

# **NOTICIAS Y COMENTARIOS**



# TIPIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL TIEMPO DURANTE EL PROYECTO CUBANO DE MODIFICACIÓN ARTIFICIAL DEL TIEMPO

Roberto Aroche Ramírez \*, Félix Gamboa Romero\*  
Luis M. Batista Tamayo \*\*

## RESUMEN

Durante el Proyecto Cubano de Modificación Artificial del Tiempo (PCMAT) (1985-90), en el Polígono Meteorológico de Camagüey (PMC) se obtuvo un volumen tal de información que ha permitido, aún en la actualidad, continuar extrayendo resultados que modestamente pensamos que puedan aportar algo nuevo al conocimiento del amplio campo de la meteorología tropical.

En el presente trabajo se brindan los fundamentos teóricos de una metodología de tipificación de las condiciones meteorológicas y su aplicación práctica en la determinación desde el punto de vista sinóptico de los días propicios para realizar Influencia activa en las nubes cúmulos tropicales, así como el momento adecuado para efectuar la siembra.

Se utilizan materiales tanto sinópticos como de radiolocalización obtenidos durante el desarrollo de los experimentos de física de las nubes.

*Palabras claves:* Tipificación, meteorología, Influencia activa.

## ABSTRACT

A great amount of information was obtained during the development of the Cuban Project «Weather Modification» (CPWM) (1985-1990) in the Meteorological Polygon in Camagüey (MPC). This information has made possible the enrichment of the bulk of results which might prove successful to widen the knowledge about tropical meteorology.

The theoretical paths of the methodology of typification on weather conditions and its practical application are also shown in this paper. Information about the most suitable days to carry out an active influence in the cumulus tropical clouds and on the seeding being carried out are also available in this work.

Synoptic and radiolocation materials which were obtained during the physical clouds experiments are used in this paper.

*Key words:* typification, meteorology, active Influence.

---

\* Centro Meteorológico de Camagüey.

\*\* Centro de Investigaciones de Ecosistemas Costeros. (CIEC). Cayo Coco.

## 1. Introducción

La circulación atmosférica influye sensiblemente sobre la formación, magnitud, distribución y variabilidad de la nubosidad y las precipitaciones. Para buscar posibles nexos físicos entre fenómenos atmosféricos que tienen lugar a escala regional y local; como por ejemplo; entre las nubes convectivas y sus precipitaciones derivadas, con las situaciones meteorológicas condicionantes, en el contexto de un experimento científico operativo como los desarrollados en el PMC, en un territorio cuya área no supera los 20.000 km<sup>2</sup>, donde es necesario tomar decisiones en lapsos de tiempo desde minutos a varias horas y buscar los posibles efectos de siembra de nubes en plazos similares, es necesario caracterizar las condiciones del tiempo a partir de parámetros o variables que ofrezcan un alto nivel de información sobre los procesos físicos de interés y que sean obtenidos en escalas espacio - temporales adecuadas. Esta necesidad ha sido expresada por otros investigadores, entre ellos Floy y Changnon (1955), Simpson (1979) y Howell (1953).

Utilizándose los más diversos métodos, se ha llegado a la conclusión de que en la zona tropical existe una gran interacción entre perturbaciones de escala sinóptica y los procesos a escala de una nube de desarrollo vertical. Por otra parte en los trópicos dicha interacción, desde el punto de vista energético tiene un aspecto diferente al concebido en las latitudes medias y altas; si en estas últimas la fuente de energía principal de los movimientos macroescalares lo constituye la reserva de energía potencial accesible como resultado de la baroclinicidad atmosférica en esas regiones, en la zona tropical, los papeles principales lo juegan el calor latente liberado en los procesos de condensación asociado a los movimientos convectivos y del calentamiento radiativo.

Reconocidos investigadores de las peculiaridades de la atmósfera tropical: Riehl (1954), Ortiz (1973), entre otros, se han referido, a que las perturbaciones del área no tienen una configuración definida en los mapas de superficie, con excepción de los ciclones tropicales debido, principalmente, a que los gradientes de presión son muy pequeños y en ocasiones, las variaciones inherentes a los cambios evolutivos de los sistemas béricos, se superponen o se enmascaran en los rangos de errores instrumentales de las mediciones, lo que dificulta el análisis de tales cambios, lo que ha contribuido a que en las bajas latitudes, el análisis basado en las cartas de flujo haya alcanzado mayor aceptación al basado en los mapas isobáricos. Sin embargo, Ortiz (1956) recomendaba no absolutizar, sino utilizar adecuadamente ambos tipos de mapas. Evidentemente, el nivel de información que logra el meteorólogo a partir de mapas de superficie es superior al que se alcanza con información del aire superior, que procede de una red de observaciones menos densa, particularmente, en los trópicos. En la actualidad, en correspondencia con las posibilidades que brindan los satélites meteorológicos de poder inferir el campo de viento en los niveles inferiores de la atmósfera, tal punto de vista sería discutible.

