

## Imágenes satelitales en la predicción de eventos esporádicos de escala sinóptica: Antecedentes del huracán César como un evento sinóptico.

ANTONIO BANICHEVICH<sup>1</sup> Y VILMA CASTRO

LIAP, Escuela de Física, Universidad de Costa Rica.

(Recibido 5 de julio de 1999, aceptado 15 de octubre de 1999)

### ABSTRACT

It is shown the kind of information that meteorological satellite images can give, particularly for the case of geostationary satellite GOES-8 for the event of hurricane Cesar.

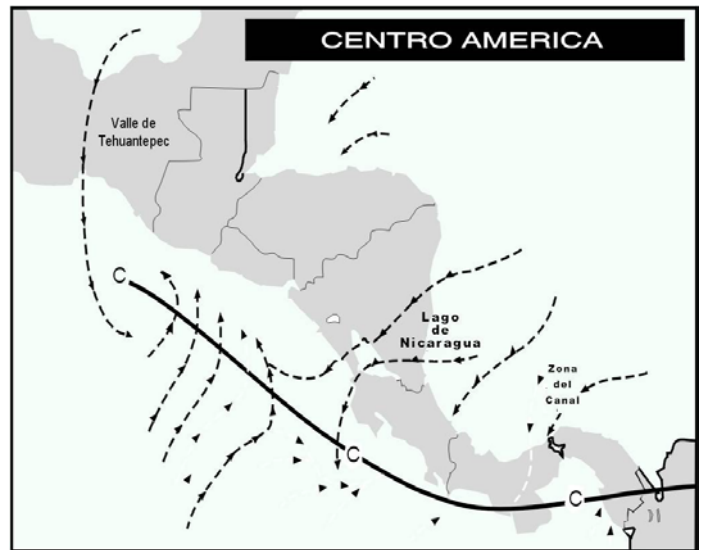
### 1. Introducción

La orientación noroeste-sureste del subcontinente centroamericano, definido aquí desde el Istmo de Tehuantepec (México, 16°N) hasta el Tapón de Darién (Panamá, 8°N), tiene un enorme efecto sobre el sistema de circulación general de vientos en niveles bajos. Aquí, los contornos montañosos no son simplemente barreras, sino más bien de modificadores de los flujos eólicos, siendo: 1) el Valle de Tehuantepec, en México, 2) la región colindante a los lagos de Nicaragua y de Managua, en Nicaragua, y 3) la Zona del Canal, en Panamá, túneles naturales por donde el viento fluye a través de Centroamérica (Fig. 1).

Estos tres pasos tienen importantes implicaciones para la región pacífica. Como el flujo eólico es fuertemente friccionado por las laderas de estos pasos, ocurre una desaceleración y una deflexión de la trayectoria del mismo (la deflexión a su vez posibilita la generación de vorticidad en la zona pacífica); el resultado neto de ambos efectos es:

la formación de regiones ciclónicas y anticiclónicas (con rotación del viento contra y a favor de las manecillas del reloj, respectivamente; Fig. 1).

la aparición en la superficie oceánica de regiones de afloramiento marino ricas en nutrientes, ubicadas en los golfos de Tehuantepec, Papagayo, y Panamá (Guzmán y Cortés 1993); específicamente, en las regiones donde se da una alta fricción entre estos flujos y la superficie oceánica.



**Figura 1.** Representación esquemática de los pasos de vientos que se dan en superficie sin ser perturbados fuertemente por la orografía. Además se presentan las posibles regiones donde se localizan los afloramientos costeros en la región oriental del Pacífico (Adaptado de Guard 1986).

La actividad e intensidad con que fluyen los vientos a través de estos pasos, depende de una gran variedad de factores, entre ellos: a) el ciclo solar anual, b) la posición de la

<sup>1</sup> Corresponding author address: Dr. Antonio Banichevich

Escuela de Física, Universidad de Costa Rica

2060 San José Costa Rica

Email: vcastro@meteo.imn.ac.cr

“zona de convergencia inter-tropical” (ZCIT), c) la temperatura superficial del océano (DMA 1994a,b) y su estado sinóptico (ENOS cálido: El Niño; ENOS frío: La Niña; Kenn 1982, Stolz 1995), d) el tipo y cantidad de nubosidad, etc.

Pero mientras los túneles naturales de Tehuantepec y de Panamá tienen una orientación norte-sur, el túnel de Nicaragua tiene una orientación este-oeste, con un ángulo de inclinación de 25° con respecto a la latitud geográfica. De allí que la orientación de este último es importante para un tipo de evento esporádico que se da entre ambas cuencas oceánicas: el tránsito de ciclones tropicales.

