

TORMENTAS



**SERVICIO
METEOROLOGICO
NACIONAL**

BOLETIN INFORMATIVO N° 42

TORMENTAS

Según datos estadísticos, diariamente ocurren aproximadamente 44.000 tormentas en todo el globo terrestre; en la Argentina dicho fenómeno meteorológico se produce con mucha frecuencia, especialmente al norte de los 40° de latitud Sur.

Por su repentina aparición y las condiciones adversas y aún peligrosas que las mismas producen –viento fuerte, granizo, reducción de la visibilidad, turbulencia severa para la aviación, probabilidad de formación de tornados, etc.– obliga al ser humano a planificar todas sus actividades deportivas; turísticas, aéreas y marítimas, agricultura; etc. Y en particular todo lo relacionado con la seguridad, dado que el caso de tormentas severas la diferencia entre la vida y la muerte puede depender de las medidas de prevención adoptadas.

CONDICIONES ATMOSFÉRICAS NECESARIAS PARA LA FORMACION DE TORMENTAS

En general, para la formación de tormentas se requiere la conjunción de ciertos factores a saber:

1) Aire inestable: es aquél que, si se desplaza ligeramente de su nivel inicial, se encuentra sometido a una fuerza que lo tiende a alejar aún más de dicho nivel.

2) Contenido de humedad relativamente alto: se requiere que sea alto, a efectos de que, al originarse el ascenso del aire, se produzca la condensación con cierta facilidad.

3) Un mecanismo que origine el ascenso del aire hasta niveles superiores: es preciso

un proceso que dé lugar al ascenso del aire, es decir que lo desplace de su nivel inicial hacia niveles superiores.

CLASIFICACIÓN DE LAS TORMENTAS

Las tormentas se clasifican de acuerdo con el mecanismo que da origen al ascenso del aire y, en tal sentido, pueden distinguirse dos clases:

- a) Tormentas de masa de aire.
- b) Tormentas frontales.

• Tormentas de masa de aire

Se pueden originar por efecto de una intensa insolación, al producirse un gran calentamiento del aire en capas en contacto con el terreno.

También se suelen dar en zonas costeras, sobre el continente, hacia la tarde, cuando se produce el desplazamiento de aire frío desde el mar hacia el continente caliente y durante la noche o en la madrugada, cuando se manifiesta el efecto inverso: el aire más frío va desde el continente hacia el mar.

La orografía proporciona a menudo los mecanismos de ascenso necesarios para el desarrollo de tormentas. Se suelen formar cuando el aire se desplaza sobre sistemas montañosos.

• Tormentas frontales

Las mismas tienen lugar cuando una masa de aire relativamente fría obliga al ascenso de una masa de aire caliente, húmedo e inestable. Dicho proceso ocurre por el ascenso