Por otra parte, la experiencia meteorológica en Cuba, aporta casos contradictorios, los cuales, de no apoyarse en el análisis del flujo, hubiesen quedado en la contusión y la incertidumbre. Por ejemplo, sobre el polígono se ha dado el caso en que situaciones de inestabilidad profunda en los niveles medios y superiores de la tropósfera, en función de la cual se hubiera augurado formación de nubosidad y abundantes precipitaciones, han sido neutralizadas por clara difluencia del flujo en los niveles bajos troposféricos, a la vez que, en ocasiones de subsidencia anticiclónica, en espera de cielo despejado, la confluencia de los sistemas de brisas de ambas costas han contribuido a la formación de nubes que han originado chubascos. Tales situaciones indican sobre la existencia de relaciones de interdependencia, entre el flujo a diferentes escalas y niveles de la tropósfera y la conversión o no

de una inestabilidad habitualmente condicional en la región del Atlántico tropical, en nubes y precipitaciones.

Para estudios en zonas tropicales se han empleado diversas tipificaciones, en Cuba en particular se conocen varias, pero unas y otras no satisfacen las exigencias planteadas en el campo de la lluvia provocada. El presente trabajo propone una metodología para la tipificación del tiempo meteorológico en tales condiciones. Mediante la aplicación de dicha metodología se caracterizaron todos los días experimentales y se pudieron diferenciar las condiciones más o menos propicias para la aparición de nubosidad factible para la siembra y además las peculiaridades de manifestarse los posibles efectos de siembra en dependencia de la situación meteorológica predominante.

En el presente trabajo se presentan los fundamentos teóricos de la señalada metodología y su utilización práctica en la determinación de días experimentales y dentro de tales días, en que momento efectuar la siembra. Todo sobre la base de un análisis de materiales sinópticos e información de radar, obtenidos durante los experimentos que constituyen la fase exploratoria del PCMAT y que son detalladas por Kondratova A. (1982), Batista L. (1989), Veliaev V. (1989) y Valdes M. (1992).

## **2. Sobre la metodología para la caracterización meteorológica**

En la actualidad, es de conocimiento general el hecho de que ninguna situación meteorológica se repite a plenitud y mucho menos aún, que existan fronteras perfectamente definidas, entre los sistemas atmosféricos que la determinan, en sus diversas formas de manifestación y complejidad tetradimensional. Sin embargo, después de aparecer los mapas sinópticos de superficie, los estudiosos del clima y el tiempo, se percataron de que los procesos atmosféricos tenían cierta sistematicidad, que tendían a agruparse. De modo que la práctica de confeccionar clasificaciones, patrones sinópticos con diversos fines, fue acogida por la comunidad científica.

Al abordar los problemas de la tipificación los investigadores, teniendo en cuenta la variabilidad natural de los procesos atmosféricos, así como la interacción entre sí y la transformación de unos en otros, han seleccionado diferentes variables sensibles a tales cambios; denominadas variables informativas. A partir de las citas de Barry (1979) que realizó un análisis exhaustivo sobre las clasificaciones precedentes: la presión, el viento y la temperatura. Así tenemos que Koppen (1874) investigó sobre la influencia de los flujos de aire en San Petersburgo, Van Bebber (1895) la persistencia de los distintos patrones de presión, etc. Unos partían de la morfología de los sistemas meteorológicos, atendiendo a su mayor o menor carácter vorticial, ondulatorio o lineal, otros a partir de la génesis de las fuentes de masas de aire, etc. Estas tipificaciones eran principalmente vinculadas a problemas macroescalares, con el objetivo principal de estudiar los procesos formadores del clima. Bayer en (1931-1943) estudió las masas de aire y sus efectos a escalas locales, estimulando a numerosos investigadores en muchas partes del mundo, a trabajar en la climatología dinámica.

### *2.1. Caracterización del flujo en los niveles troposféricos*

Se propone una metodología para la caracterización de las condiciones meteorológicas fundamentada en tres presupuestos principales:

- Las características principales de la atmósfera son transportadas de un lugar a otro por su movimiento, proceso durante el cual aquellas se conservan o se transforman;

