

# Nubes de polvo del Sahara. Su presencia en Cuba

## *Sahara Clouds Dust. Their presence in Cuba*

**Dr. Eugenio Mojena López** | *eugenio.mojena@insmet.cu* | Departamento de Satélite, Centro de Pronósticos, INSMET

**Tec. Antonia Ortega González** | *antonia.ortega@insmet.cu* | Departamento de Satélite, Centro de Pronósticos, INSMET

**Lic. Ernesto F. Casilles Vega** | *casilles.vega@insmet.cu* | Departamento de Satélite, Centro de Pronósticos, INSMET

**Lic. Julia Leyva Santos** | *julia.leyva@insmet.cu* | Departamento de Satélite, Centro de Pronósticos, INSMET

Recibido: enero 20 de 2015; aceptado: abril 27 de 2015.

### Resumen

Las tormentas de polvo del Sahara incorporan a la atmósfera millones de toneladas de polvo que se desplazan sobre el Atlántico, con una marcada marcha espacio-temporal. El mayor transporte sobre el Mar Caribe se produce durante el verano. De conjunto con estas nubes de polvo, formadas por diferentes compuestos minerales, se incorporan a la atmósfera enormes cantidades de biopartículas, tales como virus, bacterias, hongos etc. Estos eventos desempeñan un papel fundamental en su transporte y contribuyen a la dispersión a grandes distancias de microorganismos y de patógenos. De este modo, se establece un puente entre continentes cuya microbiota impacta a ecosistemas marítimos y terrestres situados a miles de kilómetros a sotavento de las regiones fuentes, y afecta la salud de hombres, animales y plantas. Asimismo, estas nubes de polvo establecen sus condiciones sobre el tiempo, el clima y el medio ambiente en las regiones bajo su influencia. Dentro de las partículas minerales componentes de este polvo, las PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y superfina ocupan un lugar importante dado su impacto, principalmente, en las enfermedades respiratorias y cardiovasculares. El objetivo de este trabajo es caracterizar la presencia de las nubes de polvo del Sahara en Cuba, para cada provincia y el municipio especial de la Isla de la Juventud en el período 1998-2009, como parte de

un proyecto más abarcador que desarrolla el Instituto de Meteorología. Se emplean, en lo fundamental, imágenes satelitales TOMS *Earth-Probe*, OMI *Aura* y Goes-*Meteosat SplitWindow*. La presencia o no del polvo sobre el área de estudio se corrobora mediante el valor del índice de aerosol, con el empleo del software TaiSat. Se define, para Cuba, la temporada del polvo y se obtiene el comportamiento general del polvo por provincias y el municipio especial Isla de la Juventud, según el período de estudio. El trabajo se basa en la información aportada por diferentes satélites y sensores, y está soportado en las técnicas del procesamiento digital de imágenes y en la estadística multivariada.

**PALABRAS CLAVE:** Tormenta de polvo del Sahara, nube de polvo, índice de aerosol.

### Abstract

The Sahara Dust Storms bring million tons of dust into the atmosphere over the Atlantic Ocean with a marked trend in space and time. The biggest amount of dust moves into the Caribbean Sea in Summer. Together with these dust clouds, made up of different mineral compounds, huge amounts of bioparticles, such as viruses, bacteria, funguses, etc., are incorporated into the atmosphere. These events play a fundamental role in their transportation. They also contribute to propagate microorganisms and

pathogenic agents in large distances. Thus, a bridge between continents is established. Microorganisms and pathogenic agents impact ecosystems located thousands kilometers leeward the source regions by affecting its health. Geographic dissemination of pathogenic agents acquires then a new dimension. Among the mineral Sahara Dust components, PM10, PM2.5 and Superfines particles play an important role due to their impact on human health, mainly in respiratory and cardiovascular diseases. These dust clouds also affect heavily the weather and climate in regions under their influence.

The purpose of this research is to characterize the presence of the Sahara dust clouds in Cuba and in each and every province, including Isle of Youth municipality during the period 1998–2009. This paper work is based on the information obtained from different satellites and sensors and leans on digital image processing techniques and on multivariate statistic.

KEYWORDS: Sahara Dust Storm, Dust Cloud, Aerosol Index.

## Introducción

Las tormentas de polvo del Sahara incorporan a la atmósfera millones de toneladas de polvo, las cuales se desplazan sobre el Atlántico de forma diferente de acuerdo con la época del año; estas nubes de polvo, al trasladarse miles de kilómetros (Sebastian Engelstaedter, Ina Tegen y Richard Washington, 2006), provocan eventos transcontinentales y transoceánicos que enlazan puntos muy distantes del planeta. Junto con estas nubes de polvo, constituidas por material particulado de diferentes compuestos minerales (Krueger B. J., Grassian V. H, Cowin J. P., Laskin A., 2004), estas tormentas incorporan a la atmósfera enormes cantidades de biopartículas y otros compuestos (Suárez E. B. *et al.*, 2008), y desempeñan un papel fundamental en su transporte (Garrison V. H.

*et al.*, 2006), a la vez que contribuyen a la dispersión a grandes distancias de microorganismos expandiendo la propagación biogeográfica de patógenos. Se establece un puente entre continentes, donde la microbiota contenida dentro de este puede impactar ecosistemas situados a miles de kilómetros a sotavento de las regiones fuentes y afectar la salud de los mismos, con lo cual la dispersión biogeográfica de patógenos adquiere una nueva dimensión. Estos grandes eventos de polvo impactan el clima, el tiempo, el medioambiente y la salud del hombre, los animales, plantas y ecosistemas completos (marítimos y terrestres).

Es posible que los microorganismos transportados en el polvo africano puedan vincularse con algunos brotes epidémicos en el Caribe. Este polvo transporta un gran número de microorganismos patógenos que pueden afectar la agricultura y la ganadería; por ejemplo, las epifitias por hongos pueden afectar la caña de azúcar y el plátano a escala comercial, y aparecen en el Caribe varios días después de la irrupción del polvo, lo cual sugiere que las esporas podrían haber viajado con este (U. S. Geological Survey). De igual modo, se ha identificado en las nubes de polvo del Sahara arribadas al Caribe bacterias patógenas del arroz, los frijoles, frutas y algunas especies de árboles (U. S. Geological Survey); asimismo, se ha detectado que estas nubes de polvo transportan bacterias que pueden infestar las aves, los cerdos y el ganado.

Dentro de las partículas minerales componentes de este polvo, las PM10, PM2.5 y superfinas ocupan un lugar importante por su impacto, principalmente, en las enfermedades respiratorias y cardiovasculares; según su diámetro, se clasifican en el rango de las partículas respirables. De la masa total de polvo contenido en las nubes de polvo que arriban a Barbados y Miami, entre un tercio y la mitad presentan un diámetro aerodinámico inferior a 2.0  $\mu\text{m}$ –2.5  $\mu\text{m}$  (Michele A. Monteil, 2008). Los efectos del polvo sobre el tiempo y el clima son de trascendental im-

portancia en el destino del planeta, puesto que se afecta el clima al producirse un forzamiento radiativo, que puede ser directo e indirecto. El forzamiento radiativo *directo* se produce por medio de la dispersión y la absorción de la radiación solar incidente, e impide que gran parte de la radiación solar llegue a la superficie de la tierra; el *indirecto* se vincula con su efecto sobre la microfísica de las nubes, al alterar el ciclo de vida de las nubes y la producción de lluvia. En ambos casos, el forzamiento radiativo es negativo, por lo cual contribuye al enfriamiento del planeta.