En los pasos de Nicaragua y Tehuantepec, se da una regular incidencia de estos eventos ya sea que se hayan generado en la cuenca aleadaña al continente, o que provengan de otras regiones más hacia el este (Lizano y Fernández 1996), y se han observado interconexiones, desde 1949, entre ambas cuencas y huracanes que han traspasando el istmo en ambas direcciones (Banichevich y Lizano 1998). Es importante notar que los ciclones tropicales cambian sus características conforme atraviesan el paso (Banichevich y Lizano 1998).

Los ciclones pueden llegar a evolucionar hasta la categoría de huracán y alcanzar velocidades tangenciales de viento sostenido (o sea, de velocidades de circunvalación del núcleo) que superan los 200 km/h. Diferentes estudios demuestran que el aumento en la concentración del CO<sub>2</sub>, con el implícito aumento en la temperatura del medio troposférico e hidrosférico-tropical, tiene como consecuencia un aumento en el número e intensidad de los huracanes, estos últimos como fase madura de los ciclones tropicales (Trenberth 1991, Kodera y Chiba 1995, Knutson *et al.* 1998).

El carácter ambivalente de estos eventos para diferentes sistemas dinámicos: para los ecosistemas como "devastador/regenerador" (Woodley *et al.* 1981, Kjerfve *et al.* 1983 y 1986, Vandermeer *et al.* 1990, Lizano *et al.* 1993), para el medio atmosférico -en general- como "distribuidor/homogenizador" (Wang y Crutzen 1995a, Wang *et al.* 1995b), y para la coalescencia de nubosidad -en particular- como "localizador/dispersador" (Grandoso 1976, Hastenrath 1991, Lawrence *et al.* 1998), convierten estos eventos en interesantes objetos de estudio.

## 2. Imágenes satelitales en el diagnóstico del desarrollo de un ciclón tropical

Con imágenes de satélite es posible, en función de las propiedades gráficas que brinda la nubosidad superior, evaluar en un plano bidimensional la fase evolutiva e intensidad de un evento tridimensional (Fig. 2). Aquí, parámetros a lo largo de las tres coordenadas espaciales, como la presión, la temperatura, el calor latente, tipo de nubosidad, etc. son evaluados, a nivel de imágenes, en función de criterios de estructura “gruesa-fina”, porosidad, simetría, claridad de los contornos, etc. Para el caso de las depresiones tropicales que ya han alcanzado una circulación ciclónica definida, se describen a

continuación las características principales que se pueden observar en las imágenes de satélite (Asnani 1993, Dvorak 1973, Dvorak 1975, Dvorak y Smigielski 1996).

### 2.1 Indicativos en la intensidad de un ciclón

**i) Bancos nubosos con configuración de "coma":** que se elongan y rotan hasta enrollarse sobre sí mismos conforme el evento se intensifica, hasta formar una espiral alrededor de un cuerpo central de nubes, haciendo evidente la alternación de bandas de aire seco y húmedo (Fig. 2a).

**ii) Presencia de cuerpo central de nubes:** que puede tomar la forma de una serie de líneas curvadas, una mini-coma o una densa masa de nubes, que se torna más circular (aumento de la curvatura) conforme el evento aumenta en intensidad.

**iii) Presencia de una “cobertura central densa” (CCD):** localizada en la cabeza de la coma, a veces precedida por una estrecha y densa masa de nubes en forma de C. Inicialmente de forma ovalada, se torna más circular y de textura más uniforme conforme se intensifica el sistema.

**iv) El ojo del ciclón:** región sin nubes en el centro de la circulación que a veces se forma dentro de la CCD. Cuando un ciclón con ojo se intensifica, el ojo se vuelve más definido, redondo y centrado dentro de la CCD.

**v) Nubes en bandas espiraladas:** (Figs. 2a y 2b) por lo general, un aumento en la cantidad, curvatura y circularidad de las bandas implica un aumento en intensidad del sistema.