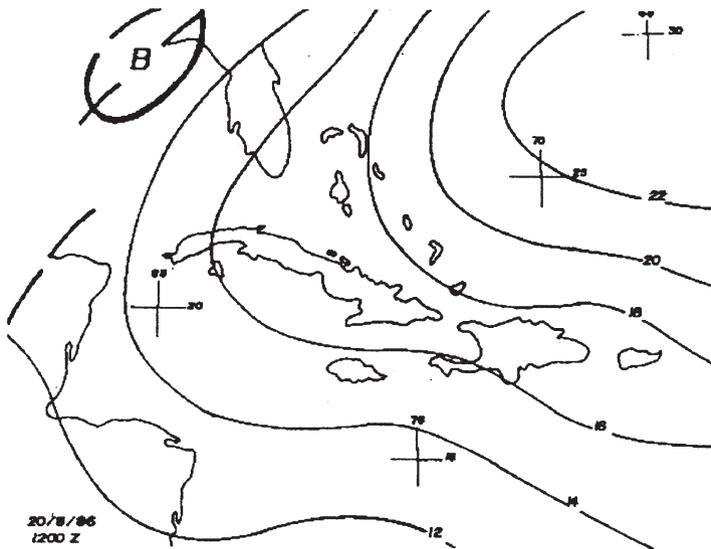


FIGURA 1. Configuración del flujo por la interacción de una cuña anticiclónica con el débil gradiente barométrico. (DCG)

de manera que el flujo atmosférico sería un elemento informativo, particularmente en el trópico.

- Las peculiaridades del flujo están dadas por la interacción multidimensionalmente compleja de los sistemas béricos y el influjo de las superficies, sobre las cuales tienen lugar.
- En una atmósfera, en lo habitual condicionalmente inestable, como la tropical, depende, en grado sumo, del aporte dinámico de la capa fronteriza planetaria.

La tipificación consiste en la determinación del Tipo de Situación del Flujo (TSF), para lo cual hay que realizar dos pasos: uno, la caracterización de la Configuración del Flujo (CF), en los niveles bajos de la tropósfera en un área de 5 por 5 grados de latitud, centrada en el punto deseado, en nuestro caso en el PMC, y dos, la determinación de los sistemas que interactúan y condicionan, formando una combinación específica, la configuración del flujo (vid. figura 1). La Combinación de Sistemas Condicionantes (CSC), se precisan en un área de 35 por 25 grados longitudinales y meridionales, respectivamente, (igualmente centrada).

En la determinación del TSF va implícita la consideración de que un área como del PMC y en una zona como en la que está ubicada Cuba, de cambios alternativos de Influencias oceánicas, continentales, del Golfo, etc., tropicales y extratropicales, las condiciones meteorológicas, generalmente son determinadas por la interacción de dos o más sistemas béricos. Para lograr una orientación geográfica sobre la ubicación de tales sistemas se convenió, primero presentar el más occidental y luego el más oriental con respecto al PMC.

Con tales consideraciones se concluya que la tipificación puede ser representada con una simbología general XYZ donde:

X- Indica la Configuración representativa del Flujo (CF), en la capa superficie - 700 hPa y que puede ser: confluyente (C), difluente (D), extendido o cuasi paralelo (E) e

indeterminado o indefinido (I). Los mapas básicos a utilizar son los de flujo de 1000 hPa, 850 hPa y 700 hPa, de las 1200 z, de los cuales el mayor peso en la clasificación se le confiere al flujo de la superficie isobárica de 850 hPa.

YZ- Indican la Combinación de Sistemas que, mediante su interacción condicionan a X, (CSC). La posición relativa entre ellos es: Y, más al oeste y Z más al este respecto al PMC. Los mapas básicos a utilizar son los de superficie de las 0600 z, 1200 z y 1800 z, donde el peso en la determinación del sistema aumenta en el tiempo.

Es necesario señalar que ambas informaciones, sobre el campo de presión y el de las líneas de flujo se utilizan complementándose mutuamente, para la mayor determinación tanto de X como de Y,Z en una concepción tridimensional de las condiciones y de interdependencia de los campos meteorológicos.

Los sistemas atmosféricos, de los niveles bajos troposféricos, que con mayor frecuencia Onda tropical, con movimiento al este determinan la configuración del flujo en Cuba durante la estación de verano son:

C- Cuña anticiclónica, principalmente con extensión isobárica del Anticiclón Oceánico.

S- Anticiclón Oceánico secundario o de las Bermudas. G-Débil gradiente barométrico.

X- Anticiclón Mexicano. M-Anticiclón migratorio. A- Anticiclón de las Azores. B-Sistema de bajas presiones. H- Ciclones tropicales. Z- Zona intertropical de convergencia.

## 2.2. Sobre la información de radiolocalización

Se utilizó la información obtenida por un radar convencional de S y X bandas, con un procesador Integrador Digital de Vídeo que genera celdas de información de 1 km por 1.4° que permitió monitorear los campos de nubosidad y precipitaciones cada cinco minutos en un área de 80 km de radio, centrada en el lugar de ubicación del PMC. Obteniéndose de aquí mapas o cartas cifradas a través de caracteres alfanuméricos, en áreas de 2 km<sup>2</sup>. Estas proyecciones horizontales CAPPI se obtienen desde la superficie hasta 13 km de altura con un espesor de 1 km. El primer nivel (0 - 1 km.) representa el campo de precipitación.