En cuanto al tiempo, estas nubes de polvo imponen sus condiciones sobre las zonas bajo su influencia; al condicionar los parámetros de la atmósfera, modulan el régimen de lluvia, las tormentas eléctricas, y la ciclogénesis y la evolución de los ciclones tropicales. Estos hechos han sido planteados por diferentes autores: Mojena E. y otros (2012), Mojena E. y otros (2011), Dunion, J. P. and C. S. Velden (2004), Amato T. E. *et al.* (2006) y Jason P. Dunion and Christopher S. Velden (2004).

El conocimiento alcanzado en esta temática ha sido posible por el desarrollo de satélites altamente especializados que permiten una visión global, a escalas regional y local de la ocurrencia de las tormentas y el transporte de polvo, de los efectos trascendentales que este polvo del desierto tiene para el medioambiente, el tiempo, el clima y la salud del hombre, los animales y plantas, incluyendo los ecosistemas marítimos y terrestres vitales para el planeta, que pueden alcanzar la categoría de desastre.

Cuba es una isla situada en el Mar Caribe, a sota-vento del Sahara, la principal región fuente de polvo del planeta. La Isla es frecuentemente afectada por los ciclones tropicales; además, las lluvias de verano están muy vinculadas con las tormentas eléctricas y, en gran medida, determinan los recursos hídricos vitales del país. Durante la primavera y el verano son

frecuentes las afectaciones por las nubes de polvo del Sahara; por tanto, es necesario estudiarlas en diferentes escalas espacio-temporales y caracterizar su comportamiento, medir su concentración y su composición química, y clasificar sus componentes biológicos.

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental la caracterización de la presencia de las nubes de polvo del Sahara a partir del territorio nacional en el período 1998–2009, en diferentes escalas espacio-temporales (país y provincia, día, mes y año), de acuerdo con elementos tales como presencia o no del polvo, el porcentaje de días con polvo, la cantidad de días polvo, los días consecutivos con presencia de polvo y el valor del índice de aerosol (AI).

## **Materiales y métodos**

El presente trabajo tiene como premisa utilizar diferentes escalas espacio-temporales; en la escala temporal, se contemplaron los días, semanas, meses y años, mientras que en la espacial se consideraron el territorio nacional (el *todo*) y la escala provincial (las *partes*) de conformidad con la división político-administrativa vigente cuando se comenzó la elaboración de las bases de datos del proyecto.

Como herramientas básicas se tomaron las imágenes de diferentes tipos de satélites, sensores y canales espectrales. Los satélites bases empleados fueron *Earth-Probe*, *Aura*, Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES) y *Meteosat Split Windows*, y las imágenes se utilizaron con diferentes niveles de prioridad, según el área de estudio y el fenómeno específicos. La presencia o no del polvo sobre Cuba, las provincias y el municipio especial Isla de la Juventud, se ratificó por medio del valor del índice de aerosol (Natalie M. Mahowald and Jean-Louis Dufresne, 2004) con el empleo del software TaiSat, los datos de visibilidad de la Red Sinoptica de Superficie y las mediciones de AOT de la Estación

Meteorológica de Casablanca. El procesamiento de los datos se realizó con técnicas de la estadística multivariada.

## Comportamiento general del polvo en Cuba en el período 1998– 2009

Al analizar la curva del porcentaje de días con polvo para el período, se observa que en 1998 y 1999 estos valores se mantienen próximos a 70 %, con cifras de llegadas muy altas en 2000 (97 %) y una caída muy brusca en 2001 (54 %). A partir de este momento, se intensifica bruscamente el transporte de polvo, manteniéndose esta condición en el período 2002–2004 (100 % durante varios meses); a continuación, se produce un descenso continuo en el arribo de polvo y se alcanza el valor mínimo en 2006 (32 %), luego del cual comienza un ascenso discreto mantenido hasta 2009 (81 %). La figura 1 evidencia un comportamiento cíclico en la llegada del polvo. Aunque el período de estudio es relativamente corto y no permite una caracterización rigurosa del transporte de polvo, este parece estar representado por ciclos, lo cual pudiera establecer un comportamiento cíclico, tanto en la ocurrencia de las tormentas, como en su transporte. La gráfica del porcentaje de días con polvo anual es de gran trascendencia por la repercusión que puede

tener en la pauta de determinados patrones del tiempo y el clima en la región, y en el transporte de patógenos y otros compuestos perjudiciales a salud, tales como los contaminantes orgánicos persistentes y los metales pesados.

El índice de aerosol presenta su registro más alto en años correspondientes al período de máxima llegada de polvo (2002 y 2003), cuando se reporta un AI de 4; otros valores notables (3.5) se reportan en 1999, 2000 y 2004.

### Comportamiento general del polvo en Cuba

Las primeras nubes de polvo procedentes del Sahara arriban al territorio cubano principalmente en marzo, aunque pueden presentarse en abril; los máximos en el porcentaje de días con polvo se registran, en especial, en julio y junio, si bien se han registrado máximos en mayo y agosto. Por lo general, las últimas nubes de la temporada se observan en el territorio nacional en septiembre u octubre. El valor máximo del índice de aerosol reportado es de 4.0, en julio.

### Comportamiento del polvo para cada año de estudio en el período 1998– 2009

La figura 2 (a y b) representa las curvas anuales para el porcentaje de días con polvo mensuales en 2002 y 2006. En 2002 se registró una presencia excepcionalmente alta en el porcentaje de días con polvo por meses, observándose gran parte de la primavera y el verano (100 %), correspondiente a abril, mayo, junio y julio, lo cual establece que el territorio nacional fue afectado diariamente durante estos meses por nubes de polvo procedentes del Sahara. El índice de aerosol mantiene valores muy altos casi toda la temporada, con los mayores registros en julio (4.0), y abril, junio y agosto (3.5); le sigue 2004, con 100 % de días con polvo durante mayo, junio y julio, mientras que en 2003, también se mantuvo esta cifra (100 %) para junio y julio. Los años de niveles más bajos del período corresponden a julio y agosto de 2006 (32 %), y julio

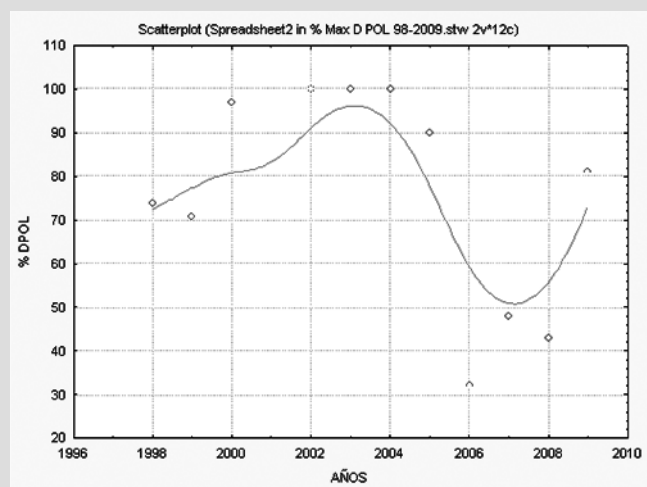


Fig. 1 Comportamiento cíclico de la llegada del polvo a Cuba.