### 2.2 Indicativos de intensificación del sistema.

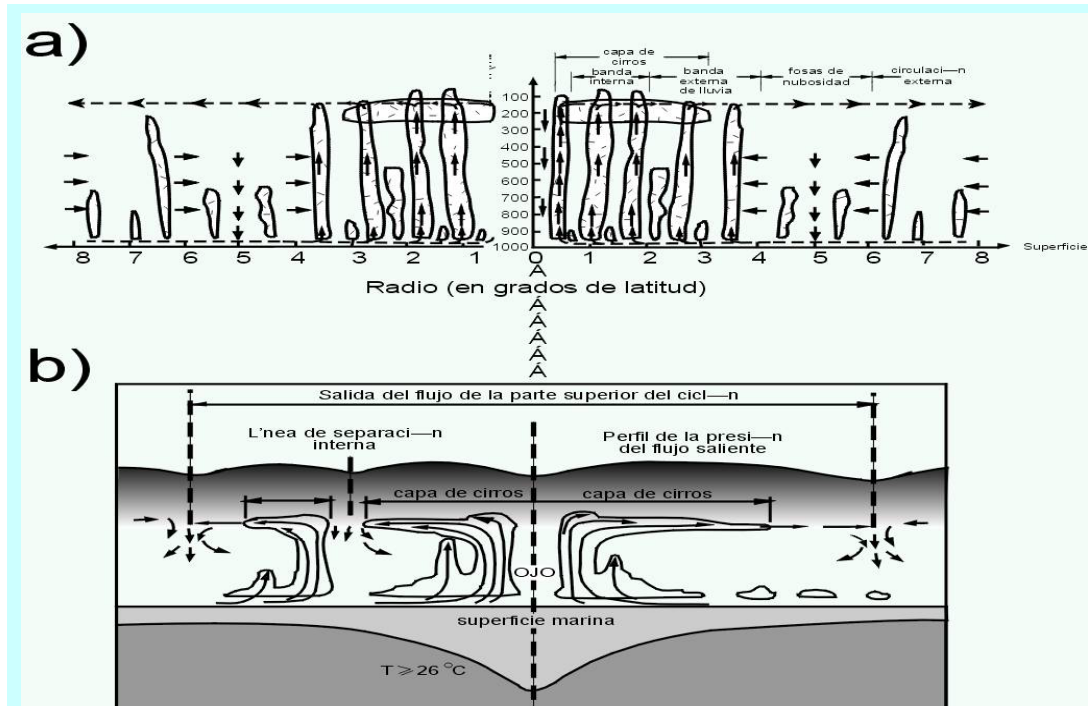
**i)** Alta brillantez y claridad de los contornos de la "coma".

**ii)** Bandas espiraladas de carácter altamente convectivo en el lado ecuatorial del sistema.

**iii)** Nubes cirrus que se esparcen hacia afuera del núcleo del sistema (indicando salida de flujo) en por lo menos tres de los cuatro cuadrantes del área donde se centra la circulación.

**iv)** Historial del evento: el sistema ha estado en constante crecimiento y estabilización en un rango temporal de las últimas horas.

Aparte de estos criterios, hay que notar que superficies de tierras, superficies marinas cálidas, frentes de vientos, presencia de otro sistema ciclónico/anticiclónico, etc. pueden determinadamente afectar al sistema. En función de la escala temporal de la fase diurna, temprano por la mañana, las estructuras aparecen más débiles, borrosas o difusas, que en horas de la tarde. Esto tiene que ver con las condiciones nocturnas de enfriamiento, las cuales redefinen los criterios físicos de entorno, e implican falta en carga de energía evaporativa.



**Figura 2.** Representación esquemática de un corte vertical en función de la altura y de la separación al centro para una conformación de tipo ciclón tropical; sección a): en función de la distancia al ojo (expresada en grados de latitud) se presentan los diferentes ciclos dinámicos que se dan en el sistema: banda interna, banda externa, capa de cirros, las fosas de nubosidad y la circulación externa; sección b): interacción atmósfera-oceano, con la correspondiente entrada de energía térmica y salida de nubosidad, respectivamente. En la parte inferior se muestra la variación de la presión atmosférica a nivel del mar para un valor crítico de temperatura.

**2.3 Indicativos de formación de un ciclón tropical:**

Estos criterios se pueden considerar como válidos hasta un lapso de 36 horas anteriores al proceso de maduración del evento. Aquí la conformación nubosa muestra las siguientes características:

- i) importante curvatura de una región nubosa altamente convectiva que ha persistido por más de 12 horas;
- ii) circulación organizada sobre una región marina a más de 4 grados de latitud; sobre la cual aparecen cumulonimbus y convección dentro de un área de diámetro no menor de 3 grados de latitud.

Indicios para un consiguiente desarrollo:

- i) presencia de una zona convectiva profunda cerca del centro del evento;
- ii) ausencia de flujo fuerte unidireccional a nivel de cirrus a través de la región central del evento;
- iii) si hay nubosidad a lo largo de la dirección de movimiento del sistema ciclónico, esta nubosidad debe ser de tipo convectivo.