Para caracterizar el campo de radioecos de precipitación y su relación con la situación meteorológica, se calculó el índice de cobertura de radioecos (Woodley y Sax, 1976), definido por:

$$IC = \frac{\text{Área de radioecos para un nivel CAPPI}}{\text{Área total de observación del radar}} 100\%$$

Literalmente, se trata del porcentaje de área del polígono cubierto por radioecos de precipitación.

## 3. Análisis de los periodos experimentales

Las condiciones meteorológicas de este periodo sobre el PMC y prácticamente sobre todo el territorio nacional, fueron adversas a la formación de nubes convectivas profundas y a las precipitaciones en general. Estos años resultaron ser los menos lluviosos durante los últimos 40 años para el país, en el área del PMC sólo precipitó el 68% del total histórico anual, considerándose el periodo como de sequía intensa.

Se clasificaron los días experimentales, se obtuvo la frecuencia de aparición de las configuraciones de flujo, así como los sistemas condicionantes. La relación configuración - sistema presentó las siguientes regularidades: las ondas tropicales (O) propician predominante condiciones de confluencia, la cuña anticiclónica (C) las de difluencia, el débil

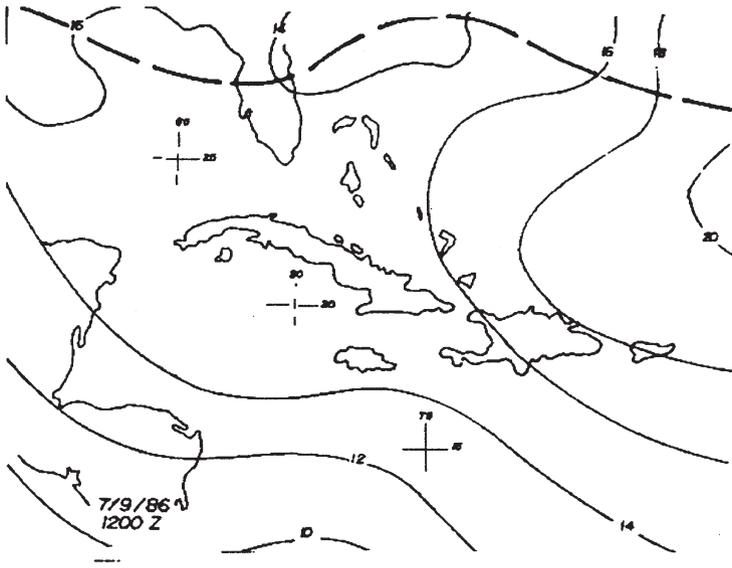


FIGURA 2. Flujo indeterminado por débil gradiente barométrico y una cuña anticiclónica (IGO).

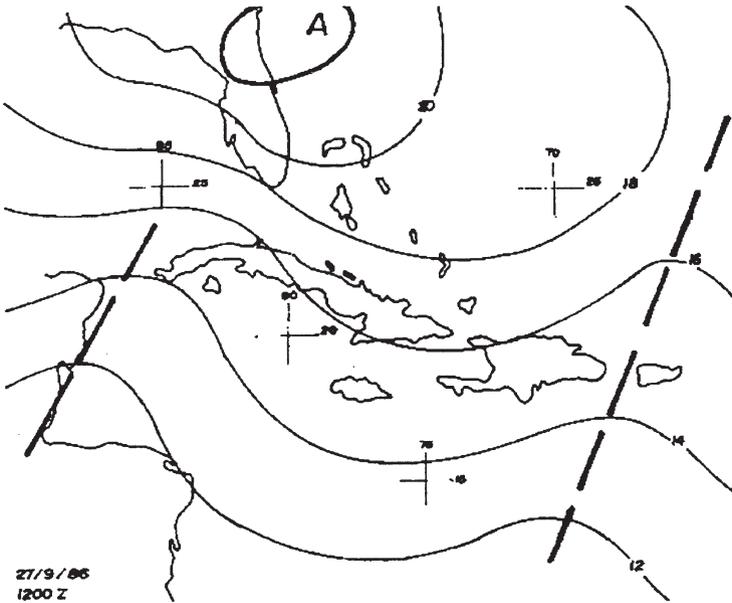


FIGURA 3. Confluencia del flujo por interacción de una onda tropical y un anticiclón secundario (COS).

gradiente barométrico (G) la de indeterminado y el anticiclón del Atlántico (A) la de extendido. De modo que las ondas fueron el sistema bórico que con mayor frecuencia determinaron el TSF y las condiciones del tiempo en el PMC en esos años, siendo típicas las combinaciones: COS, IGO y ECA (vid. figuras 2, 3 y 4).