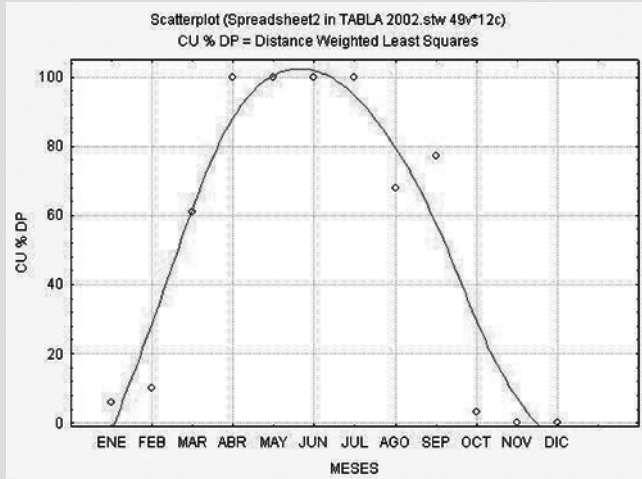


Fig. 2a Muestra la distribución del porcentaje de días con polvo para el año 2002.

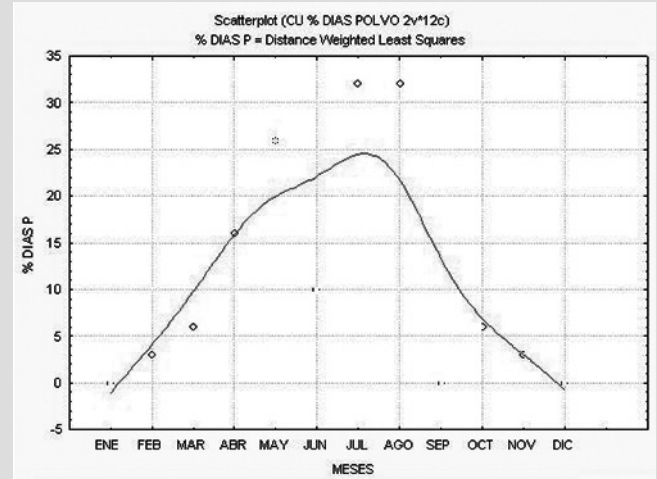


Fig. 2b Muestra la distribución del porcentaje de días con polvo para el año 2006.

de 2005 (35 %). A partir de 2006, se observa una tendencia al aumento de los niveles de polvo.

### Comportamiento general del polvo en las provincias y el municipio especial de la Isla de la Juventud

**GUANTÁNAMO:** Las primeras nubes arriban como promedio en marzo o abril, se registra el máximo de días polvo en julio y las últimas nubes se observan, principalmente, en octubre.

**SANTIAGO DE CUBA:** Las primeras afectaciones comienzan en marzo o abril, pero los primeros arribos pueden comenzar tardíamente en junio o julio, cuando se alcanza también el máximo absoluto de días con polvo; las últimas afectaciones ocurren en agosto o septiembre.

**GRANMA:** Los primeros arribos son en marzo o abril, pero pueden extenderse hasta junio; se registraron los máximos absolutos de días con polvo, principalmente, en julio y junio; los arribos, en general, terminaron en agosto y septiembre.

**HOLGUÍN:** Se observan las primeras nubes en marzo, seguido de abril, y se registra el máximo absoluto en julio, aunque, ocasionalmente, puede presentarse en junio o agosto; los últimos arribos ocu-

rrieron sobre todo en septiembre, pero existieron temporadas más cortas en que las últimas nubes se observaron en agosto.

**LAS TUNAS:** Las primeras nubes de polvo se observan en marzo y abril, pero pueden llegar en mayo; el máximo absoluto de días con polvo se registra en julio o, en ocasiones, en junio. Las últimas nubes de la temporada se observan tempranamente en agosto, aunque su arribo puede extenderse hasta septiembre y octubre.

**CAMAGÜEY:** Las nubes de polvo comienzan arribar en marzo y abril, aunque pueden presentarse en mayo; los máximos de días con polvo se registran, por lo general, en julio y junio, pero, en ocasiones, también en mayo. Las últimas nubes de la temporada llegan, principalmente, en septiembre y agosto; no obstante, se han observado tempranamente en julio.

**CIEGO DE ÁVILA:** Las primeras nubes afectan la provincia en abril o marzo, aunque se han observado tardíamente en junio; los máximos de días con polvo se registran, por lo general, en julio y junio, aunque también se registraron en mayo. Las últimas nubes llegan casi siempre en septiembre o agosto, pero, en ocasiones, pueden arribar en julio.

**SANCTI SPIRITUS:** Se observan las primeras nubes en

marzo o abril; los máximos de polvo se registran, principalmente, en julio o junio, aunque se han observado en fechas tan tempranas como abril. Las últimas afectaciones se producen, por lo general, en septiembre y octubre, pero también se han observado en agosto y julio.

VILLA CLARA: Las primeras nubes de la temporada arriban en marzo o abril; los máximos tienden a presentarse entre abril y julio, pero son más frecuentes en julio y junio: Las últimas nubes de la temporada arriban, generalmente, en septiembre u octubre, aunque pueden interrumpirse los arribos en agosto.

CIENFUEGOS: Las primeras afectaciones se presentan desde marzo hasta junio, pero se han observado arribos tardíos en julio; los máximos de días con polvo se observan, principalmente, en julio y junio, aunque se han registrado en mayo y agosto. Las últimas afectaciones se producen, por lo general, en septiembre y agosto; sin embargo, también se han reportado en julio.

MATANZAS: Se observan las primeras nubes en abril o mayo, pero pueden aparecer al comienzo de la primavera; los máximos de días con polvo se registran, por lo general, en julio o junio, aunque existen registros en mayo. Las últimas nubes arriban casi siempre en septiembre u octubre; no obstante, se han observado en julio y agosto.

ARTEMISA-MAYABEQUE: Las primeras nubes de la temporada se observan en abril y marzo; los máximos de días con polvo aparecen, principalmente, en julio o junio, aunque se tienen reportes en mayo. Los arribos de polvo terminan, por lo general, en septiembre o agosto, pero pueden extenderse hasta octubre.

LA HABANA: Las primeras afectaciones se producen en abril o marzo, aunque existen reportes en mayo y junio; los máximos de días con polvo se registran, por lo general, en julio y junio, pero pueden observarse en mayo. Las últimas nubes de la tem-

porada se observan casi siempre en septiembre, agosto y julio; sin embargo, pueden extenderse hasta octubre.