Daños ocasionados por un Tornado



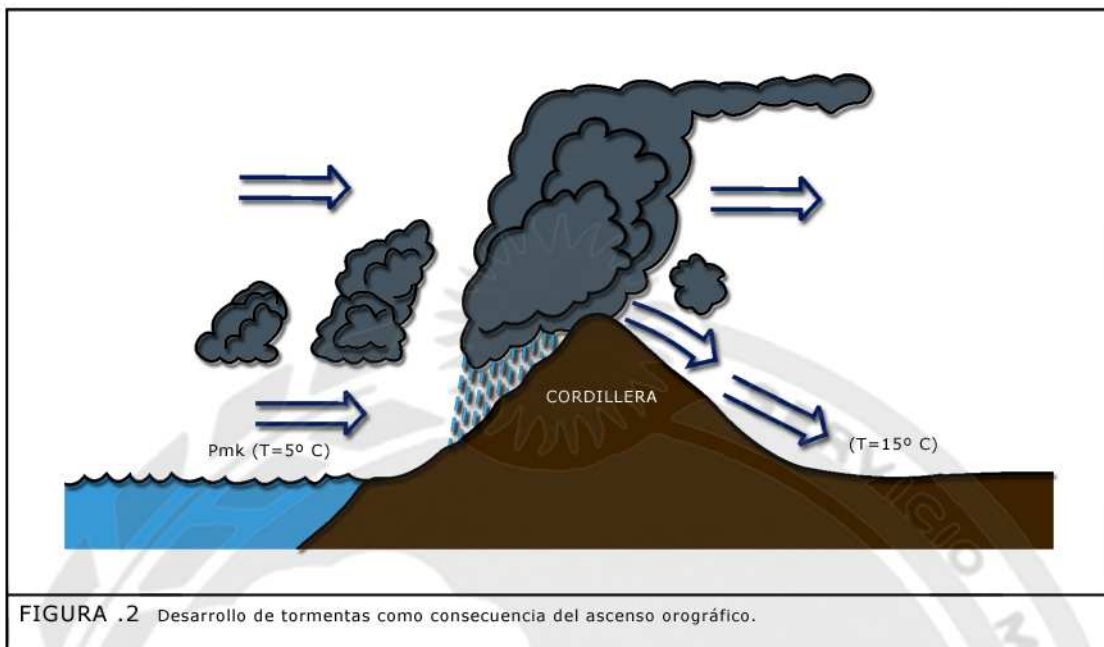


FIGURA .2 Desarrollo de tormentas como consecuencia del ascenso orográfico.

del aire sobre la superficie o pendiente frontal, siendo más frecuente y con mayor actividad las que se originan como consecuencia del desplazamiento de un frente frío.

(Para más detalles sobre zonas frontales se puede consultar el Boletín informativo N° 31 – Masas de Aire y Frentes).

En algunas situaciones, el aire caliente y húmedo suele comenzar a ascender por delante de un frente frío, y pueden caracterizarse por la formación de una línea continua de tormentas paralelas a la zona frontal; este fenómeno se conoce con el nombre de **línea de inestabilidad**.

ESTRUCTURA DE LAS TORMENTAS

Una tormenta consiste generalmente en un conglomerado de nubes convectivas y no de una sola nube. La nube individual de ese conglomerado recibe el nombre de célula de tormenta. Cada célula se comporta como una unidad y cumple su propio ciclo de vida, independiente de las demás células adyacentes. El ciclo de vida completo de estas células se desarrolla en un período de alrededor de una hora y comprende tres etapas, de acuerdo con los movimientos verticales que predominan, a saber:

• El Estado de Desarrollo

En este estado las nubes son cúmulos congestus, cúmulos pileus o cúmulonimbus calvus (**Figura 4**). Hay en general corrientes ascendentes a través de toda la nube y las torres crecen a una velocidad apreciable y pronto sobrepasan la isoterma de 0 ° C. La estructura de la nube en este estado se muestra en la (**Figura 5**). El núcleo de la nube está más caliente que el entorno de la nube y las corrientes ascendentes aumentan con la altura. Aunque puede no estar cayendo precipitación fuera de la nube, hay hidrometeoros presentes dentro de ella, particularmente cerca y encima del nivel de congelación. Durante este estado los elementos de precipitación dentro de la nube son tan pequeños que pueden ser sometidos por la corriente ascendente. Como la nube continúa desarrollándose, se acumula agua líquida y sólida en tal grado, que hidrometeoros no pueden ser más soportados por la corriente ascendente. La precipitación cae entonces fuera de la nube.

• El Estado Maduro

Este estado comienza cuando la primera lluvia cae fuera de la base de la nube.