Lo anteriormente expuesto es sumamente importante, puesto que si consideramos con igual probabilidad de ocurrencia a los diez sistemas condicionantes e indiferentemente de la posición que ocupasen respecto al polígono y la configuración del flujo, entonces, el número de casos, no sólo durante un experimento, sino a lo largo de un año, sería muy bajo, lo que limitaría la consistencia del análisis.

### 3.1. Eficiencia de las condiciones meteorológicas para generar nubes aisladas aptas para Influencia activa

Para cada día experimental se efectuó un estudio sobre los recursos de nubes aisladas (Na) a partir de la información obtenido del rádar y de aquellas, las que satisficieron los criterios de sembrabilidad (Ns).

Para cada una de las cuatro configuraciones de flujo (X) y para cada uno de los doce TSF se calcularon los totales de Na (Toa) y de Ns (TNs) correspondientes.

Si consideramos a la fracción (TNs/ TNa) como un indicador de la eficiencia de X o TSF para generar nubes sembrables, entonces, de acuerdo con los resultados de tales cálculos que se muestran en las **Tablas 1 y 2**, las configuraciones del flujo C y D estuvieron prácticamente iguales, presentando I la mayor eficiencia con un 41 % ya que por días D genera el menor número de Ns (10 unidades) e I el mayor, 19 unidades, aunque cuando el análisis se refiere al total de nubes sembrables en el experimento ENs, entonces el mayor aporte de tales nubes los hacen las primeras por la alta frecuencia con que se presentan.

Tabla 1

*FRECUENCIA DE NUBES AISLADAS (Na) Y APTAS PARA LA SIEMBRA (Ns) SEGÚN LA CONFIGURACIÓN DE FLUJO EN EL PMC DURANTE 1986*

<b>Tipos de Nubes</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>I</b>	<b>Total</b>
Na	683	671	94	252	1700
Ns	164	150	26	97	437
TNs/Tna	24	22	28	41	21
TNs/Ens	40	34	6	20	100

En la **Tabla 2**: Se presentan magnitudes que permiten hacer un análisis similar al anterior, pero con relación a los TSP, de las mismas puede calcularse el por ciento de nubes aisladas que ellos generan, así se obtiene que, prácticamente el 90% de las Na y el 81% de las Ns son generadas por los siete últimos TSP, en los que se hace latente la presencia de los híbridos del sistema bórico O con los S, C y G.

El mayor aporte, tanto a las Na como a las Ns, corresponde al TSF denominado COS, el cual ocurrió con la mayor frecuencia, sin embargo la mayor eficiencia en la generación de Ns está asociado a los tipos IGC, DOC o IGO, con un 51%, 42% y 36% respectivamente de eficiencia a los híbridos del débil gradiente con la cuña o la onda.

Tabla 2  
 FRECUENCIA DE LAS NUBES AISLADAS  $N_a$  Y APTAS PARA SIEMBRA  $N_s$  SEGÚN  
 EL TIPO DE SITUACIÓN DE FLUJO TSP EN EL PMC DURANTE 1986

TSF	TIPO DE NUBE		frecuencia
	$N_a$	$N_s$	
ECS	14	1	3
CMO	22	7	3
IGC	35	18	3
DGC	78	33	8
EDA	80	25	3
CSO	101	28	6
DCO	112	36	11
COC	144	39	8
IGO	217	79	11
DOC	223	43	14
DOS	258	38	8
COS	466	90	22

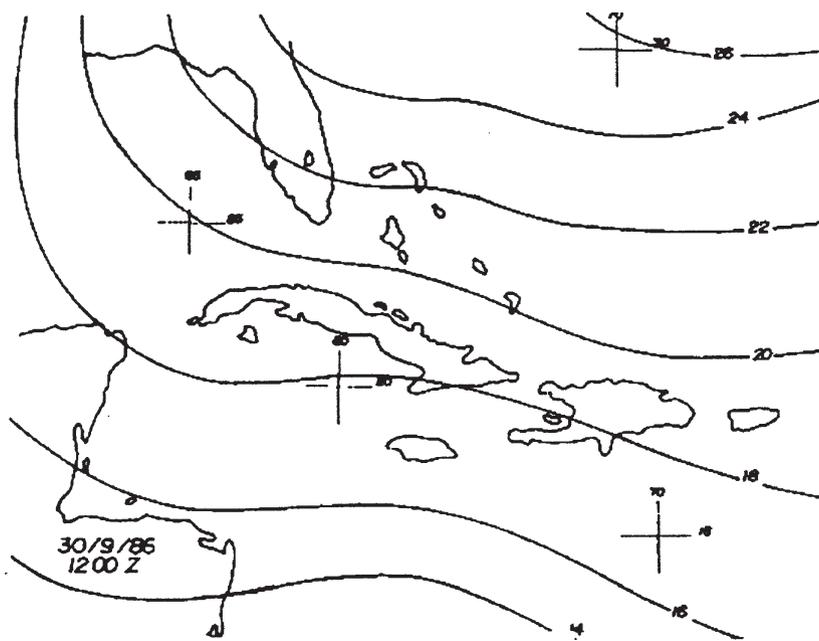


FIGURA 4. Flujo extendido por una cuña y el anticiclón del Atlántico (EC4).

