
  - a. cuando se forman las ráfagas vientos ascendentes.
  - b. cuando se forman corrientes ascendentes y descendentes.
  - c. cuando termina la virga.
  - d. cuando se observan por primera vez rayos y truenos.
  - e. respuestas b y d son correctas.

4. Identificar la etapa de la tormenta con su descripción. (Elija la mejor respuesta.)

a. Cumulus      b. madurez      c. disipación

- |       |  |
|-------|--|
| _____ | solo corriente descendente                       |
| _____ | mayor peligro para los combatientes de incendios |
| _____ | la lluvia y los rayos terminan                   |
| _____ | corriente ascendente y descendente               |
| _____ | solo corriente ascendente                        |
| _____ | Los truenos se escuchan por primera vez          |
| _____ | No hay precipitación                             |



## VIII. USANDO INDICADORES VISUALES PARA DESCRIBIR LA ESTABILIDAD DE LA ATMÓSFERA

Los indicadores visuales son la manera más fácil de reconocer si el aire es estable o inestable.

Los métodos alternativos incluyen la consulta del pronóstico del tiempo atmosférico de fuego o de un meteorólogo del tiempo atmosférico de fuego.

En este curso, nos concentraremos en los indicadores visuales y discutiremos cada uno de ellos.

### A. Indicadores visuales de aire estable

1. La columna de humo se desvía después de un ascenso limitado.
2. Las nubes están en capas con poco desarrollo vertical, como las nubes Stratus.
3. Pobre visibilidad en niveles inferiores de la atmósfera debido a una acumulación de humo y bruma.
4. La presencia de niebla.
5. Los vientos son normalmente ligeros o en calma en terreno plano y en el fondo de los valles.
6. Nubes de onda de montaña que indican vientos en rachas en las crestas y laderas de las montañas por encima de la inversión nocturna o por radiación.

B. Indicadores visuales de aire inestable

1. Las nubes crecen verticalmente a grandes alturas, como las Cumulus altas, Altocumulus castellanus y Cumulonimbus.
2. Las nubes tipo Cumulus a menudo producen vientos superficiales en rachas y erráticos.
3. Buena visibilidad debido a una atmósfera bien “mezclada”.
4. Las columnas de humo ascienden a grandes alturas y están bien formadas.
5. Las columnas de humo pueden ascender lo suficiente como para producir nubes tipo Pyro-Cumulus altas.
6. Los remolinos de polvo y fuego se forman a menudo en áreas de fuerte calentamiento por el sol o por un fuego.

### **Ejercicio 7**

#### **Indicadores visuales de aire estable e inestable**

Trabaje en pequeños grupos para este ejercicio. Las columnas de humo son uno de los mejores indicadores visuales de aire estable e inestable. Este ejercicio presenta varias situaciones atmosféricas que los estudiantes podrían encontrar en un evento de fuego.

Utilizando la diapositiva 114, escriba el número de la fotografía junto a la descripción correcta.

—	La atmósfera es inestable con cizalladura de viento y vientos fuertes en lo alto.
—	Una inversión superficial o aire estable en niveles inferiores.
—	La atmósfera es inestable en todos los niveles.
—	La estabilidad de la atmósfera inferior es neutra con vientos superficiales de moderados a fuertes.
—	Una inversión y un cinturón térmico existe en las laderas de esa cresta, resultando en un aire muy estable. Las condiciones inestables ocurren en la cima de la cresta.
—	La atmósfera inferior es inestable con una inversión en lo alto.



## EJERCICIO 8

### ¿Qué puede decirnos el humo acerca de la estabilidad de la atmósfera?

Las diapositivas 116-118 son fotografías de columnas de humo. Dé una breve respuesta a una o más de las siguientes preguntas:

1. ¿La atmósfera es estable o inestable en esta foto? ¿A qué niveles?
2. Si hay viento ¿dónde y aproximadamente qué tan fuerte? ¿Débil ¿Moderado? ¿Fuerte?
3. Si hay una inversión, ¿de qué tipo?