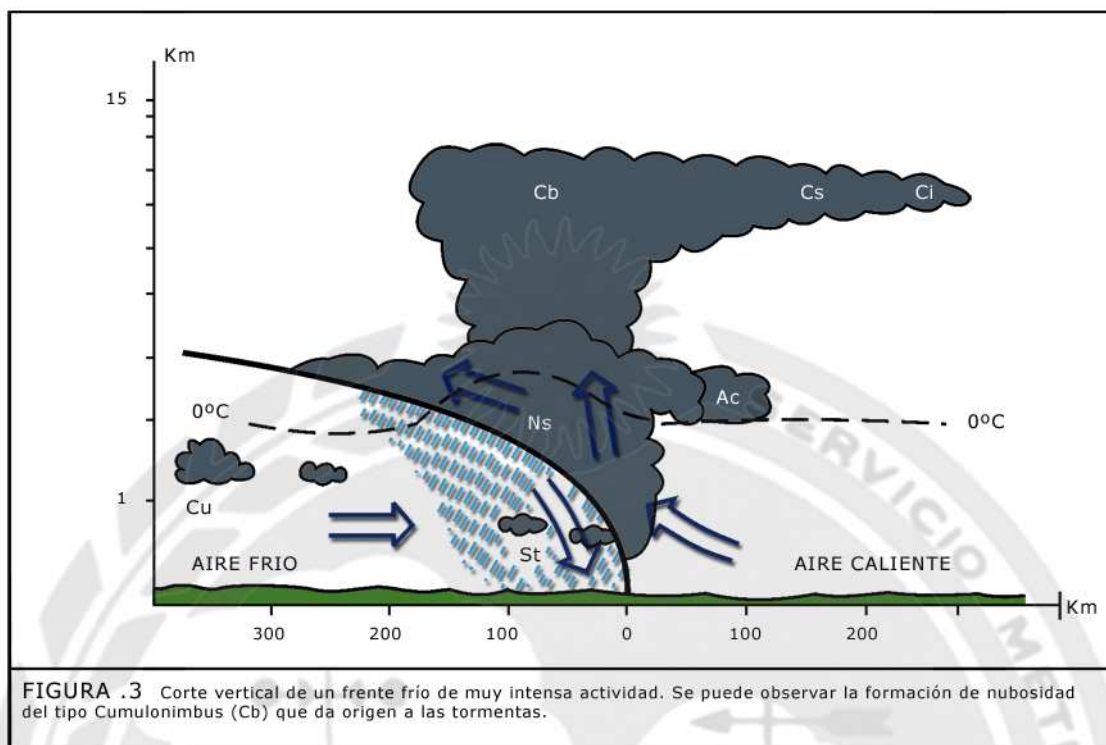


FIGURA .3 Corte vertical de un frente frío de muy intensa actividad. Se puede observar la formación de nubosidad del tipo Cumulonimbus (Cb) que da origen a las tormentas.

En las regiones áridas donde el nivel de condensación es alto, gran parte o toda la lluvia caída se puede evaporar por debajo de la base de la nube. En climas más húmedos la lluvia alcanza el suelo y es normalmente fuerte. La resistencia friccional ejercida por los hidrometeoros dentro de la nube retarda la corriente ascendente y la cambia en corriente descendente, la cual, una vez iniciada, es acelerada por procesos termodinámicos.

La estructura típica de una nube de tormenta en estado maduro se ve en la **Figura 6**. Se observa que las regiones de corrientes ascendentes y descendentes existen de lado a lado. Las corrientes descendentes se inician normalmente en las vecindades del nivel de congelación y crecen vertical y horizontalmente. Las corrientes ascendentes continúan y alcanzan su mayor intensidad en la primera parte del estado maduro; velocidades de las corrientes ascendentes mayores que 90 km/h pueden ocurrir localmente. La corriente descendente es usualmente más débil que la ascendente y más pronunciada en la parte inferior de la

nube. La corriente descendente decrece hacia la superficie, donde el aire frío se extiende horizontalmente. Así, la lluvia intensa (y a veces granizo), corrientes descendentes y divergencia horizontal se encuentran en coincidencia en superficie. En casos pronunciados, el aire frío de la corriente descendente puede extenderse aproximadamente 80 km o más desde la nube. Este aire, entonces, forma lo que comúnmente se llama **pseudo frente frío** en contraste con el aire circundante más caliente (**Figura 7**).

• El Estado de Disipación

A medida que la corriente descendente se extiende horizontalmente, tal que ocupa una porción mayor de la nube, el estado de disipación comienza. No hay entonces una fuente apreciable de vapor de agua para mantener la condensación acumulada. La estructura en estado de disipación se muestra en la **Figura 8**. Mientras la corriente descendente y la lluvia persisten, la nube (en conjunto) está más fría que el entorno. La lluvia se hace más uniforme y su intensidad disminuye. Cuando la corriente

descendente termina, la temperatura se iguala con la del entorno; la nube se disuelve completamente o se transforma en masas irregulares de nubes estratiformes.

CÉLULAS Y GRUPOS

La descripción anterior se aplica a una nube consistente en una única célula, aunque frecuentemente una tormenta eléctrica consiste en un grupo de dos o más células. Un ejemplo típico se muestra en la **Figura 10** donde están presentes cinco células. Las observaciones muestran que hay una tendencia a la formación de nuevas células en la vecindad inmediata de células existentes.

La explicación más probable de esta tendencia a agruparse es quizás que la corriente descendente está compensada por movimientos ascendentes en el entorno y que el aire frío que se extiende desde la corriente descendente de una célula da un impulso ascendente al aire cálido circundante, con el resultado de que se origina una nueva célula convectiva. Este espaciado del aire frío descendente se muestra esquemáticamente en la **Figura 7**. Algunas estadísticas sobre la frecuencia de formación de nuevas células convectivas en la vecindad de células origen se dan en la **Figura 11**, donde se eligió como unidad la probabilidad de formación de una nueva célula a 15 km de la célula de origen. Se ve que la probabilidad es mayor en la parte anterior de una célula que en la posterior, y mayor aún en la región comprendida entre dos células vecinas. Por

esta tendencia, para la formación de nuevas células en la vecindad inmediata de las ya existentes, la vida de un grupo de tormentas será mucho más larga que la de una célula individual.

ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS

En las regiones áridas el tipo de tormenta de una célula única es la más frecuente. A menudo la lluvia se evapora antes de alcanzar el suelo.

La corriente descendente, sin embargo, alcanza el suelo y puede producir tormentas de arena y de polvo.

En climas húmedos son más frecuentes las tormentas agrupadas. La configuración de la lluvia caída sigue estrechamente la distribución de las células. La duración de la lluvia de una célula individual puede variar desde pocos minutos hasta una hora. La intensidad máxima de la lluvia se observa directamente debajo del núcleo de la corriente descendente y poco después que la primera lluvia alcanza el suelo. La intensidad usualmente permanece alta durante 5 a 15 minutos y después decrece lentamente.

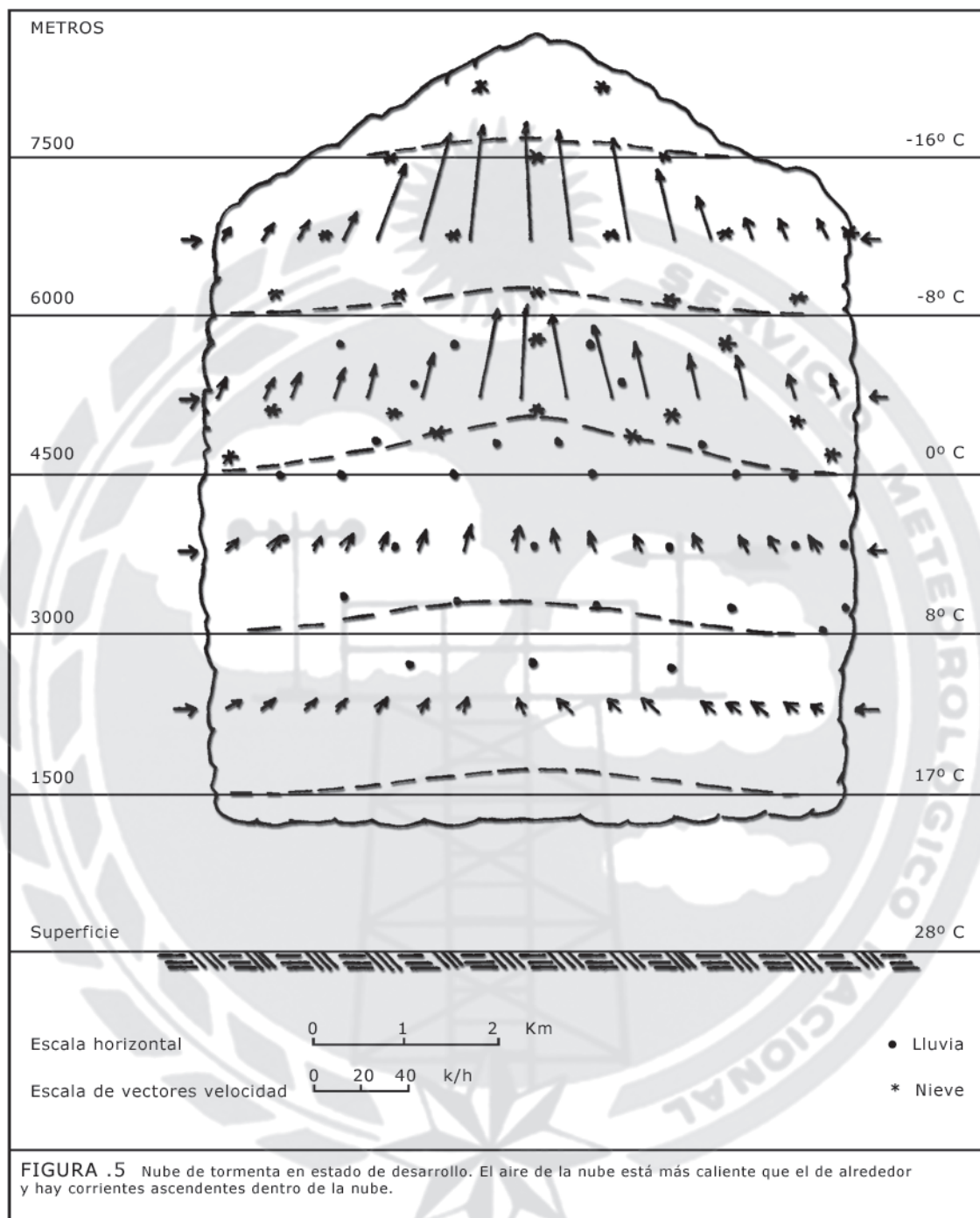
TEMPERATURA Y HUMEDAD

Mientras la configuración de la lluvia caída coincide con las células, el aire frío en la corriente descendente se extiende horizontalmente, principalmente en la dirección del viento, desde la tormenta. La