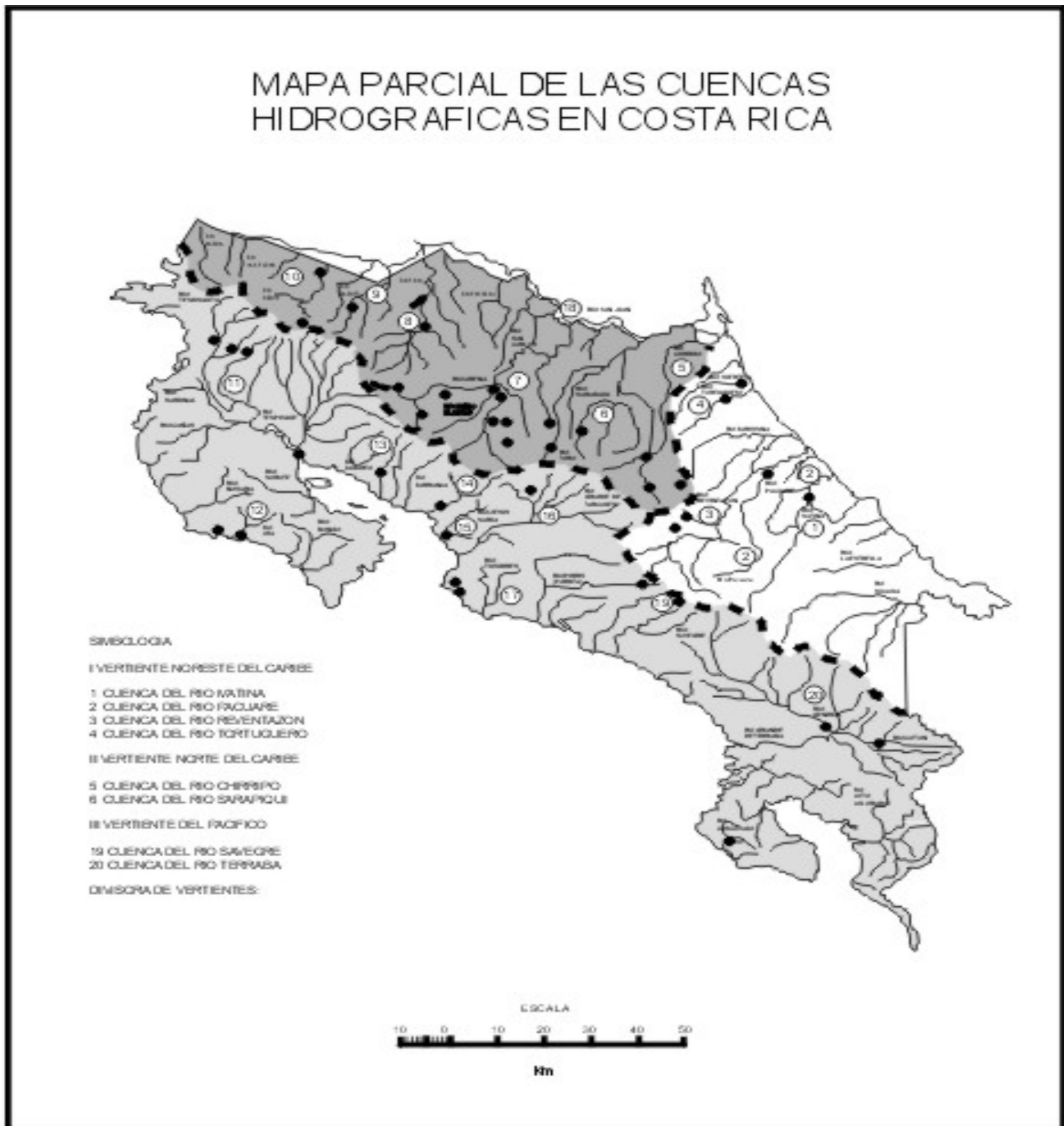
**3. Interacción con la orografía**

Un evento ciclónico cuya evolución tiende hacia la conformación de un huracán, es un evento que se nutre

energéticamente del calor sensible y latente del océano (Grandoso 1976, Elsberry 1985). Esto es posible únicamente cuando la temperatura de la capa superficial del mar, con una profundidad no menor de los 15 m, sobrepasa los 26°C (Fig. 2b), donde la profundidad equivale a destacar el potencial de calor acumulado en el medio marino. Los vientos sostenidos en rotación, a lo largo de toda la extensión en altura del evento, influyen en las regiones circundantes hasta la escala sinóptica.

Debido a la succión de aire hacia el evento, se genera nubosidad por fricción. Cuando el evento se encuentra a corta distancia de las deformaciones orográficas continentales, la nubosidad generada por fricción refuerza las bandas nubosas propias del sistema incrementando su potencial de precipitación (Grandoso 1976, Frank 1985, Holland 1985). Al efecto de succión de aire desde grandes distancias, y por lo tanto, la generación de corrientes de vientos que se dan con la presencia del evento, se le define como "efecto indirecto" (Grandoso 1976), el cual también puede generar nubosidad por fricción y por consiguiente, intensas precipitaciones.