LA ISLA DE LA JUVENTUD: Las primeras nubes arriban en abril y marzo, aunque pueden aparecer en mayo; los máximos de polvo se registran casi siempre en julio, pero también aparecen en agosto, junio e incluso en mayo. Por lo general, las últimas nubes se observan en septiembre y agosto; no obstante, en ocasiones, también arriban en julio o junio.

PINAR DEL RÍO: Las primeras nubes de la temporada arriban al extremo occidental de Cuba en abril y marzo, pero pueden observarse tardíamente en julio; los máximos de días con polvo se registran sobre todo en julio y junio, aunque también ocurrieron en mayo. Las últimas nubes de la temporada se observan, principalmente, en septiembre y agosto; no obstante, pueden presentarse en julio.

### **Indicadores vinculados con la afectación de las nubes de polvo**

Para comprender el comportamiento y sistematizar las aplicaciones de los eventos de polvo a diferentes esferas económicas, sociales y científicas, y poder valorar la interrelación existente entre el país (el *todo*) y las provincias (las *partes*) y entre las provincias, se hace necesario definir un conjunto de indicadores que, de forma sintética y homogénea, permitan valorar la presencia y los efectos potenciales vinculados con las características de los comportamientos diario, mensual y estacional (acumulativo) del transporte de polvo sobre procesos como las tormentas eléctricas, sequías y los ecosistemas (los arrecifes coralinos, espejos de aguas internos) o en la esfera de la salud (el asma bronquial y las IRAS en el hombre o la diarrea del ganado). Estas nubes de polvo pueden arribar como grandes eventos de polvo que abarcan miles de kilómetros cuadrados y afectar todo el territorio nacional (Fig. 3)

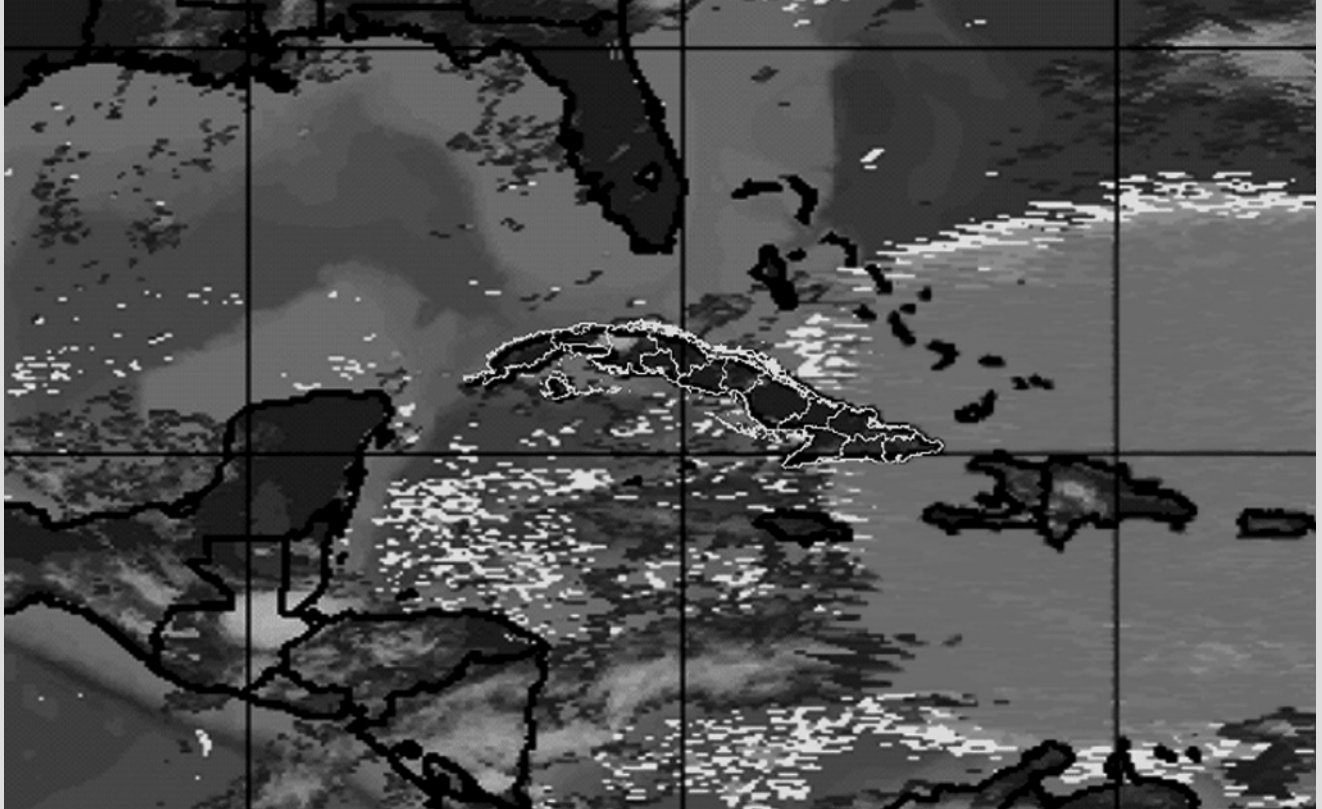


Fig. 3 Imagen ir Goes-Meteosat16 (julio de 2009 0600z). Se observa una nube de polvo extensa sobre la región oriental de Cuba.

**TEMPORADA DE POLVO:** Se define como el arribo de polvo al territorio nacional que se produce entre marzo y octubre, vinculado directamente con el transporte de las nubes de polvo del Sahara y que no implica, necesariamente, el establecimiento de la SAL (Sahara Air Layer) tal como está definida. Este transporte, por lo general, se asocia a los vientos alisios, pero también puede producirse por las ondas del este y otros fenómenos meteorológicos (Mojena E. y otros, 2012).

El polvo, en menor grado, presente en el territorio cubano en noviembre y los meses de invierno se considera procedente de otras fuentes, principalmente, del oeste, y se estudia de forma independiente.

**ACTIVIDAD MENSUAL (AM):** Se define como la cantidad de días con polvo correspondiente al mes,

expresada en porcentaje (4); presenta cinco categorías: *muy débil* (0-19), *débil* (20-39), *moderada* (40-59), *fuerte* (60-89) e *intensa* (90-100).

**INTENSIDAD DE LA TEMPORADA DE POLVO (ITP):** Se define como el promedio de los porcentajes de días con polvo correspondiente a los meses de la temporada de polvo. Este indicador puede ser nacional y(o) provincial (Mojena E. y otros, 2012), y presenta cuatro categorías: *débil* (0-14), *moderada* (15-29), *fuerte* (30-54) y *muy fuerte* (55-100). Esta definición permite efectuar una valoración rápida y precisa acerca del comportamiento anual del polvo, tanto sobre el territorio nacional, como para cada provincia, y establecer su comparación.

**ÍNDICE DE AFECTACIÓN (IA):** Es la razón entre el ITP provincial ( $ITP_p$ ) y el ITP nacional ( $ITP_t$ ), y se interpreta como la porción del efecto total del polvo para el territorio nacional correspondiente a la provincia (Jason p. Dunion and Christopher S. Velden, 2004).

