

ANEXO 1: ESTABILIDAD DE LA ATMÓSFERA

Se define estabilidad estática como la estabilidad de la atmósfera en equilibrio hidrostático con respecto a los desplazamientos verticales.

Asumiremos un modelo simplificado del comportamiento de la atmósfera, considerando que la temperatura de una burbuja cambia adiabáticamente cuando es desplazada verticalmente de su posición original. Si la burbuja de aire no está saturada su temperatura virtual¹ cambia según el gradiente adiabático seco, y si está saturada según el gradiente adiabático saturado.

También supondremos que esta burbuja no produce cambios en la atmósfera que la rodea, ni se ve afectada por ella; es decir, que no se mezcla con el aire del ambiente. Si después del desplazamiento la temperatura virtual de la burbuja es mayor que la del aire que se encuentra a su alrededor, una fuerza de flotabilidad positiva la acelerará hacia arriba, hasta que su temperatura se iguale con la del entorno. A la altura que alcanza la llamamos **nivel de equilibrio (NE)**. Más allá del nivel de equilibrio, la burbuja se encuentra a menor temperatura que el aire del entorno, y se ve frenada hasta quedar en reposo en algún lugar por encima de este nivel.

Si por el contrario su temperatura virtual es menor que la de la atmósfera, la fuerza de flotabilidad será negativa y tenderá a llevarla a su posición inicial o de equilibrio.

Definimos entonces tres situaciones:

- **Atmósfera estable:** decimos que la atmósfera que rodea a la burbuja de aire es estable cuando tiende a devolverla a su posición inicial. La masa de aire oscila en torno a su posición de equilibrio. Se cumple que la densidad del medio es menor que la densidad de la burbuja.
- **Atmósfera inestable:** la burbuja se aleja exponencialmente de su posición de equilibrio. La densidad del entorno es mayor que la de la burbuja.
- **Atmósfera en equilibrio neutro:** cuando una vez la burbuja se ha desplazado, tiene la misma densidad que el aire ambiente.

¹ Temperatura virtual: temperatura que tendría el aire seco (que contiene una cantidad despreciable de vapor de agua) para que tuviera la misma densidad que el aire húmedo saturado en las mismas condiciones de presión. Suele tener un valor próximo a la temperatura real del aire.

Proceso adiabático: procesos donde no se produce un intercambio de calor con el medio ambiente exterior. Los procesos de calentamiento y enfriamiento en la atmósfera por movimientos ascendentes o descendentes son adiabáticos.

1.1 CRITERIOS DE ESTABILIDAD

1. ESTABILIDAD ABSOLUTA

La masa de aire que estamos considerando es más frío que el aire del entorno, por lo que la parcela de aire tiende a su posición inicial. En este caso el gradiente de temperatura de la curva de estado Γ es menor que el gradiente de temperatura de la adiabática seca Γ_d .

$$\Gamma_d = - \left(\frac{dT}{dZ} \right)_{dry\ parcel} \quad (1)$$

2. INESTABILIDAD ABSOLUTA

La burbuja de aire está más caliente que el aire del entorno, por lo que tiende a subir y por ello en este caso $\Gamma > \Gamma_d$

3. ESTABILIDAD CONDICIONAL

Si el gradiente de temperatura de la curva de estado es mayor que el gradiente adiabático saturado, pero menor que el adiabático seco, la capa es condicionalmente inestable. Será inestable si se encuentra saturada y estable si no lo está.

1.2 BIBLIOGRAFÍA

- [1] MARTÍN, F., F. ELIZAGA, O. CARRETERO, I. SAN AMBROSIO, 2001a: *Diagnóstico y predicción de la convección profunda*. Nota Técnica STAP nº 35.

ANEXO 2: IDENTIFICACIÓN DE LA CONVECCIÓN. APLICACIÓN YRADAR

2.1 MÓDULO YRADAR 2D

El objetivo de esta aplicación es la identificación, caracterización, seguimiento y extrapolación de la convección a partir de los datos que suministran los radares meteorológicos operativos.