Las mayores alturas de la conformación orográfica centroamericana se dan entre las cordilleras Central y Talamanca, en Costa Rica y el complejo de Chiriquí en Panamá (longitud: 84°E), asociadas con las regiones de mayor pendiente y las cuencas hidrográficas de mayor tamaño en



**Figura 3.** Mapa de las cuencas hidrográficas de Costa Rica (ICE 1992, Fernández 1998). En la región de mayor pendiente se tienen: a) Zona del Caribe: las cuencas del Río Sixaola (Nr.1), del Río La Estrella (Nr.2), y b) Zona del Pacífico: las cuencas del Río Grande de Térraba (Nr.31), de Ríos Península de Osa (Nr.32), y del Río Esquinas y Otros (Nr.33).

superficie (ICE 1992, Chacón 1998; Fig. 3). En la vertiente del Pacífico de Costa Rica, la cuenca del "Río Grande de Térraba" con una área de 5084.8 km<sup>2</sup> (cuenca Nr.31), es la mayor del conjunto, de todo el sistema definido. Hacia el sureste, a lo largo de la cordillera de Talamanca y Chiriquí, se encuentran otras grandes cuencas, como la de los "Ríos Península de Osa" (1972.8 km<sup>2</sup>; cuenca Nr.32), y la de "Río Esquinas y otros"

(1832.3 km<sup>2</sup>; cuenca Nr.33). En la vertiente de Atlántico o Caribe, se tienen las del "Río Sixaola" (área que se encuentra en Costa Rica: 2336.1 km<sup>2</sup>; cuenca Nr.1) y del "Río La Estrella" (1005.9 km<sup>2</sup>; cuenca Nr.2). Como consecuencia de violentas precipitaciones en regiones donde se tiene: 1) una fuerte pendiente, y por consiguiente, enormes áreas de captura de agua con tendencia a bajar, y 2) grandes cuencas hidrográficas,

se producen enormes caudales de agua que por ende, posibilitan importantes inundaciones.

#### **4. El Huracán César: un caso de estudio. Correlación entre imágenes satelitales y la evolución del evento.**

##### **4.1 Cronología**

El 25 de julio de 1996 a las 14 Z se detectó un centro de baja presión frente a las costas de Venezuela (11° 30' N, 68° 52' O), con una circulación ciclónica organizada, parte sobre el océano y parte sobre el continente, cubriendo una área circular con un diámetro de 7° de latitud, en la que aparecen núcleos convectivos periféricos y un cuerpo central de nubes con moderado desarrollo vertical.

El cuerpo central nuboso adquiere forma de coma el 26 de julio a las 17 Z y de coma enrollada sobre una CCD el 27 de julio a las 11 Z. Desde el día 26 se observan claramente cirrus que se esparcen en espirales fuera del centro de baja presión, el día 27 de julio los cirrus se hacen más abundantes y a las 05 Z ya existe un núcleo de nubes de gran desarrollo vertical, asociado con el centro de la circulación, sobre un área de influencia de 1600 km de diámetro. Tanto la CCD como las bandas nubosas de la periferia presentan entonces una forma circular casi perfecta, forma que mantiene en su paso a través de Nicaragua continental.

El ciclón se convierte en el huracán César horas antes de tocar las costas de Nicaragua, el 27 de julio a las 15 Z, pero pierde fuerza al adentrarse en tierra y se debilita, de la categoría de huracán a la de tormenta tropical. La CCD, dentro de la cual nunca llegó a formarse un ojo, se fragmenta durante su travesía por Nicaragua, primero en dos, luego en tres, y más tarde, en muchas más partes antes de salir de la región terrestre.

Del día 26 a las 00 Z, en que la baja presión se encuentra sobre el Golfo de Maracaibo, al día 28 a las 00 Z en que las bandas de nubes en la periferia de César comienzan a afectar Nicaragua, la velocidad media de desplazamiento del huracán fue de 26 km/h, que corresponde a una velocidad promedio dentro del compendio de este tipo de eventos.

Dentro del área de influencia del huracán, hay zonas en las que las nubes adquieren mayor desarrollo vertical, tales como las franjas en la periferia que alcanzan la costa de Nicaragua con orientación norte-sur, paralelas a la costa. Las primeras bandas de nubes se disipan conforme se desplazan sobre tierra, pero conforme pasa el tiempo se ensanchan y terminan por cubrir una gran parte del istmo centroamericano. La Fig. 4 muestra una imagen del satélite GOES-8 en la banda del infrarrojo, desplegada con una paleta de colores que destaca las nubes de gran desarrollo vertical, correspondiente al 27 de julio a las 17:45 Z, en el momento en que las bandas de la periferia del huracán cubren parte de Centroamérica.

La zona de convergencia inter-tropical (ZCIT) sobre el Océano Pacífico, que en días anteriores se encontraba a 6° 15' N, se halla el 27/9/96 a 8° 40' N, con el extremo oriental curvado hacia el norte, contra las costas del centro de Costa Rica. A las 21 Z del 27 de julio se comienza a formar una zona

de nubosidad en el lado ecuatorial del huracán, sobre la costa Pacífica de Costa Rica, cuya altura y área aumenta hasta alcanzar su máximo desarrollo a las 03 Z del día 28 (9 p.m. hora local). Como consecuencia, se genera una alta precipitación, la cual, a su vez, causa en las siguientes horas desbordamientos de ríos y derrumbes.