## **Análisis de la intensidad de las temporadas de polvo en el período 1998–2009**

El análisis de la intensidad potencial de la temporada de polvo plantea un enfoque diferente, de valorar no un mes o una semana de mucho polvo, con su efecto directo sobre un proceso específico (como puede ser el asma bronquial), sino como el efecto total acumulativo de una temporada de polvo y sus consecuencias sobre sistemas como los arrecifes coralinos, acuíferos terrestres, floración de algas tóxicas marinas, bosques, hombre y animales.

El análisis de las temporadas sobre la base de estos principios revela el comportamiento estacional de las nubes de polvo del Sahara en el territorio nacional como un *todo* (Fig. 4) y en sus componentes integrales, las *provincias* (Fig. 5). Los mapas de polvo obtenidos a partir de las imágenes EP-TOMS y OMI *Aura* muestran los diversos escenarios.

### *Comportamiento del $ITP_T$*

La figura 4 muestra los mapas de  $ITP_T$  que caracterizan el período de estudio. El año 1998 revela niveles elevados de la intensidad (hasta 50 %), que disminuyen en 1999 a 45 % y continúan su descenso durante 2000 hasta 40 %, para producirse una caída brusca en 2001 (hasta 20 %), 2002, 2003 y 2004, los cuales establecen récords de intensidad potencial que, encabezados por 2002, que presenta los valores más altos, registran niveles de más de 55 %. El año 2005 representa una caída brusca de la intensidad potencial (hasta 20 %) que marca un declive para la presencia del polvo en la región, lo cual puede tener una influencia notable en la actividad ciclónica intensa de esta temporada.

Durante 2006, el  $ITP_T$  asciende con respecto al año precedente; sin embargo, de conjunto con 2007, 2008 y 2009, se mantiene en una cuenca de afectación por polvo cuyo valor de  $ITP_T$  no rebasa 30 %.

### *Comportamiento de $ITP_p$ provincial*

El análisis comparativo de las provincias para el período de estudio muestra diferentes niveles del  $ITP_p$  en el territorio nacional para cada año y los cambios dentro de los años estudiados para cada provincia (Fig. 5).

Los años correspondientes a la década de los noventa del siglo xx presentan niveles bajos  $ITP_p$  (caracterizados en la figura por los tonos claros), que tienen como límite superior el color verde. El año 2000 muestra niveles superiores para el  $ITP_p$ , con su valor más alto en Guantánamo, mientras que 2001 tiene los niveles más bajos de intensidad potencial sobre todo el territorio. En contraste, 2002 posee los colores más oscuros en correspondencia con los valores máximos de la intensidad potencial; este año resultó el de mayor  $ITP_p$  para el período analizado. Los años 2003 y 2004 presentan niveles de intensidad débiles a moderados y se alcanzan, en 2003, los valores más altos en Guantánamo y Pinar del Río; en 2004, el nivel más alto de la temporada lo tuvo Guantánamo. El año 2005, considerado de actividad mensual moderada en algunos meses, presentó un  $ITP_p$  bajo, correspondiente a los colores blanco y azul, que recuerdan a 2001, aunque no alcanza niveles tan bajos como este, y se aleja ostensiblemente de los años precedentes; por ello, puede ser considerado como el inicio de un período de declive en la intensidad potencial.

Los años 2006, 2007, 2008 y 2009 se encuentran en una cuenca o período de declive del  $ITP_p$ , lo cual se manifiesta en los tonos claros mostrados por los mapas anuales; durante estos años, el valor máximo de  $ITP_p$  se mantiene en Villa Clara, compartido, en 2008, con Sancti Spiritus.

## **Índice de afectación**

El índice de afectación (*IA*) permite hacer una valoración cuantitativa de la relación existente entre el país y la provincia, entre el todo y las partes, y establecer



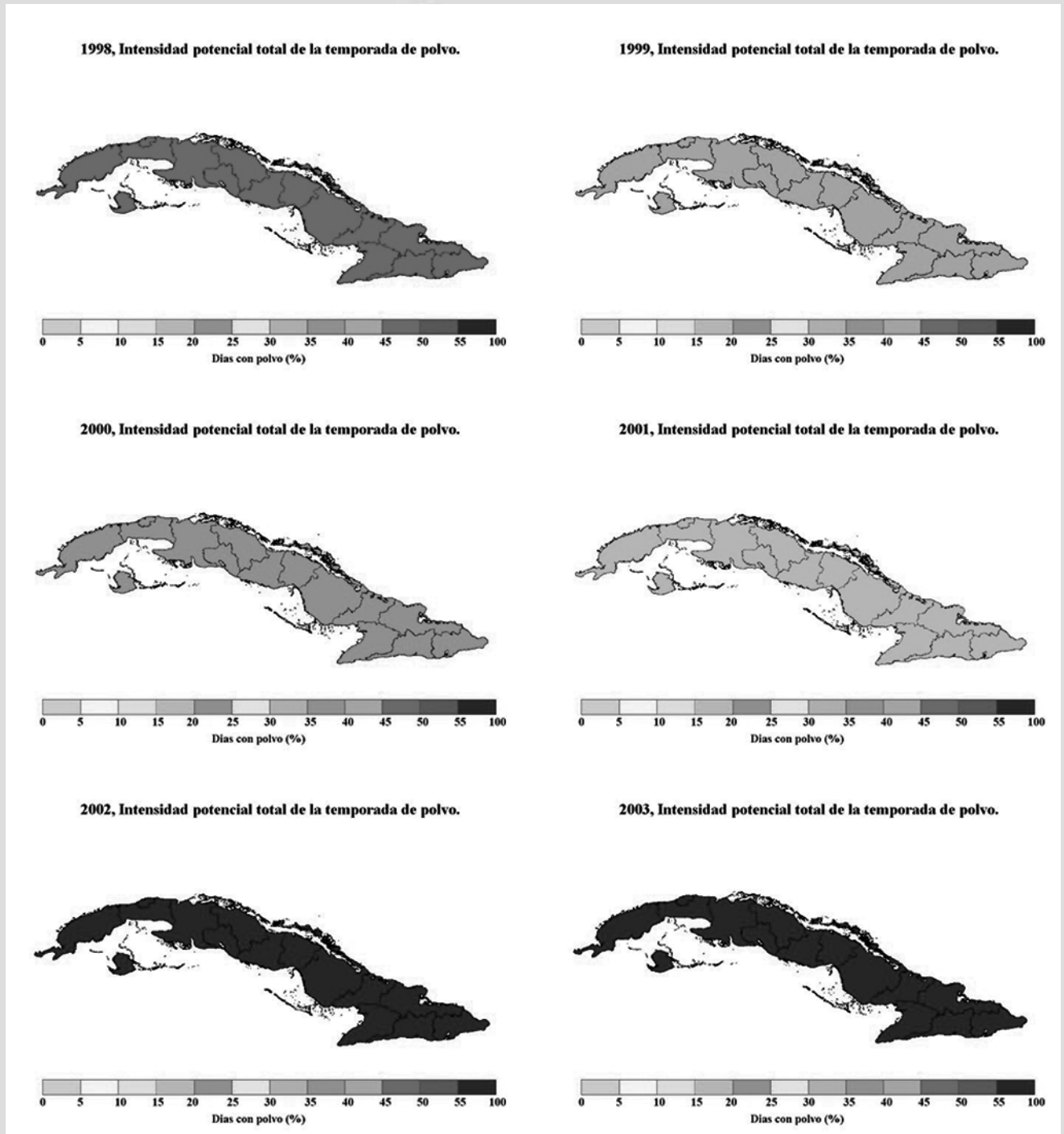
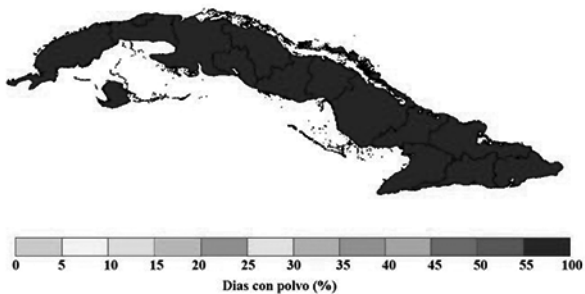
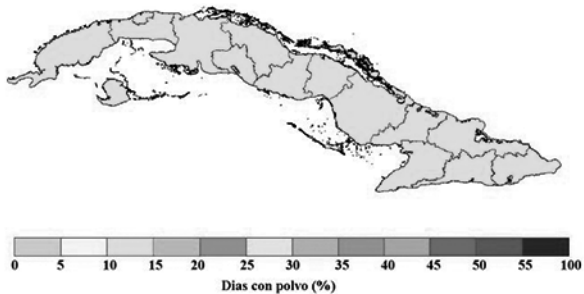