FIGURA .4 Cumulus congetus, Cumulus pileus y Cumulonimbus calvus







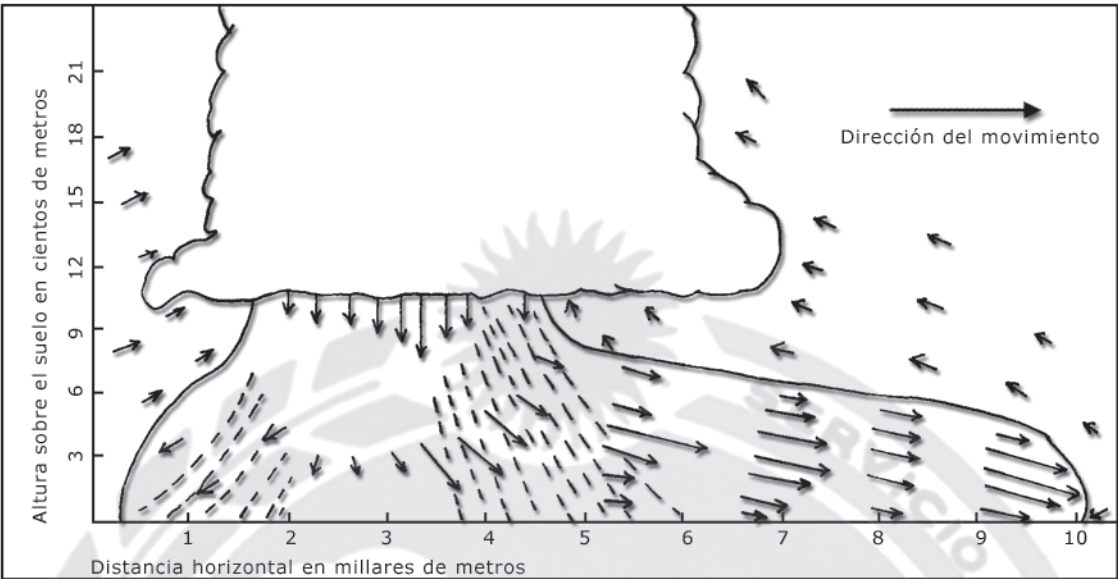


FIGURA .7 La corriente descendente se esparce y avanza como una cuña fría.