### **Respuestas:**

**Foto A:** 1.

2.

3.

**Foto B:** 1.

2.

3.

**Foto C:** 1.

2.

3.

**Foto D:** 1.

2.

3.

**Foto E:** 1.

2.

3.

**Foto F:** 1.

2.

3.

**Foto G:** 1.

2.

3.

**Foto H:** 1.

2.

3.

**Foto I:** 1.

2.

3.

**Foto J:** 1.

2.

3.

**Foto K:** 1.

2.

3.

**Foto L:** 1.

2.

3.

## IX. LOS CUATRO PRINCIPALES GRUPOS DE NUBES Y LAS SEIS NUBES MÁS A MENUDO ASOCIADAS CON COMPORTAMIENTO CRÍTICO DE LOS INCENDIOS FORESTALES.

En la última parte de esta unidad examinaremos las nubes, sus nombres, las familias a las que pertenecen, cómo pueden ser utilizadas como indicadores visuales, y las seis nubes críticas para los combatientes de incendios forestales.

Las nubes vienen en todas las formas y tamaños, y existen en todos los niveles de la troposfera. La formación y apariencia de una nube está fuertemente influenciada por la estabilidad de la atmósfera.

### A. ¿Qué es una nube?

Una nube es una colección visible de billones de diminutas partículas de agua y/o hielo suspendidas en la atmósfera por encima de la superficie terrestre. Una nube en contacto con el suelo es llamada niebla.

Las nubes se forman en la atmósfera ya sea por condensación dentro de una columna ascendente de aire, o por enfriamiento del aire hasta el punto de saturación. ¿Le suena esto familiar?

Las nubes se forman tanto en condiciones atmosféricas estables como inestables, pero no todas las nubes producen precipitación.

### B. Clasificación de las nubes

Las nubes son normalmente clasificadas de acuerdo con su apariencia y la altura de su base sobre el suelo.

Hay básicamente tres grupos de nubes.

Por comodidad, las enlistamos en orden descendente en la tropósfera:

1. nubes altas > 6,000 m
2. nubes medias 3,000 a 6,000 m
3. nubes bajas y de desarrollo vertical < 2,000 m

\* Nubes desarrolladas verticalmente 450 - 3,000 m.

Debemos tener cierta precaución cuando confiamos en la altura de las nubes para el propósito de la clasificación. Hay algunas variaciones estacionales y latitudinales, y hay cierta superposición de los grupos de vez en cuando.

C. Las nubes que preceden a un cambio de tiempo atmosférico significativo

Dos a tres días antes de la llegada de un cambio de tiempo atmosférico significativo, como un frente frío, nubes altas comienzan a llenar el cielo.

El sistema de tiempo atmosférico que produce estas nubes altas tipo Cirrus, como Cirrostratus, puede estar todavía a varios cientos de kilómetros de distancia.

Uno o dos días antes del cambio de tiempo atmosférico significativo, las nubes medias comienzan a llenar el cielo. Si la atmósfera se vuelve muy inestable antes de un sistema de tiempo atmosférico, las nubes medias pueden formar torres o torretas, como las Altocumulus castellanus.

Finalmente, varias horas o un día antes de la llegada del sistema de tiempo atmosférico, como un frente frío, las nubes bajas empiezan a llenar el cielo por encima. La atmósfera inferior normalmente se vuelve húmeda e inestable antes del paso de un frente frío.

Si la atmósfera prefrontal se vuelve muy inestable, las nubes altas desarrolladas verticalmente como las Cumulonimbus o nubes de tormenta eléctrica se formarán por encima.

D. Impacto de la nubosidad en el comportamiento del fuego

La cantidad de nubosidad afecta la intensidad del fuego. Generalmente, cuándo la nubosidad durante el día es menor del 50%, los fuegos tienden a ser más activos y las alturas de llama son mayores.