Fig. 4 Intensidad potencial de la temporada de polvo total por años.

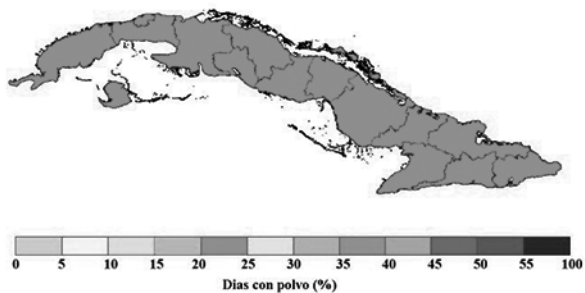
2004, Intensidad potencial total de la temporada de polvo.



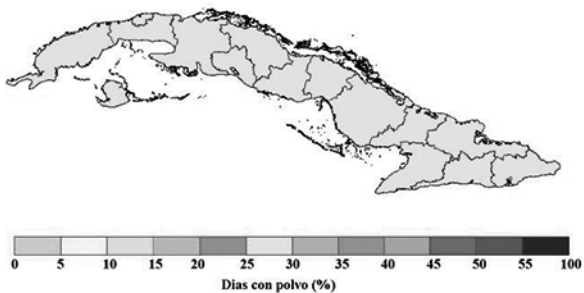
2005, Intensidad potencial total de la temporada de polvo.



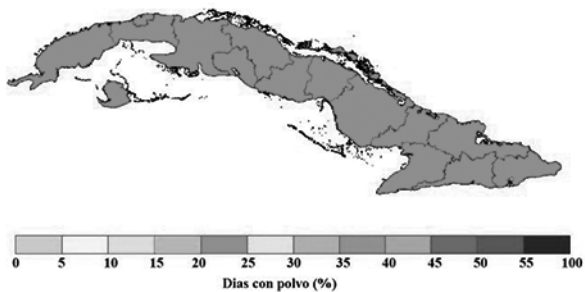
2006, Intensidad potencial total de la temporada de polvo.



2007, Intensidad potencial total de la temporada de polvo.



2008, Intensidad potencial total de la temporada de polvo.



2009, Intensidad potencial total de la temporada de polvo.

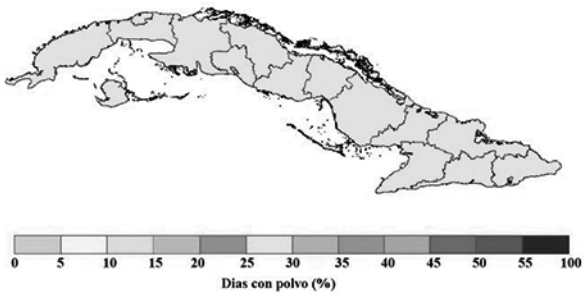


Fig. 4 Intensidad potencial de la temporada de polvo total por años. (cont)