Se parte de los datos PPI o del CAPPI más bajo. A continuación, se hace un filtrado con la imagen de satélite en el canal IR, despreciando aquellas estructuras que posean temperaturas superiores a -10°C ; ya que en ese caso son considerados ecos no significativos. Existen limitaciones, ya que cuando hay cirros, nubes que se encuentran a gran altura y con temperaturas muy bajas, los de ecos de tierra que haya por debajo de ellos no son eliminados.

Para separar los píxeles convectivos o no convectivos se usa el **procedimiento de Steiner-Yuter-Houze** que utiliza 3 criterios sucesivos en el análisis de una imagen de reflectividad.

- Criterio de intensidad o convectivo
- Criterio de máximo local
- Criterio de cercanía

CRITERIO DE INTENSIDAD Ó CONVECTIVO

Aquellos píxeles con reflectividades superiores o iguales a 45 dBZ se consideran directamente convectivos.

CRITERIO DE MÁXIMO LOCAL

Sin embargo, para aquellos con $Z \in (40\text{ dBZ}, 45\text{ dBZ})$ aplicamos la siguiente condición empírica:

$$Z - Z_f > a \cos\left(\frac{1}{b} \frac{\pi Z_f}{2}\right) \quad (8)$$

Donde Z es la reflectividad del píxel, Z_f es el promedio de la reflectividad de fondo (reflectividad media en un cuadrado de $19 \times 19\text{ km}$ en torno al píxel); y a y b son dos constantes empíricas.

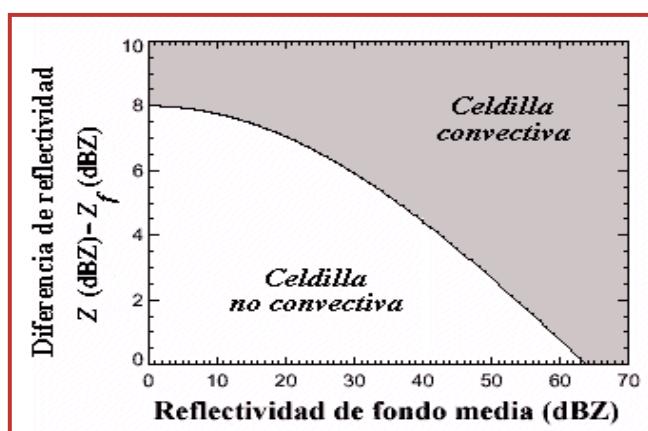


Imagen 1: Identificación de celdillas convectivas y no convectivas

CRITERIOS DE CERCANÍA

Una celdilla es marcada como convectiva si está cerca de una que ya ha sido marcada siguiendo alguno de los criterios anteriores. El radio de asignación o de influencia por cercanía varía según el valor de reflectividad media de fondo, asociado a cada píxel marcado previamente como convectivo. Se puede tomar uno de los tres rangos de valor pequeño, medio o grande. (En AEMET se está tomando el rango de valores intermedio).

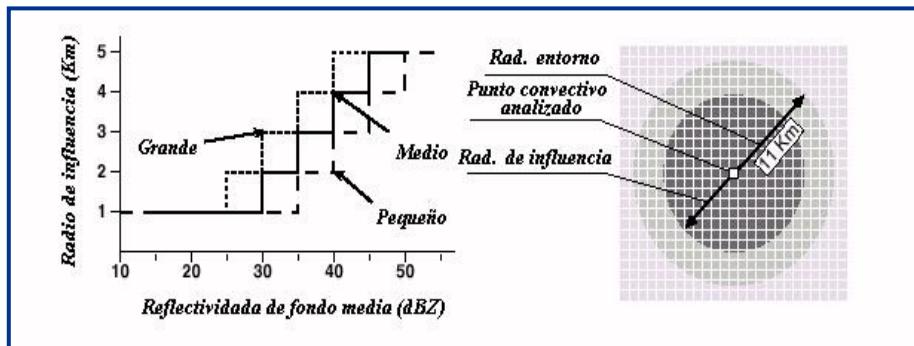


Imagen 2: Radios de influencia de células convectivas dependiente de la reflectividad del entorno. Criterio de cercanía.