A las 03 Z del día 28, la nubosidad asociada con el ojo del huracán toca la costa Atlántica al sur de Nicaragua, y eventualmente llega a cubrir todo el territorio nicaraguense. La nubosidad asociada a la ZCIT desaparece de su posición habitual a lo largo del paralelo 5° N; en su lugar hay una gruesa banda nubosa de gran desarrollo vertical, con forma de curva concéntrica al centro de baja presión.

A las 21 Z del día 28, el sistema ya debilitado tiene su centro de baja presión sobre el Golfo de Fonseca, en la costa Pacífica de Centroamérica, con una banda de nubes hacia el este que cubre todo Nicaragua, y un núcleo de nubes hacia el oeste, sobre el Océano Pacífico. Este último se convierte posteriormente en el Huracán Douglas.

Conforme Douglas se desplaza hacia el oeste sobre el Océano Pacífico, las bandas de nubes con gran desarrollo vertical, al este del huracán, continúan cubriendo el territorio nicaraguense (Fig. 5).

##### **4.2 Evolución global**

Las imágenes de satélite destacan la relación entre el flujo inducido por el huracán y las zonas donde se produce nubosidad de gran desarrollo vertical. En la periferia del huracán, ésta solo se forma sobre tierra, con flujo de superficie dirigido de mar a tierra. Cuando César toca las costas de Nicaragua no hay nubes de gran desarrollo vertical sobre el mar Caribe, al este del centro de circulación en superficie (Fig. 4). En contraste, cuando Douglas se desplaza sobre el Océano Pacífico (Fig. 5), sí hay nubosidad de este tipo en la periferia del huracán, sobre Nicaragua.

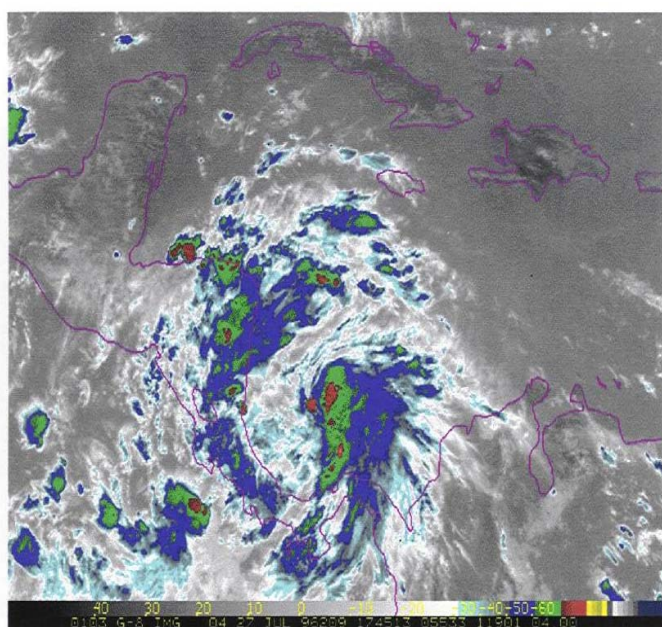
El efecto de la orografía también se hace evidente cuando el área de influencia del huracán en gestación afecta las cordilleras al norte de Colombia y Venezuela, a ambos lados del Lago de Maracaibo, donde las imágenes de satélite muestran grandes núcleos nubosos de gran desarrollo vertical. Las fuertes lluvias asociadas con esta nubosidad de origen orográfico inundaron enormes áreas en las cuencas de los ríos Magdalena y Apure, hecho detectable en la imagen en el visible por el reflejo del sol en las superficies cubiertas de agua.

#### **5. Conclusiones**

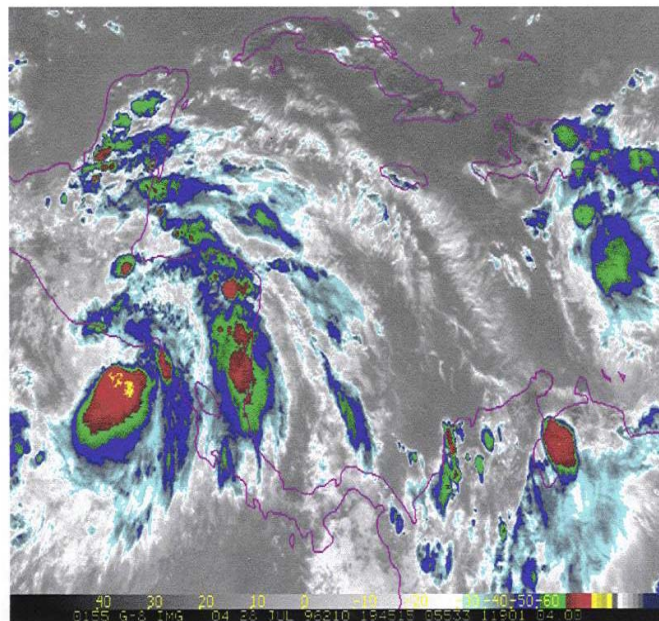
La información que brindan las imágenes del satélite en caso de eventos atmosféricos violentos, como lo son los huracanes, es muy útil ya que permite identificar -en función de las conformaciones nubosas asociadas al evento-, las áreas que podrían ser afectadas y su envergadura. Esta información logra una finalidad únicamente preventiva para salvar vidas humanas,

ya que es poco lo que se puede hacer para evitar los daños ecológicos, económicos y sociales, asociados a un evento de este tipo.