Si calculamos el aporte de Ns promedio para COS e IGO por cada día de ocurrencia, obtenemos que sería de 4,1 y 7,2 unidades respectivamente. Por lo tanto, si tuvieramos que acumular un número dado de unidades experimentales para garantizar una confiabilidad estadística señalada, se necesitaría, aproximadamente, la misma duración del experimento, en base a la decisión de tomar un tipo u otro de situación del flujo para su realización, ya que los mismos presentan una relación inversa en la frecuencia de ocurrencia de similar magnitud a la de su eficiencia —de 22 para el COS y de 11 para el IGO—.

### 3.2. Variaciones temporales de IC en diferentes condiciones meteorológicas

El predominio de configuraciones del flujo de los tipos C e I, (que llega a ser del 84%), durante el periodo de Junio a Septiembre hizo que la mayoría de los días que fueron seleccionados como experimentales, estuvieron bajo tales condiciones, sobre todo en el caso de I. De modo que resulta de gran interés conocer cuál fue el comportamiento de IC (Tabla 3).

Tabla 3  
VALORES MEDIOS DE IC<sub>x</sub> SEGÚN LA CONFIGURACIÓN DEL FLUJO C e I

Conf. de flujo	IC <sub>x</sub>	Desv
C	23.5	17.1
I	18.3	16.7

Los valores medios de IC<sub>x</sub>, para los tipos C e I, independientemente, de los sistemas béricos, reflejan como para cualquier mes, en los días con confluencia, existe una mayor área de precipitación que en aquellos días con flujo indeterminado. Esta diferencia es mas significativa si consideramos los sistemas béricos asociados, sobre todo cuando es confluencia relacionada con ondas tropicales, pero en esos días de mayor IC<sub>x</sub>, las operaciones experimentales por lo regular fueron canceladas por exceso de nubosidad natural.

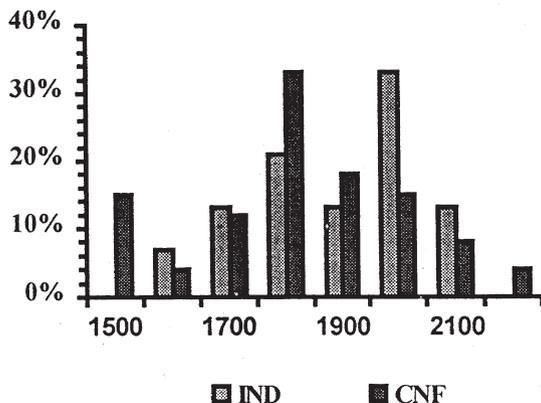


FIGURA 5  
Variación temporal de IC<sub>x</sub> según la configuración del flujo.

Los valores modales de ICx para el flujo C está entre valores de 10 - 20 %, mientras que con I tienen índices menores del 10% del área cubierta por precipitaciones. Esta diferencia se mantiene para todos los meses, pero es más evidente en los meses de Julio y Agosto.

La diferencia señalada se extiende, incluso, a las peculiaridades del momento de aparición de ICx para ambos tipos de flujo. En el flujo C, la distribución de ICx en el tiempo presenta una gran dispersión, como puede observarse en la (vid. **figura 5**), sin embargo en la de I aparece una mayor probabilidad de ocurrencia de ICx en el intervalo de 19:00 a 20:00 hora local. Este comportamiento diferenciado refleja la fuerte dependencia del momento de aparición de ICx de la hora de acercamiento de la onda al polígono, para el primer caso, mientras que para el segundo lo que aparece es la marcada Influencia del calentamiento diurno, a través de las circulaciones locales, favorecidas por I, especialmente del sistema binario de brisas cuando aquel está asociado a un débil gradiente barométrico. En tales circunstancias deben predominar los patrones convectivos típicos de la región, lo que permitiría un mejor estudio de la nubosidad y su relación con las particularidades meteorológicas y físico-geográficas del polígono.

### 3.3. Variación temporal de los radioecos en condiciones del flujo indeterminado

En la **Tabla 4** se presenta los días del periodo experimental de 1987 donde predominó la Influencia del flujo I, condicionado por débiles gradientes barométricos y ligera afectación de ondas tropicales.