Cuando la nubosidad durante el día es mayor del 50%, la actividad del fuego tiende a disminuir y las alturas de llama son menores.

Un incremento en la nubosidad durante el día reducirá las temperaturas del aire superficial, lo que tendrá un efecto estabilizador en la atmósfera inferior y un efecto supresor en el fuego. Cualquier cambio en la cantidad de nubosidad también afectaría la humedad del combustible.



## E. Nubes críticas para los combatientes de incendios

Varias nubes son especialmente importantes para los combatientes de incendios. Algunas de estas pueden tener un efecto perjudicial en un fuego.

Otras nubes, llamadas nubes indicadoras, ayudan al combatiente de incendios. Reconocer estas nubes a tiempo puede ayudar a los combatientes de incendios a anticiparse a los cambios de tiempo atmosférico que se avecinan.

Estas nubes críticas son:

- Cumulonimbus o nubes de tormenta eléctrica
- Cirrostratus
- Altocumulus castellanus
- Altocumulus floccus
- Altocumulus lenticularis estáticas
- Stratus

### 1. Cumulonimbus o nubes de tormenta eléctrica

Una verdadera problemática y potencialmente la nube más peligrosa es la Cumulonimbus o nube de tormenta eléctrica. Para cuando observe esta nube, problemas de tiempo atmosférico pueden estar ocurriendo.

La Cumulonimbus es una masa de nubes excepcionalmente densa y desarrollada verticalmente; que se presenta ya sea como células de nubes aisladas, o como una línea o pared de células de nubes.

Estas nubes parecen montañas o enormes torres hinchadas, con partes superiores que son normalmente lisas, fibrosas o estriadas y casi plana. Esta parte superior plana de la Cumulonimbus se llama **yunque**.

Rayos, truenos, granizo y fuertes vientos son a menudo producidos por esta nube convectiva irregular y de base es muy oscura.

Las rachas de viento de las tormentas eléctricas pueden alcanzar velocidades superiores a 100 kph. Estos vientos a menudo se propagan en todas direcciones, viajando varios kilómetros desde el núcleo de la nube de tormenta.

Las salidas de viento de las Cumulonimbus y las tormentas eléctricas a menudo causan una disminución repentina en temperatura y un aumento repentino en humedad relativa.

## 2. Cirrostratus

Las nubes Cirrostratus son muy altas, nubes tenues que frecuentemente preceden a un frente atmosférico o sistema de tormenta.

Estas nubes aumentan, se vuelve más gruesa, y descienden a medida que el sistema frontal se aproxima. Indican un cambio atmosférico significativo en los siguientes uno a dos días.

A continuación, se ilustra como se forman las nubes Cirrostratus. La parte superior de las altas nubes Cumulonimbus que se forman a lo largo un frente caliente o frío son sopladadas corriente abajo 800 kilómetros o más por los fuertes vientos en lo alto.

Las nubes Cirrostratus preceden tanto a frentes fríos como calientes, pero son más extensas con los frentes calientes.

## 3. Altocumulus castellanus

Las nubes Altocumulus castellanus son nubes de nivel medio que consisten en masas cumuliformes en forma de torretas o torres, normalmente dispuestas en línea.

Indican condiciones inestables o muy inestables en las capas medias de la tropósfera. Cuando se ven por la mañana, estas nubes son un muy buen indicador de que las tormentas eléctricas se puede desarrollar más tarde en el día.

#### 4. Altocumulus floccus

Las nubes Altocumulus floccus son mechones dispersos blancos o grises con partes superiores redondeadas y ligeramente abultadas. Algunos dirían que parecen un “rebaño de ovejas” en el cielo.

Estas nubes parecen pequeñas Cumulus irregulares y están a menudo acompañadas por rastros fibrosos de virga desde sus bases. Son también un signo de incremento en la humedad e inestabilidad en niveles medios de la tropósfera. A veces preceden a la formación de tormentas eléctricas, particularmente si se forman a primeras horas de la tarde.