La característica orográfica principal de la parte sur de Centroamérica es su gran rugosidad, con cúspides de hasta 3,800 metros de altura y lugares que por su topografía y configuración con respecto al flujo de vientos y agua son muy vulnerables a deslizamientos e inundaciones cuando la lluvia es más cuantiosa que lo normal y/o sobrepasa los rangos de tiempos de precipitación usuales. Este hecho resalta en forma especial en el caso del huracán César, que fue un evento de baja intensidad y con movimiento traslacional lento. Sus efectos sobre la región del Pacífico de Costa Rica solamente fueron indirectos.



**Figura 4.** El huracán César cuando toca las costas de Nicaragua sin nubes de gran desarrollo vertical sobre el mar Caribe al este del centro de circulación en superficie.



**Figura 5.** El ciclón tropical Douglas cuando se desplaza sobre el Océano Pacífico, acompañado de nubosidad con gran desarrollo vertical sobre Nicaragua, en la periferia del ex-huracán César.

En un artículo separado se estudiará la distribución de la precipitación producida por el paso del huracán sobre Nicaragua, con la ayuda de imágenes de satélite y observaciones de estaciones en superficie.

## 6. Agradecimientos

Se agradece a Chris Landsea, de Colorado State University y a la NOAA, por la cortesía de poner a disposición en el Internet las bases de datos sobre depresiones tropicales, ciclones y huracanes en ambas cuencas. Se agradece a Bernadette Connell y a Colorado State University/CIRA, la recopilación de imágenes de satélite del huracán César, y de manera muy especial a Omar Lizano del CIGEFI y Escuela de Física, UCR, y a R. Enrique Chacón del ICE por las valiosas discusiones y comentarios que se dieron en torno a la preparación del presente trabajo.

## Resumen

Se ilustra el tipo de información que pueden brindar las imágenes de los satélites meteorológicos, en particular el caso del satélite geostacionario GOES-8 para el evento del huracán César.

## Referencias

- Asnani, G.C. 1993, en: *"Tropical Meteorology, Vol. 2, India Met. Dept.Insat 2A, 0900 GMT, 13.10.1992"*, WMO Professor of Meteorology, and World Meteorological Organization, Ginebra, p.730-821.
- Banichevich A. y O.G. Lizano. 1998, Interconexión a nivel ciclónico-atmosférico entre el Caribe y el Pacífico centroamericanos. *Revista de Biología Tropical* 46 (5), p.9-21.
- Chacón, R.E. 1998. Comunicación personal, Centro de Servicios de Estudios Básicos de Ingeniería, ICE, y Escuela de Física, Universidad de Costa