Al evaluarse las variaciones del índice IC respecto al ICx se observa que los días de la muestra IGO pueden dividirse en dos subgrupos: el primero IGO<sub>1</sub> muestra la existencia de otro máximo de IC secundario y que generalmente aparece de una a tres horas antes de la ocurrencia del máximo principal, el segundo IGO<sub>2</sub> presenta un sólo máximo de IC.

Para conocer la diferencia entre los subgrupos señalados analizamos el comportamiento de ICx con respecto a su tiempo de aparición, aquí se observó una gran dispersión, de manera que IC aumenta su valor casi exponencialmente a medida que el valor máximo de IC ocurre en horas avanzadas del día, si se conectan con una línea cada uno de los puntos

Tabla 4  
VALORES DE ICx DURANTE EL PERIODO EXPERIMENTAL DE 1987 EN LOS DÍAS  
CON TSF IGO

N°	Fecha	hora	ICx
1	14/07	17:25	2.08
2	16/07	20:00	58.00
3	24/07	20:00	24.86
4	31/07	19:10	9.55
5	1/08	15:15	11.22
6	5/08	19:40	39.92
7	9/08	16:30	13.99
8	4/09	20:15	16.26
9	5/09	19:40	59.67
10	8/09	18:30	19.32
11	9/09	17:55	5.05

de ICx con el instante cuando aparecen los primeros radioecos de cada día respectivamente, aparece una relación inversa, la cual nos indica que la hora de surgimiento del primer radioeco de precipitación es un buen indicador del comportamiento de la cobertura nubosa en el resto del día mientras más temprano aparezcan los radioecos, mayor es la probabilidad de que la nubosidad, influenciada por los diferentes procesos mesoescalares, persista y se regenere durante un largo periodo de tiempo, de cinco a nueve horas o más.

En este sentido es útil conocer como varían en el tiempo las distribuciones de los radioecos por el tamaño de sus áreas (km<sup>2</sup>). En el análisis se observó que cuatro horas antes de alcanzarse el máximo predominan áreas menores de 100 km<sup>2</sup> (menos de 6 km de diámetro), siendo precisamente en esos momentos cuando se hicieron los trabajos experimentales, pues abundan nubes con alturas entre 6 y 10 km.

Posteriormente, a medida que se va acercando al máximo comienzan paulatinamente a aparecer áreas mayores, de manera que una hora antes queda solamente un área extensa de dimensiones superiores a los 5.000 km<sup>2</sup> dominando todo el polígono. Este resultado revela la presencia del proceso de unión de nubes como causa fundamental de un espectro de radioecos de áreas pequeñas a otros donde se nota la ausencia de radioecos con áreas intermedias de 400 a 3.200 km<sup>2</sup>.

Los espectros de los días del sub-grupo IGO<sub>2</sub> presentan otra estructura más simple de evolución de las áreas, donde el cambio en la distribución en Smax no se diferencian mucho en los espectros en dos a cuatro horas antes, sin la aparición de grandes áreas, lo que pudiera significar la débil acción en estos días del proceso de unión.

Las diferencias en las variaciones temporales en los espectros de áreas de estos dos grupos pudieran ser utilizadas como referencia para conocer en un instante dado, además de la hora de surgimiento del primer eco, las probabilidades que tiene la nubosidad del día bajo la influencia del flujo (IGO) de producir una gran nubosidad y por tanto precipitación.

#### **4. Conclusiones**

El estudio presentado sobre la base de la utilización de la información sinóptica en el contexto del PCMAT, ha hecho posible esclarecer los aspectos teóricos que fundamentan la propuesta de una caracterización a partir de una tipificación de la situación del flujo de los niveles bajos troposféricos, así como la evaluación de la aplicabilidad de dicha tipificación mediante la diferenciación de condiciones, empleando un indicador de la capacidad de dichas condiciones para generar nubes convectivas aisladas, aptas para ser tratadas artificialmente con yoduro de plata; a partir de un análisis de recurso nuboso. Además se verifica la utilidad de dicha tipificación en el análisis de la variación temporal de índice de cobertura por radioecos de precipitación. De dichos análisis se derivan las siguientes conclusiones:

Esta tipificación permite teóricamente que tengan lugar alrededor de 360 combinaciones XYZ, es decir de tipos de situaciones de flujo, sin embargo en un lugar y época, sólo un número muy limitado de TSF explican con bastante exactitud la gran variabilidad del tiempo meteorológico. En el caso que nos ocupa con 12 TSF se caracterizaron los días experimentales de varios años, hecho razonable. La mayor eficiencia en la generación de nubes aisladas aptas para la siembra artificial (Ns) se corresponde a la configuración de flujo indeterminado (I), con un 41%, sin embargo el mayor aporte de Ns al total de ellas para todo el experimento (ENs) lo hace C. Cuando en este análisis se tienen en cuenta los sistemas condicionantes, entonces COS es quien aporta el mayor número de Na y de Ns, TSF que ocurrió con mayor frecuencia, pero la mayor eficiencia generativa es de los tipos

IGC, DGC e IGO, es decir, de los híbridos del débil gradiente barométrico, siendo las mismas del 51%, 42% y 36% respectivamente, aunque IGO sobresale entre ellos por su aporte al ENs y mayor frecuencia de ocurrencia.