#### 5. Altocumulus lenticularis estáticas

Estas nubes en forma de lente a menudo aisladas, a veces parecidas a platillos voladores, se forman con mayor frecuencia sobre o a sotavento de una cordillera montañosa orientada de norte a sur, y permanecen estacionarias, a veces por más de un día.

La fuerte acción de ondas en el sotavento de las montañas puede producir una serie de nubes lenticularis o de ondas estacionarias a unos cientos de kilómetros o más corriente abajo. Estas nubes también se producen en regiones que carecen de terreno montañoso, pero son menos comunes.

Las Altocumulus lenticularis estáticas son un indicador de fuertes vientos estables en niveles medios de la atmósfera. Sin embargo, los combatientes de incendios deben tener en cuenta que estas nubes también pueden indicar la presencia de vientos Foehn fuertes y en rachas en la ladera de sotavento de una montaña.

La fuerza de estos vientos depende de la estabilidad de la atmósfera y la hora del día. Los vientos de la ladera de sotavento asociados con Altocumulus lenticularis estáticas típicamente son más fuerte por la noche y durante las primeras horas de la mañana, cuándo la atmósfera inferior es más estable.

Los fuertes y arrachados vientos Foehn que se forman en la presencia de estas nubes puede causar que los fuegos se propaguen rápidamente y las columnas de humo se corten. Los focos secundarios también se convierten en una seria preocupación.

## 6. Stratus

Las Stratus aparecen más comúnmente como una sola capa de nubes bajas bastante uniforme, gris y sin rasgos particulares.

Ocasionalmente, pueden ser oscuras o incluso de apariencia amenazadora, aunque en la mayoría de los casos, pueden producir solo llovizna o lluvia muy ligera.

Las nubes Stratus son frecuentemente observadas a lo largo de la Costa del Pacífico de los Estados Unidos durante el verano, separando el aire marino más fresco del Océano Pacífico del aire caliente y seco sobre los valles del interior.

Las nubes Stratus son un indicador de aire estable y a menudo húmedo cerca del suelo.

## **Ejercicio**

### **Tipos de Nubes y Descripciones**

Relaciona los siguientes tipos de nubes con las “mejores” descripciones. Dé cinco minutos para completar y luego revise las respuestas.

- |    |                                     |   |  |
|----|-------------------------------------|---|--|
| a. | Stratus                             | — | Formadas con torretas y son un indicador de aire muy inestable en los niveles medios de la tropósfera.   |
| b. | Cumulonimbus                        | — | Un indicador de aire estable en los niveles medios de la tropósfera, y son a menudo asociadas con vientos arrachados en el lado de sotavento de las cordilleras. |
| c. | Alto cumulus castellanus            | — | La mayor preocupación para los combatientes de incendios debido al potencial de vientos fuertes, en rachas y erráticos.  |
| d. | Alto cumulus floccus                | — | Mechones dispersos con partes superior redondeadas y ligeramente abultadas.  |
| e. | Cirrostratus                        | — | Un indicador de aire estable y a menudo húmedo cerca del suelo.  |
| f. | Alto cumulus lenticularis estáticas | — | Un indicador de un cambio significativo de tiempo atmosférico en los próximos 2 a 3 días.  |

## X. CONCLUSIÓN

Esta unidad ha presentado información básica para ayudarlo a identificar cambios en la estabilidad atmosférica, y para entender que efectos pueden tener estos cambios en el comportamiento de los incendios forestales.

Reconocemos la atmósfera como un sistema muy dinámico con un número de procesos físicos que interactúan para producir nuestro tiempo atmosférico.

La estabilidad atmosférica es quizá la menos comprendida; pero probablemente uno de los aspectos más importantes de la meteorología para el combatiente de incendios forestales.