- Rica.
- DMA: Defense Mapping Agency. 1994a. Atlas of pilot charts. North Atlantic Ocean, p. 26-37: Pilot charts of Caribbean sea and Gulf of Mexico; los valores promedio discutidos, son considerados para el rango entre 1927 y 1987.
- DMA: Defense Mapping Agency. 1994b. Atlas of pilot charts. North Pacific Ocean, p. 1-12.
- Dvorak, V.F. 1973. A technique for the analysis and forecasting of tropical cyclone intensities from satellite pictures. NOAA Tech. Memo. NESS 45 (Revision of NOAA TM NESS 36). U.S. Department of Commerce, Suitland, MD., p.: 19-23.
- Dvorak, V.F. 1975. Tropical Cyclone Intensity Analysis and Forecasting from Satellite Imagery. Mon. Wea. Rev. 103, 420-430.
- Dvorak, V.F. y F. Smigielski. 1996. A Workbook on: Tropical clouds and clouds systems observed in satellite imagery. Vol. 1. p.: 5.23, 6.8, 6.12 y 7.41-7.53"; U.S. Department of Commerce, NOAA/NESDIS/ NWS; Boulder, Colorado.
- Elsberry, R.L. (Editor). 1985. en: "*A Global View of Tropical Cyclones*". Based largely on materials prepared on the International Workshop on Tropical Cyclones, Bangkok, Thailand, Nov.25-Dec.5, 1985.
- Fernández, E. 1998. Comunicación personal. Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI), Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Frank, W.M. 1985. en: "*A Global View of Tropical Cyclones: Tropical Cyclone Formation*". Elsberry, R.L. (Editor). Based largely on materials prepared on the International Workshop on Tropical Cyclones, Bangkok, Thailand, Nov.25-Dec.5, 1985, p. 77-79.
- Grandoso, H.N.. 1976. Rain from Tropical Cyclones and Trough-type Systems. p.9-86. Direct and Indirect Effects of Tropical Cyclones and Heavy Precipitation, p. 21-52. *In Proceedings of training seminar/WMO: Intense precipitation and floods in tropical areas of Latin America*, El Salvador.
- Guard, C.P. 1986. Local and regional influences on the meteorology of Central America. Forecaster Memo (AWS/FM-86/002), Air Weather Service September, 1-23.
- Guzmán, H.N. y J. Cortés. 1993. Arrecifes coralinos del Pacífico Oriental Tropical: Revisión y perspectivas. Rev. Biol. Trop. 41(3): 535-557.
- Hastenrath, S. 1991. Climate dynamics of the tropics, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 219-263.
- Holland, G.J. 1985. en: "*A Global View of Tropical Cyclones: Mature Structure and Structure Change*". Elsberry, R.L. (Editor). Based largely on materials prepared on the International Workshop on Tropical Cyclones, Bangkok, Thailand, Nov.25-Dec.5, 1985, p. 41-43.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad), 1992. Estaciones Medidoras de Caudal en Costa Rica. Dirección de Planificación Eléctrica. Cuencas Hidrográficas y su caudal equivalente; Plan actualizado del 31 de marzo de 1992. San José. Costa Rica.
- Kenn, R., 1982. The Role of Cross-Equatorial Tropical Cyclone Pairs in the Southern Oscillation. Mon. Wea. Rev. 110, p. 1405-1416.
- Kjerfve, B. y S.P. Dinnel. 1983. Hindcast hurricane characteristics on the Belize barrier reef. Coral Reef 1, p. 1-5.
- Kjerfve, B., K.E. Mafill, J.W. Porter y J.D. Woodley. 1986. Hindcast hurricane characteristics and observed storm damage on a fringing reef. Jamaica, West Indies. J. Mar. Res. 44: 119-148.
- Knutson T.R., R.E. Tuleya y Y. Kurihara. 1998. Simulated Increase of Hurricane Intensities in a CO<sub>2</sub>-Warmed Climate. Science 279(2), p. 1018-1020.
- Kodera K. y M. Chiba. 1995. Tropospheric Circulation Changes associated with Stratospheric Sudden Warmings: A Case Study. J. Geophys. Res. 100(D6), p. 11,055-11,068.
- Lawrence, J.R., S.D. Gedzelman, X. Zhang y R. Arnold. 1998. Stable Isotope Ratios of Rain and Vapor in 1995 Hurricanes. Geophys. Res. 103(D10), p. 11,381-11,400.
- Lizano, O.G., A. Mercado y M.L. Hernández. 1993. El impacto de las olas generadas por el huracán sobre los arrecifes coralinos: inferencias basadas en modelos numéricos. Rev. Geofísica 38, p. 91-110. Lizano, O.G. y W. Fernández. 1996. Algunas características de las tormentas tropicales y de los huracanes que atravesaron o se formaron en el Caribe adyacente a Costa Rica durante el período 1886-1988. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos 3(1), p. 3-10.
- Stolz, W.R. 1995. Oscilaciones atmosféricas y oceánicas: sus acoples y sus interrelaciones. Tesina para la Especialidad de Postgrado en Meteorología Aplicada, Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, p. 18-57 y p. 61-67.
- Trenberth, K.E. 1991. Storm Tracks in the Southern Hemisphere. J. of the Atmos. Sciences 48(19), p. 2159-2178.
- Vandermeer, J., N. Zamora, K. Yih y D. Boucher. 1990. Regeneración inicial en una selva tropical en la costa caribeña de Nicaragua después del huracán Juana. Rev. Biol. Trop. 38(2B), p. 347-359. Wang, C. y P.J. Crutzen. 1995a. Impact of a simulated severe local storm on the redistribution of sulfur dioxide. Journal of Geophysical Research 100 D6, p. 11,357-11,367.
- Wang, C., P.J. Crutzen, V. Ramanathan y S.F. Williams. 1995b. The role of a deep convective storm over the tropical Pacific Ocean in the redistribution of atmospheric species. Journal of Geophysical Research 100 D6, p. 11,509-11,516.
- Woodley, J.D., E.A. Chonersky, P.A. Clifford, J.B.C. Jackson, L.S. Kaufman, N. Knoulton, J.C. Land, M.P. Pearson, T.W. Porter, M.C. Rooney, K.W. Rylaarsdam, V.J. Tunnicliffe, C.M. Whale, J.L. Wolff, A.S.G. Curtis, M.D. Dallmeyer, B.P. Jupp, M.A.R. Kochl, J. Neigel y E.M. Sides. 1981. Hurricane Allen's impact on Jamaican coral reefs. Science 211, p. 749-755.