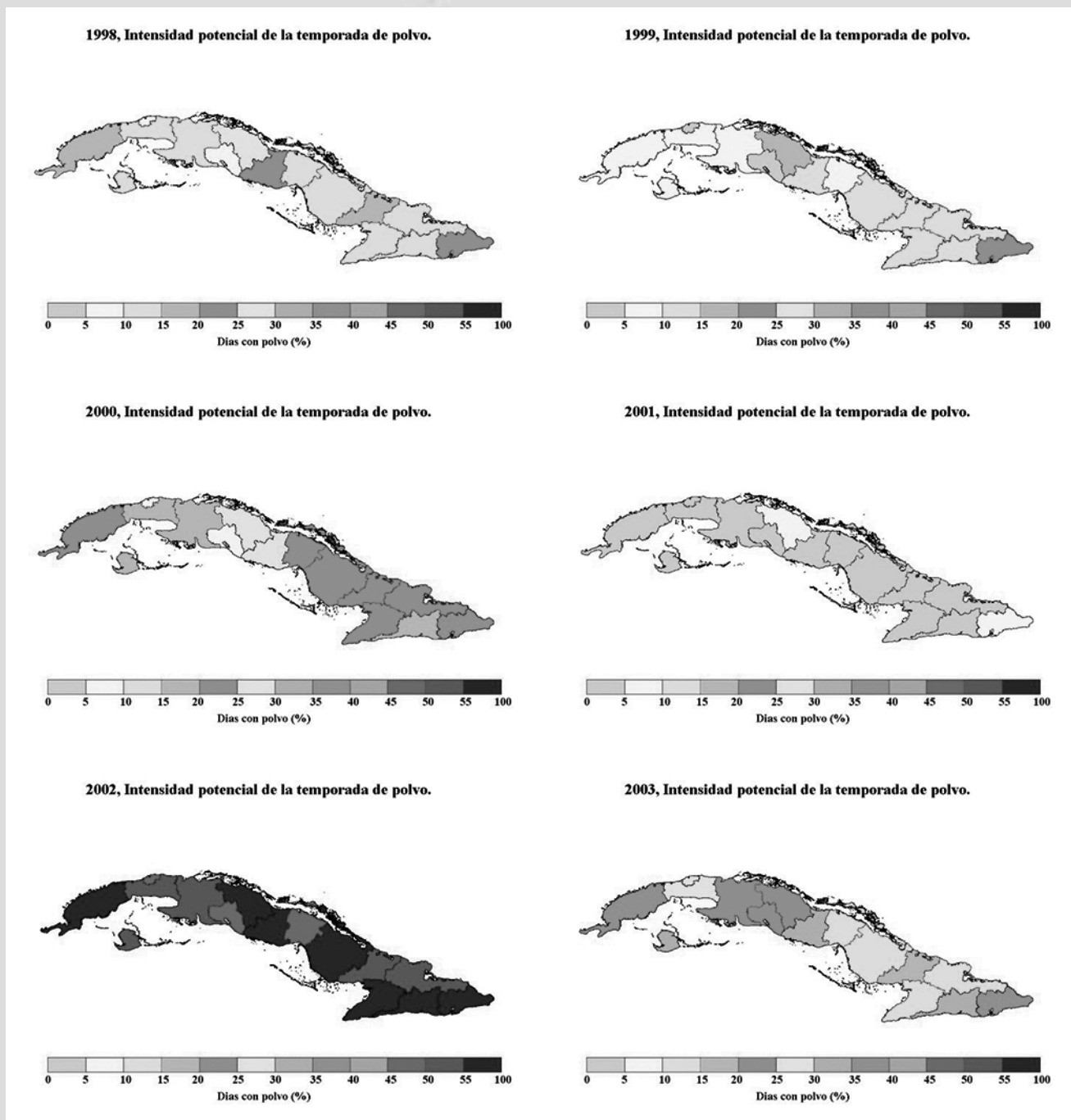


Fig. 5 Intensidad potencial por años.

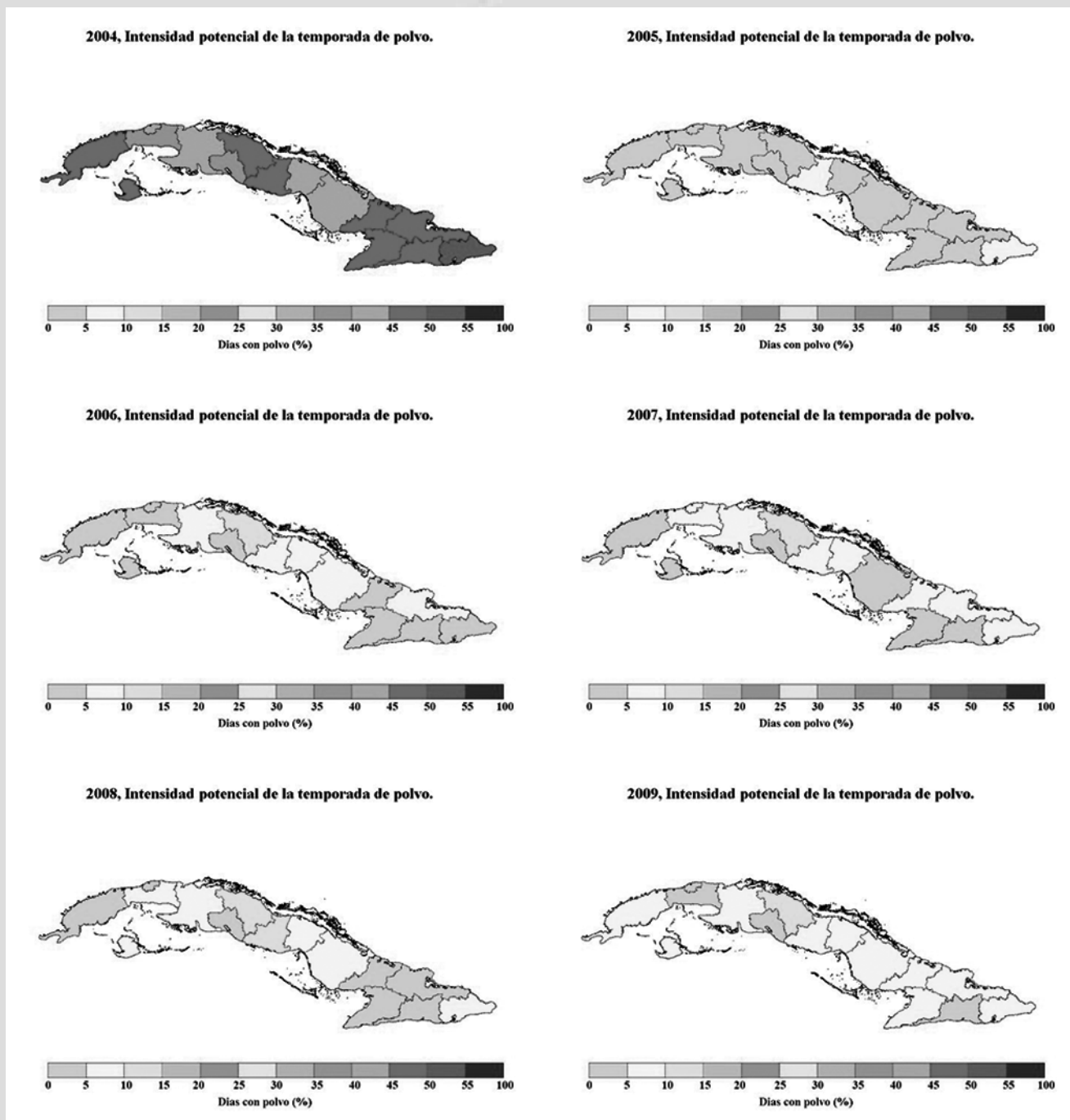


Fig. 5 Intensidad potencial por años. (cont)

una comparación entre los niveles de afectación de las diferentes provincias.

El análisis de la matriz de índice de afectación para el período de estudio (Tabla 1) muestra que el valor más alto corresponde a la provincia de Guantánamo en 2002 (0.83); el más bajo (0.10) correspondió a Granma, en 2006, mientras que el promedio más alto del período le tocó a Villa Clara (0.52), seguida de Guantánamo (0.50). Este indicador permite ubicar cada provincia según el efecto acumulativo total del polvo y compararlas entre sí para valorar dónde puede existir una mayor incidencia de los efectos de la temporada dentro del territorio nacional.

## Conclusiones

1. Las nubes de polvo procedentes del Sahara afectan, solamente, al territorio nacional de marzo a octubre, según la definición establecida para la temporada de polvo en Cuba.
2. El análisis de la curva de distribución de los por-

centajes máximos de días con polvo durante el período 1998-2009 muestra un comportamiento cíclico; este hecho constituye un criterio significativo para el estudio de la ocurrencia de las tormentas de polvo, el transporte y el arribo de las nubes, y el comportamiento de sus impactos en el Caribe.