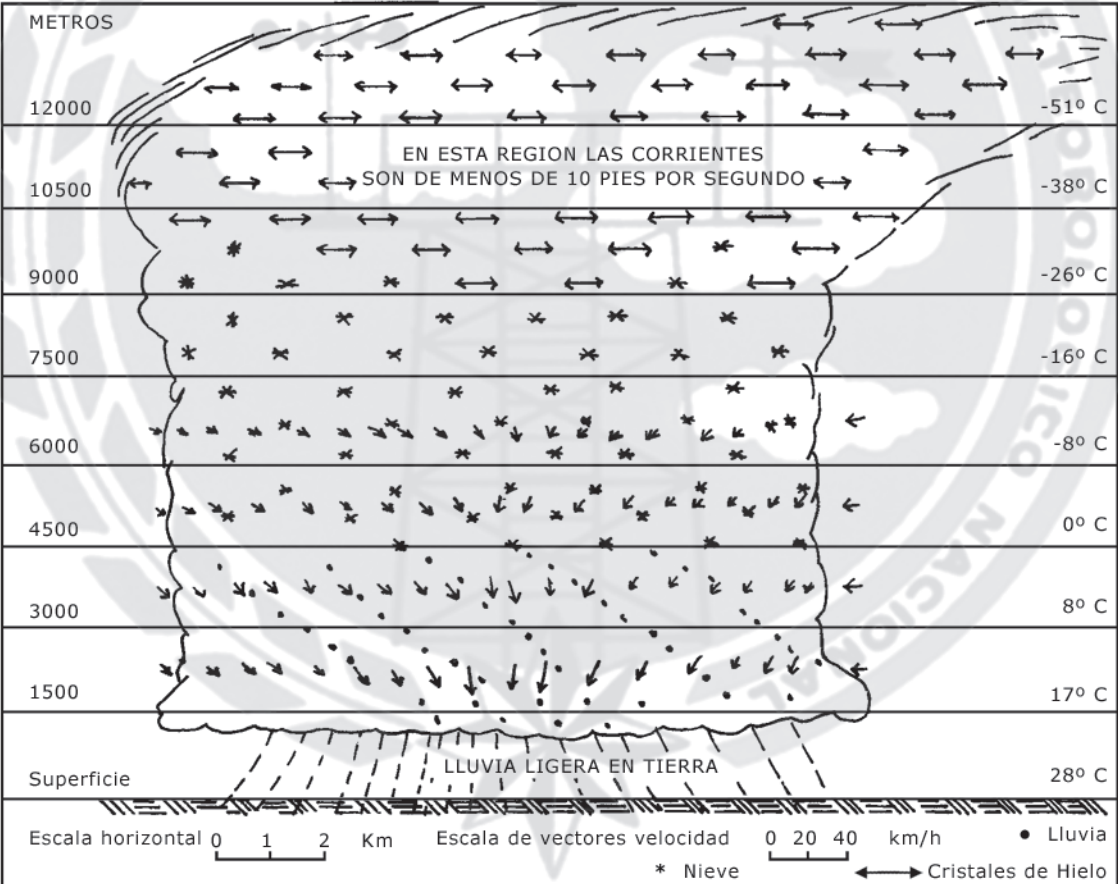


FIGURA .8 Nube de tormenta en estado de disipación.



FIGURA .9A

El extenso grupo de Cúmulus congestus en torre, que se visualizan en la primera fotografía, se había formado tierra adentro, siguiendo el límite de la brisa marina sobre la costa de la península de Florida. Sus poderosos topes y marcados contornos resultan sumamente llamativos. El aspecto aplanado de un tope lejano (atrás a la derecha) indica que éste se está convirtiendo en hielo, de ahí que se lo clasifique como Cumulonimbus. El yunque de un cumulonimbus capillatus más distante puede observarse atrás a la izquierda.



FIGURA .9B Al tiempo de obtenerse la segunda fotografía, la torre central ya exhibía las características de un Cúmulus calvus, observándose el desarrollo de una nube pileus, lo que indica que la torre proseguía su crecimiento. Los otros topes no habían variado significativamente desde el momento de la primera foto, y la estructura del yunque permanecía similar a la vista anterior.



caída de temperatura puede, por lo tanto, adelantarse al arribo de la tormenta.

Al iniciarse la lluvia, la humedad relativa en superficie crece rápidamente sin llegar a la saturación. Después de unos pocos minutos la humedad relativa desciende a veces hasta el 70% o menos mientras la lluvia es intensa. En el estado de disipación, cuando la corriente descendente se debilita, la humedad crece y se aproxima a la saturación. Los registros de humedad indican que la corriente descendente se debilita, la humedad crece y se aproxima a la saturación. Los registros de humedad indican que la corriente descendente no mantiene la saturación aún en presencia de grandes cantidades de agua líquida. Las observaciones de temperatura de las gotas de lluvia muestran que estas gotas, después de iniciarse la lluvia intensa, están varios

grados más frías que el aire ambiente y esto tenderá a mantener la no saturación.