1. CÉLULA Y OBJETO CONVECTIVO

La **célula convectiva** es una estructura compacta con valores de reflectividad que cumplen los criterios establecidos y presenta una continuidad espacial y temporal; mientras que el **objeto convectivo** es una simplificación de la misma. (Este último tiene un tamaño mínimo de 12 km^2). Este objeto se identifica por un punto principal, denominado **centroide**, calculado como su centro de masas; es decir, promediamos la posición de cada píxel de la célula teniendo en cuenta su latitud y su longitud, y ponderamos con los valores de reflectividad que posean. Despues calculamos el círculo equivalente, cuyo centro corresponde al centroide, y su área es la misma que el área de la célula. También podemos obtener el rectángulo equivalente, que es aquel en el que la célula queda inscrita.

De esta manera se tienen identificados los valores de reflectividad máxima, media, echotop y VIL en los píxeles de la célula.

2. SEGUIMIENTO Y EXTRAPOLACIÓN DE ESTRUCTURAS

Se ordenan los objetos convectivos por tamaño y reflectividad. A continuación el procedimiento comienza con una asignación entre los centroides en el instante de tiempo t y $t-10$ minutos, empezando por los objetos convectivos mayores. Consideramos radios de asignación de 6 km, 12 km y 18 km, y teniendo en cuenta el viento del entorno para comprobar que la dirección de desplazamiento es compatible con dicho viento. De esta forma podemos hacer extrapolaciones hasta de una hora en intervalos de 10 minutos.

Para obtener un análisis más exhaustivo, combinamos esta información con los datos de rayos, de forma que podremos tener una idea de la actividad eléctrica de las células. Asignamos a cada célula u objeto convectivo todos los rayos que se encuentran dentro del

círculo y rectángulo equivalente en el instante t y los que se encuentran en el intervalo de 10 minutos desde su posición anterior hasta la actual.

Para más información de este capítulo, véase referencias [1], [2], [3], [4] y [5].

2.2 MÓDULO YRADAR 3D

Una célula convectiva 3D es una estructura compacta tridimensional, con altos valores de reflectividad (> 30 dBZ y < 90 dBZ) en relación con su entorno. Las propiedades de cada célula se asignan a un centroide (objeto convectivo que en este caso tiene en cuenta el espesor), y queda identificado por su latitud, longitud y altura.

Con este procedimiento se analizan los 31 CAPPIs del Volumen Cartesiano de reflectividad. Cada uno de ellos con umbrales de reflectividad desde 30 dBZ a 60 dBZ, cada 5 dBZ. Esta aplicación trata de destacar áreas de convección profunda sobre áreas de precipitación estratiforme; y está basada en el algoritmo SCIT (“*Storm Cell Identification and Tracking*”), desarrollado por Johnson et al. (1998) [7].

Primero se identifican células en 2D en cada CAPPI, y se obtienen objetos convectivos en cada uno de los 31 CAPPIs. Una vez identificadas las células en 2D (se establece un umbral de tamaño con el que consideramos significativas las mayores de 24 km^2), se comprueba su continuidad vertical, de forma que se completa la identificación en 3D.

De esta manera nos quedamos con la parte más activa en cada nivel de la célula convectiva.

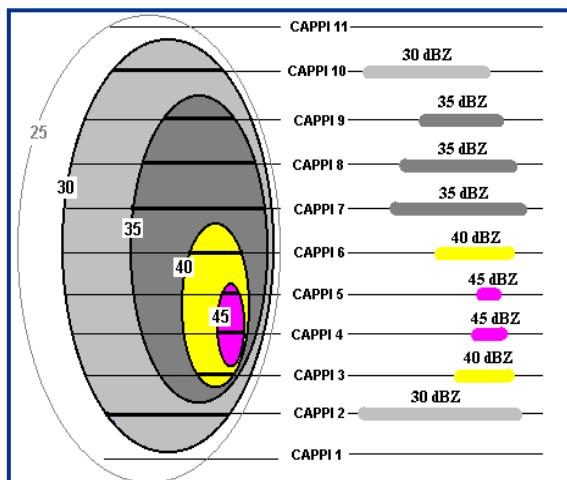


Imagen 2: Resultado en la vertical tras el análisis de células convectivas en 3D

IDENTIFICACIÓN: PROPIEDADES CELULARES

Las propiedades más importantes a destacar de una célula 3D son:

- La reflectividad máxima de cada célula.
- Altura a la que se encuentra esta reflectividad máxima.
- Altura de la base (primer CAPPI con reflectividad de 30 Dbz) y del tope (último CAPPI con una reflectividad de 30 dBZ) de la célula; así como su espesor.
- Altura de la base y de la cima de 45 dBZ.

- Echotop celular; es decir, altura desde el último CAPPI con centroide 2D, hasta el CAPPI más alto con una reflectividad de 12 dBZ.
- Latitud/Longitud del centroide 3D calculado a partir de los centroides 2D teniendo en cuenta su contenido acuoso.

También se calcula el VIL y la densidad de VIL (DVIL) de las células, que son productos que se van a usar para estimar la cantidad de agua líquida de las células y la probabilidad de granizo. Se pueden calcular de dos maneras; y posteriormente se considera el mayor de los dos valores:

$$DVILGRID [g/m^3] = 1000 \frac{VILgrid}{ECHOTOP} \quad (9) \quad DVILZMAX [g/m^3] = 1000 \frac{VILz_{máx}}{HTop-HBase} \quad (10)$$

El VIL se obtiene a partir de la siguiente expresión empírica:

$$VIL [Kg/m^2] = \sum_{i=1}^n 3.44 \cdot 10^{-6} (10^{Z_i[dBZ]/10})^{4/7} \cdot \Delta h_i \quad (11)$$

En la que Δh_i es el incremento de altura entre un CAPPI y el siguiente.

A continuación se hace un filtrado de células, de forma que se eliminan células 3D pequeñas si tienen menos de 4.0 km de espesor si además tienen menos de 1.0 g/m³ de DVIL; y células 3D pequeñas cuando están muy cerca de otras mayores (distancia inferior a 5.0 km, y una diferencia de espesores superior a 4.0 km).

SEGUIMIENTO O “TRACKING” DE LAS CÉLULAS

El procedimiento de seguimiento o tracking, trata de identificar en una secuencia de imágenes las sucesivas posiciones del centroide asociado a una misma célula 3D. Se utiliza un **Método de Tracking** basado en la creación de un **first guess** o “desplazamiento teórico” del movimiento previo de las células.

Las asignaciones se hacen entre las células actuales y las del “first guess” comenzando a buscar en radios de 2.5, 5, 7.5, 10 y 12.5 km las células del “first guess” de un VIL-celular mayor; y de esta forma su correspondiente asignación a las actuales. Se consigue así un método mucho más fiable que el de seguimiento en 2D, aunque siempre van a existir ciertas limitaciones.

A partir del seguimiento, se realiza una extrapolación de hasta una hora del movimiento futuro de las células que hemos identificado. Para ello tenemos en cuenta los movimientos y desplazamientos de la hora anterior y hacemos un ajuste a una recta por mínimos cuadrados a las posiciones anteriores. Si de alguna célula no ha sido posible hacer un seguimiento correcto, se extrae con el viento medio del modelo.