3. Los registros máximos de días con polvo para el territorio nacional ocurren sobre todo en el verano, en julio o junio.
4. El análisis comparativo de los mapas de *ITPt* muestra una variabilidad anual marcada para el comportamiento de este indicador, lo cual establece también que los efectos totales de cada temporada son diferentes.
5. El análisis comparativo de los mapas de *ITPp* para una temporada específica evidencia una gran variabilidad en el comportamiento de este indicador entre las provincias, mientras que la comparación de los mapas en el período de estudio muestra, asimismo, una variabilidad marcada por provincia; ello implica que la

TABLA 1  
Índices de afectación para el período 1998-2009

Provincias	Índice de afectación												Prom.
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
Guantánamo	0.43	0.46	0.73	0.48	0.83	0.72	0.73	0.44	0.20	0.35	0.26	0.34	0.50
Santiago de Cuba	0.21	0.27	0.41	0.19	0.73	0.53	0.64	0.18	0.11	0.16	0.09	0.17	0.31
Granma	0.25	0.25	0.45	0.11	0.76	0.18	0.66	0.33	0.10	0.16	0.13	0.23	0.30
Holguín	0.26	0.29	0.43	0.13	0.67	0.19	0.65	0.28	0.25	0.29	0.19	0.29	0.33
Las Tunas	0.32	0.28	0.49	0.17	0.71	0.23	0.65	0.32	0.13	0.23	0.19	0.21	0.33
Camagüey	0.31	0.26	0.49	0.17	0.73	0.22	0.60	0.32	0.21	0.17	0.26	0.18	0.33
Ciego de Ávila	0.26	0.21	0.42	0.13	0.64	0.19	0.59	0.30	0.22	0.19	0.38	0.26	0.32
Sancti Spiritus	0.44	0.33	0.54	0.12	0.72	0.47	0.64	0.43	0.22	0.25	0.49	0.29	0.41
Villa Clara	0.57	0.42	0.58	0.51	0.76	0.36	0.68	0.35	0.66	0.47	0.54	0.39	0.52
Cienfuegos	0.17	0.07	0.18	0.11	0.61	0.36	0.50	0.11	0.13	0.16	0.19	0.15	0.23
Matanzas	0.28	0.12	0.31	0.20	0.67	0.34	0.61	0.22	0.24	0.27	0.27	0.23	0.31
Pinar del Río	0.32	0.19	0.42	0.19	0.73	0.57	0.62	0.18	0.07	0.11	0.15	0.29	0.32
Artemisa y Mayabeque	0.31	0.19	0.35	0.19	0.70	0.39	0.49	0.10	0.17	0.28	0.21	0.12	0.29
La Habana	0.17	0.09	0.19	0.13	0.59	0.44	0.56	0.15	0.11	0.25	0.19	0.17	0.25
Isla de la Juventud	0.27	0.15	0.39	0.19	0.67	0.50	0.62	0.28	0.12	0.14	0.25	0.25	0.32

intensidad total de una temporada de polvo se manifiesta de forma diferenciada en cada provincia, lo cual es también variable en el tiempo debido, en gran medida, a las particularidades del transporte de polvo.

6. El índice de afectación establece la relación del comportamiento estacional entre las provincias y la nación, y permite la comparación cuantitativa entre las diferentes provincias como una herramienta básica de trabajo.

## Referencias bibliográficas

- AMATO, T; EVAN, J. D; JONATHAN A, F; ANDREW, K; HEIDINGER, CH & VELDEN, S. 2006. "New evidence for a relationship between Atlantic tropical cyclone activity and African dust outbreaks", *Geophy Res. Let.*, 33, L19813.
- DUNION, J. P & VELDEN, C. S. 2004. "The impact of the Saharan air layer on Atlantic tropical cyclone activity", *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 85, 353-365.
- GARRISON, V.H; FOREMAN, W.T; GENUALDI, S; GRIFFIN, D. W; KELLOGG, C. A; MAJEWSKI, M. S; MOHAMMED, A; RAMSUBHAG, A; SHINN, E. A; SIMONICH, S. L; SMITH, G. W. 2006. "Saharan dust, a carrier of persistent organic pollutants, metals and microbes to the Caribbean", *Rev. Biol. Trop.*, 54.
- JASON P. D. & CHRISTOPHER, S. V. 2004. The impact of the Saharan air layer on Atlantic tropical cyclone activity, *American Meteorological Society*, 353.
- KRUEGER, B.J; GRASSIAN, V. H; COWIN, J. P & LASKIN, A. 2004. "Heterogeneous chemistry of individual mineral dust particles from different source region: importance of particle mineralogy", *Atmospheric Environment*, 38, 6253-6261.
- MICHELE, A. M. 2008. "Saharan dust clouds and human health in the English-speaking Caribbean: what we know and don't know", *Environ Geochem Health*, 30, 339-343.
- MOJENA, E. 2011. Las tormentas de polvo del Sahara. Su impacto sobre la ciclogénesis y la evolución de los ciclones tropicales en el Atlántico Norte. Congreso de Meteorología 2011, La Habana, nov., 2011.
- MOJENA, E. 2012. Proyecto de investigación. Caracterización de la presencia de las nubes de polvo del Sahara sobre el Atlántico, el Caribe, el Golfo de México y Cuba, Insmet.
- NATALIE, M. M. & JEAN, L. D. 2004. "Sensitivity of TOMS aerosol index to boundary layer height: Implications for detection of mineral aerosol sources. *Geophysical research letters*", 31 L03103.
- SUÁREZ, E. B; MATTA, J. L; ROLÓN, M; MALDONADO, L; DETRÉS, Y; DE LA MOTTA, A; GELADO, M; RAMOS, J & ARMSTRONG, R. 2008. "Molecular identification of the bacterial burden in Sahara Dust Samples using a new method to improve the evidence for the effective management of public health measures during an SD event", *Journal of Environmental Health Research*, 07, <http://www.jehr-online.org>.
- ENGELSTAEDTER, S; TEGEN, I & WASHINGTON, R. 2006. "North African dust emissions and transport", *Earth-Science Reviews*, 79, 73-100.
- U. S. Geological Survey. USGS Open-File Report 03-028, jan., 2003.

## Acrónimos

- AI (Aerosol Index, AI): Índice implementado para el monitoreo del transporte a gran escala de ceniza volcánica, humo y polvo, el cual es derivado de los datos obtenidos por los sensores TOMS y OMI.
- AM: Actividad mensual.
- Aura* (en latín, *brisa*): Programa de la NASA dedicado a monitorear, mediante satélites y sistemas de datos, las interacciones complejas que afectan al planeta.
- Earth-Probe*: Satélite de órbita circumpolar lanzado el 2 de julio de 1996 por la NASA.
- Eumetsat: European Organisation for the Exploita-

- tion of Meteorological Satellites.
- GOES: Geostationary Operational Environmental Satellites.
- IA: Índice de afectación. Razón entre el *ITPp* y el *ITPt*.
- IRA: Infecciones respiratorias agudas.
- ITPp: Intensidad de la temporada de polvo provincial.
- ITPt: Intensidad de la temporada de polvo nacional.
- Meteosat (Meteorological Satellite): Familia de satélites geoestacionarios administrados por Eumetsat.
- OMI (Ozone Monitoring Instrument): Instrumento a bordo del satélite *Aura*.
- TaiSat: Software desarrollado para la manipulación de datos de *AI* por el Departamento de Satélites del Instituto de Meteorología.
- TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer): Instrumento a bordo del satélite *Earth-Probe*.