PRESION

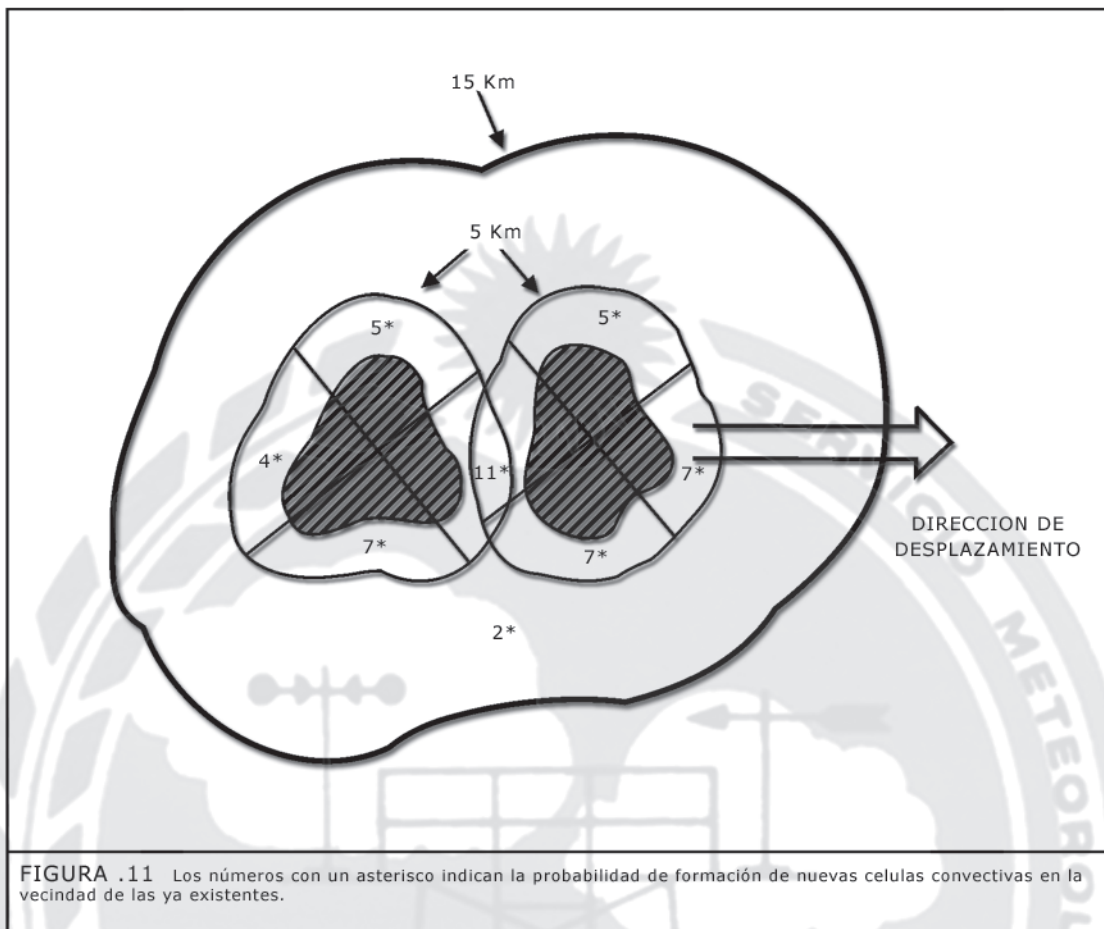
En el estado de desarrollo **Figura 4** la presión en superficie casi invariablemente desciende sobre un área extensa, y los vientos convergen hacia el área por debajo de la nube. En el estado maduro, cuando la corriente descendente alcanza el suelo, comienza un ascenso. El trazo del barógrafo agudo (la nariz de la tormenta), como se observa en la **Figura 12**.

Mientras los domos asociados con tormentas individuales y dispersas son de pequeña extensión horizontal, aquellos asociados con líneas de turbonada a menudo son suficientemente extensos para afectar la



FIGURA .10 Esquema d una familia de tormentas constituidas por cinco células.





configuración de las distribuciones de presión en gran escala.

HIDROMETEOROS

Los hidrometeoros dentro de la nube de tormenta consisten principalmente en lluvia, nieve y granizo, y pueden estar presentes simultáneamente a través de capas profundas. Se puede encontrar lluvia en todos los niveles, al menos hasta aproximadamente los 8 km. La existencia de agua líquida en nivel tan alto se halla asociada con fuertes corrientes cerca del nivel de congelación, aunque a veces puede encontrarse a temperaturas bastantes menores que la congelación.

En el 80% de los casos se encuentra nieve de distinta intensidad por encima de los 6km.

ACTIVIDAD ELECTRICA

Como hemos explicado, durante la tormenta tiene lugar en el interior de los cúmulonimbus fuertes corrientes de aire, turbulencia, regiones con temperaturas muy inferiores a la congelación, cristales de hielo y granizo. Mediante alguna interacción acerca de la cual no existe aún opinión unánime, dichos elementos son responsables de un proceso de separación de cargas, cuyo resultado es la acumulación de cargas positivas en la cima de la nube y de cargas negativas en la base de la misma.

A medida que las cargas negativas se van acumulando en la base de la nube, se inducen cargas positivas en la superficie terrestre por debajo de la nube; dichas cargas siguen a la nube en su desplazamiento horizontal como una sombra.



En dichas condiciones es posible que se produzca la descarga eléctrica a través del rayo. Durante una tormenta eléctrica es posible observar diferentes clases de rayos: muchos se propagan entre la nube y el suelo, algunos lo hacen entre dos nubes, o dentro de una misma nube. Para más detalles se deberá consultar el *Boletín informativo N° 7 "Rayos"*.

TORMENTA SEVERA – TORNADO

Por lo general el tornado se puede apreciar como una nube giratoria en forma de embudo o manga que se extiende desde la base de

una nube de tormenta hasta el suelo y que gira generalmente en sentido de las agujas del reloj. Va acompañado por lluvia intensa, relámpagos, rayos y en la mayoría de los casos granizo.