Para obtener más información véase referencias [2], [6] y [7]

2.3 BIBLIOGRAFÍA

- [1] MARTÍN F., 2001 b: *Identificación objetiva de estructuras convectivas a partir de los datos radar PPI/CAPPI bajo en McIDAS*. V Simposio Nacional de Predicción.
- [2] MARTÍN, F., O CARRETERO, I. SAN AMBROSIO, and F. ELIZAGA, 2002b: *Identificación and analysis of a supercell storm in the Mediterranean area from a radar-based perspective*. European Conference on Severe Storms
- [3] STEINER, M., R. A. HOUZE JR., and S. E. YUTER, 1995: *Climatological Characterizacion of three-dimensional storm structure from operational radar and rain gauge data*. J. Appl. Meteor., 34, 1978-2007
- [4] STEINER, M. and R. A. HOUZE JR., 1997: *Sensitivity of the estimated monthly convective rain fraction to the choice of Z-R relation*. J. Appl. Meteor., 36, 452-462
- [5] YUTER, S. E., and R. A. HOUZE, 1997: *Measurements of raindrop size distribution over the Pacific Warm Pool and implications for Z-R relations*. J. Appl. Meteor. 36, 847-867
- [6] CARRETERO O., 2001: *Procedimiento de identificación, seguimiento y extrapolación de células en 3 dimensiones*. V Simposio Nacional de Predicción.
- [7] JOHNSON, J. T., ET AL., 1998: *The Storm Cell Identification and Tracking (SCIT) algorithm: an enhanced WSR-88D algorithm*. Wea. Forecasting, 13, 263-276.

ANEXO 3: CÓDIGO IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS MESOESCALARES

En este anexo se adjuntará el código del programa que se ha desarrollado para la identificación y clasificación de las estructuras mesoescalares tanto ideales como híbridas:

```

void estructuras_ideales (double rmin, double rmax, double angcen, double angmax,
double angmin)

{
    //double Limr, Limang;
    //Limr=5.0; //Limang = 0.5;

    if((fabs(rmax-rmin)<=2.0))

    {
        printf("Hablamos de una estructura ideal: ");

        //mesociclon o anticiclon

        if (angmax>angcen)

        {
            printf(" en este caso un mesociclon\n");

        }

        else {printf (" en este caso un mesoanticiclon\n");}

        }

    else if(fabs(angmax-angmin) <= 1.0)

    {
        printf ("Hablamos de una estructura ideal: ");

        if (rmax<rmin)

        {
            printf(" en este caso convergencia \n" );

        }

        else{printf(" en este caso divergencia \n");}

    }

}

```

```
}

void estructuras_hibridas (double Rmin, double Rmax, double Angcen, double Angmax,
double Angmin)

{
    //double limr, limang;
    //limr =5.0; //limang =0.5;
    if(fabs(Rmax-Rmin)>2.0)

    {
        printf ("Estructura hibrida: ");

        if (Angmax>Angcen)

        {
            if (Rmax<Rmin)

            {
                printf (" mesociclonica convergente\n");
            }

            else{printf(" mesociclonica divergente\n");}
        }

        else
        {
            if (Rmax<Rmin)

            {
                printf("Estructura mesoanticiclonica convergente \n");
            }

            else{printf("Estructura mesoanticiclonica divergente \n");}
        }
    }

    int main()
```

```

{

double RMAX, ANGMAX, RMIN, ANGMIN, ANGCEN;

FILE *fp;

char dia[10];

double despreciable;

int estructuras, bas, numero;

int i;

fp = fopen ("zarmecuatro.txt", "r");

fscanf (fp, "%s %d %s %d %s %s %s %d %s ", dia, &bas,
dia, &bas, dia, dia, dia, dia, &estructuras, dia, dia);

for(i=0; i<estructuras;i++)

{

fscanf(fp,"%d %lf %lf %lf %lf %lf %lf %lf %lf %lf", &numero, &despreciable,
&despreciable, &despreciable, &despreciable, &RMAX, &ANGMAX, &RMIN, &ANGMIN,
&despreciable, &ANGCEN);

printf("%d    RMAX:%lf    ANGMAX:%lf    RMIN:%lf    ANGMIN:%lf    ANGCEN:%lf \n",
numero, RMAX, ANGMAX, RMIN, ANGMIN, ANGCEN);

estructuras_ideales (RMIN,RMAX,ANGCEN,ANGMAX,ANGMIN);

estructuras_hibridas(RMIN,RMAX,ANGCEN,ANGMAX,ANGMIN);

printf ("\n");

}

fclose(fp);

return 0;

}

```