Si consideramos el aporte promedio diario del TSF, COS e IGO, que es de 11,3 y 19,8 unidades, respectivamente, así como la frecuencia de ocurrencia, los dos tipos exigirían aproximadamente, la misma duración del experimento para la obtención de muestra suficiente para alcanzar un nivel de confiabilidad dado en las conclusiones, aspecto que requeriría una conciliación entre los recursos nubosos disponibles y las posibilidades tecnológicas, principalmente la del recurso avión de siembra.

Por otra parte, los valores medios mensuales de ICx son superiores en caso de confluencia de flujo al de indeterminado, especialmente cuando es condicionada por ondas tropicales, donde en ocasiones por exceso de perturbaciones naturales, se suprimieron los vuelos experimentales. Los valores modales de ICx en el caso de C oscilan entre 10 y 20% y en el de I menor que el 10%.

Las diferencias entre C e I, de acuerdo al momento en que aparece ICx tiene una mayor dispersión, poniendo de relieve la dependencia de la hora de irrupción del sistema condicionante viajero y oscilante, en I hay una mayor probabilidad de que ICx tenga lugar entre las 19:00 y las 20:00 horas local, ilustrando el marcado y estable Influjo que ejercen las particularidades locales, tanto el calentamiento diurno como la organización e interacción de los sistemas atmosféricos mesoescalares, en particular del sistema binario de brisas, favorecido por las condiciones del débil gradiente barométrico, incluso dentro del mismo tipo de IGO se pone de manifiesto una diferenciación en la variación temporal de ICx, apareciendo dos posibles sub-grupos IGO<sub>1</sub> e IGO<sub>2</sub>, en el primero sólo tienen lugar la aparición de ICx, para el cual en un intervalo de unas cuatro horas no se produce un reacondamamiento del espectro de dimensiones de los radioecos, lo que si ocurre en IGO<sub>2</sub> donde en el curso diario IC presenta dos máximos, uno principal y uno secundario, entre los cuales aparece un gap, evidenciando la presencia de un proceso de regeneración y redistribución de escala, en el que suponemos que juega un papel determinante la interacción de las brisas de ambas costas originándose una zona de convergencia.

## 5. Bibliografía

1. BARRY R. Y PERRY A. H. (1979). *Synoptic Climatology. Methods and applications*. Ed. Methven Co. Ltd. London pp. 92-175.
2. BATISTA L. Et. al. (1989). Resultados de la estimación de los recursos nubosos para el control de las precipitaciones en el PMC. *III Simposio Internacional de Meteorología Tropical*. Leningrado. Pp. 345-351.
3. BELIAEV V. Et. al. (1989). Evaluación preliminar de las posibilidades de regulación artificial de las precipitaciones en el PMC. *III Simposio Internacional de Meteorología Tropical*. Leningrado. Pp. 339-344.
4. FLOYD A. Et. al. (1955). A stadistical meteorological evatuation of two Operational Seeding Proyect. *Journal of Climate and Applied Meteorology*. Vol. 24. No. 5.
5. HOWELL W. E. (1953). Un estudio de las precipitaciones en la parte central de Cuba. *Journal of Meteorology*. Vol. 10. No. 4. Pp. 270-278.
6. KONDRATOVA A. ET. al. (1982). *Estudio de las características sinóptico climatológicas y variabilidad espacio - temporal de las precipitaciones en el PMC*. Informe Técnico. Dpto. de Influencia Activa. Instituto de Meteorología de Cuba. 90 pp. (inédito).
7. ORTIZ R. (1956). Breve estudio de los mapas del tiempo. *Revista cubana de meteorología de la ACAM*. La Habana. Julio de 1956. Pp. 18-35.
8. —(1973). Conferencia sobre la construcción de líneas de flujo. (comunicación persona).
9. RIELH H. (1954). *Tropical Meteorology*. Mc Graw Hill Book Co.

10. VALDES M. ET. al. (1992). Aumento artificial de las precipitaciones por siembra de nubes convectivas en el trópico. *LA METEOROLOGÍA en el Mundo Iberoamericano*. Oct.-Dic. 1992. No. 10. Pp. 14-18.
11. VAN BEBBER. (1895). Citado por Barry R. 1979.
12. WOODLEY R. Et. al. (1982). Rainfalls Results of the Florida Area Cumulus Experiment (FACE). 1976-1979. *J. App. Meteor.* 21: pp. 139-164.