Es uno de los fenómenos meteorológicos más espectaculares, severos y destructivos, puede llegar a devastar completamente una comunidad por la acción combinada de la tremenda fuerza de viento giratorio que se origina, el cual puede llegar a alcanzar los 500 km/h y la diferencia de presión que se produce entre él y el entorno. Para más detalles ver *Boletines Informativos N° 5 y N° 18*.

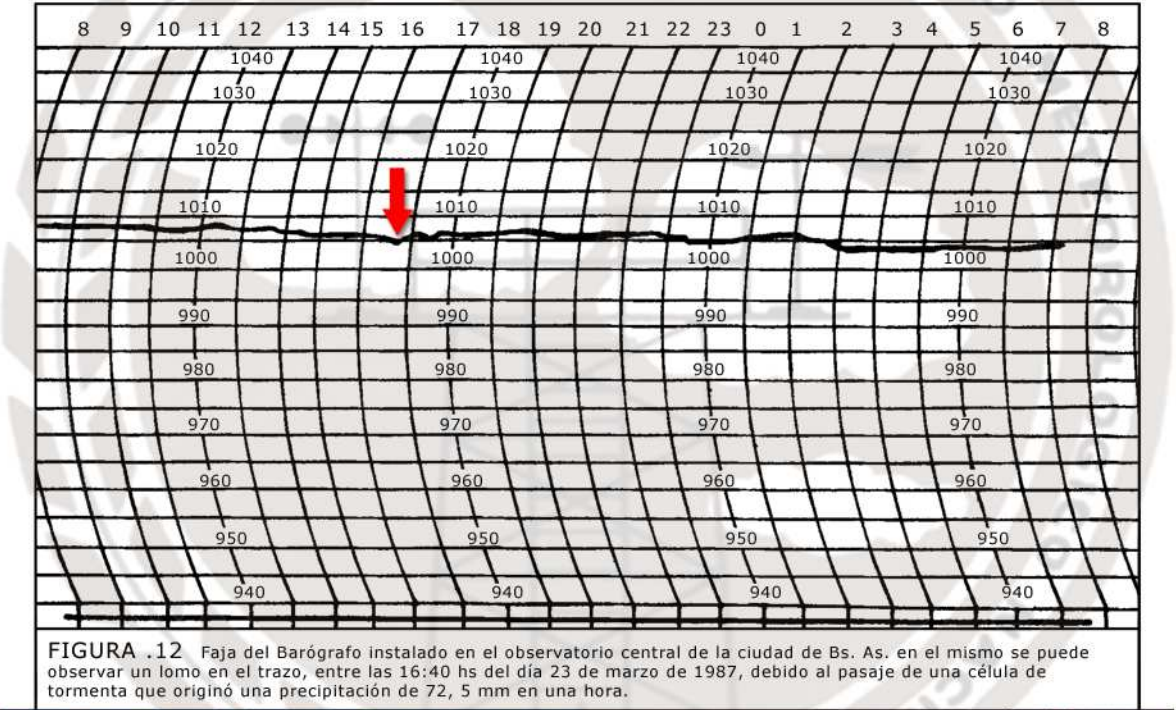




FIGURA .13A

Imagen obtenida desde el satélite meteorológico NOAA/9 (con una resolución de 4km en la banda del infrarrojo cercano), recibida el 30 de mayo de 1985, a las 18:30 UTC, en la Estación Receptora de Información Satelital en Alta Resolución (Estación HRPT), instalada en el Observatorio Central de Bs. As (Villa Ortúzar).

En el ángulo inferior de la misma se observa, en tonos oscuros, una parte del Océano Atlántico frente a las costas argentinas (Provincia de Bs. As, bahía de Samborombón y estuario del Río de la Plata), como también las costas de la República Oriental del Uruguay y del sur de Brasil (Lagunas de Merim y de los Patos). La parte continental se puede apreciar en diferentes tonos de gris. La Imagen muestra una extensa área de nubosidad convectiva (en tonos claros) sobre la región central de Argentina, y donde se destacan tres células muy activas de cúmulonimbos, las cuales produjeron intensas precipitaciones



FIGURA .13 B

Sectorización a resolución completa (1 km), de la imagen superior en la cual se puede apreciar en detalle, el área de nubosidad convectiva. En ella se distinguen claramente, las tres células, de cúmulonimbos, proyectando su sombra que presentan una longitud del orden de los 100 km, ocasionaron intensas precipitaciones que provocan inundaciones en la ciudad de Bs. As. y sus alrededores.