

Indices climáticos para la determinación y simulación de las señales de la variabilidad climática en diferentes escalas espacio temporales.

Autores: PAULO LÁZARO ORTIZ BULTÓ Y ALINA RIVERO VALENCIA.

Centro del Clima. Instituto de Meteorología. E-mail: paulo@met.inf.cu. riverovalencia@yahoo.com

Resumen

En este artículo se presenta la explicación para la formulación del índice climático (índice de Bultó ó IBt,r,p), el cual es usado para simular las anomalías climáticas en diferentes escalas espacio temporales. Este nuevo índice IBt,r,p permite integrar los elementos principales del clima para caracterizar la región de estudio mediante la autocorrelación de la observación y la Función Ortogonal Empírica (EOF). El mismo se basa en el cálculo del comportamiento simultáneo a escala mensual de las variables climáticas seleccionadas; temperatura máxima y mínima media del aire, precipitación, número de días con precipitación, presión atmosférica, tensión de vapor de agua, humedad relativa y radiación e insolación solar. Se obtienen tres modas climatológicas; la primera describe la variación entre los meses e intraestacional, además caracteriza el patrón estacional del territorio, la segunda, define los niveles de energía solar que modulan el clima en Cuba, la tercera, simula el signo de la variabilidad decadal, inter-anual e inter-estacional, como por ejemplo, las anomalías asociadas al evento El Niño - Oscilación del Sur (ENOS), la Oscilación Cuasi-bienal (QBO) o los efectos moduladores de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). Por consiguiente, el peso que aporta cada componente, fué utilizado para obtener los índices climáticos.

Palabras claves: Índice climático, Índice de Bultó, Función Ortogonal Empírica, variables climáticas.

Introducción.

La evaluación de los impactos reales y potenciales de los cambios climáticos en la salud humana ha sido una de las tareas principales para la comunidad científica puesto que se proponen retos que la ciencia aún debe indagar. Los esfuerzos para explicar estos desafíos se deben centrar primero, en dilucidar de forma anticipada como los cambios climáticos dados por la acción del hombre traen afectaciones a la salud humana, teniendo en cuenta que estos fenómenos extremos puedan estar ocurriendo o hayan comenzado a ocurrir en la escala de la variabilidad como expresión primaria (IPCC, 2001). Por tanto, la identificación de tales efectos requerirá la realización de estudios epidemiológicos cuidadosamente planificados centrandó la atención a los cambios y variaciones de la intensidad de la variabilidad climática.

Por otra parte, resulta importante reconocer que ciertos factores pueden modificar la vulnerabilidad de la salud de una población particular. Los impactos de los cambios climáticos o de la señal de su variabilidad, como expresión primaria del mismo, pueden estar inducidos por factores endógenos de esa población como la nutrición, el estado inmunológico, la

urbanización no planificada, acceso a aires acondicionados, redistribución de los territorios de cultivo o cambio en los métodos de irrigación, entre otros. (WHO, 2003)

Las predicciones climáticas pueden ser usadas como una vía de preparación ante la variabilidad climática y los eventos extremos, luego, contar con indicadores que describan al clima y sus variaciones de forma integradora resulta de gran importancia para determinar los impactos sobre la salud humana.

Las reflexiones anteriores nos llevan a pensar en un redimensionamiento de los enfoques para los estudios sobre clima-salud, a partir de considerar índices complejos que permitan simular los efectos interrelacionados que se dan entre los elementos y factores formadores del clima. De esta manera podemos contar con una cuantificación de las interacciones y anomalías que se producen en los procesos formadores del clima y concebido como un sistema interactuando de manera dinámica e interrelacionada, con respuestas de feedback, donde las anomalías recogidas en los indicadores que describen las señales de la variabilidad climática por encima de la variabilidad típica en sus diferentes escalas se conciben como estrés climático o agentes desencadenantes de situaciones epidémicas.

El incremento de las variaciones del clima pueden también generar cambios ecológicos, socioeconómicos y aumento o disminución del período de incubación y transmisión de los organismos patógenos los cuales son en extremo sensibles a las fluctuaciones climáticas, pudiendo ocasionar importantes efectos en la Salud humana llegando a ser adversos.

Hemos desarrollado un enfoque partiendo de considerar índices complejos de acuerdo con lo expresado por Basilevsky en 1994. Uno de los primeros en aplicar las funciones ortogonales en series de tiempo fue Rhodes en 1937, quien intentó usar los valores factoriales (scores factor) para construir un índice general en la actividad de negocio de la economía británica. Rhodes seleccionó un juego de indicadores principales de actividad comercial, y entonces usó las series para computar un índice general tomando el primer factor dominante que explicó la parte mayor de la variación. Sin embargo, este modo de proceder es algo anticuado por esta razón su uso ha sido reemplazado por el modelo ordinario de los componentes principales o Función Ortogonal Empírica (EOF), (Peters y Mayordomo, 1970; Jaumotte et al, 1971; Bartels, 1977). Aunque también pueden ser usados modelos de ponderación dependiendo de la especificación de los términos del error.

Por todo lo expresado anteriormente se explicará en detalles la construcción del índice climático (índice de Bultó o $IB_{t,r,p}$) aplicando las Función Ortogonal Empírica, que pueden usarse para simular las anomalías climáticas en diferentes escalas espacio-temporales, así como para los estudios de las relaciones entre el clima y la salud humana con el objetivo de hacer predicciones de las condiciones de riesgos para la aparición de epidemias y/o brotes de enfermedades.

Materiales y métodos.

Materiales:

Para la formulación, validación e interpretación del índice se usaron dos bases de datos, una referida a las variables climáticas en superficie y la segunda a los índices de escala global.

Datos climáticos:

La base de datos en una escala temporal mensual integra la siguiente información: temperatura máxima y mínima media del aire (TX, y TN) (°C), oscilación térmica media del aire (OT) (°C), humedad relativa media del aire (HR) (%), tensión de vapor de agua media (TVA) (mm), insolación media (IS) (horas), radiación solar global media (RS) (MJ/m²) presión

atmosférica media a nivel del mar (PA) (hpa), precipitación total (PREC) (mm), número de días con precipitación ≥ 0.1 mm (NDPRE) y la densidad de oxígeno disuelto en el aire (DDO). Estos elementos climáticos fueron obtenidos de 55 estaciones meteorológicas distribuidas en todo el territorio nacional con un buen nivel de calidad desde el año 1981 hasta el 2002.

Datos sobre los índices de Circulación:

Se usaron tres índices cuya información está disponible en la base de datos de la NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center (CDC), la Oscilación Cuasi-Bienal (QBO), la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y el Índice Multivariado de Eventos ENOS (MEI) para el período comprendido entre 1981 al 2002. Estos índices pueden ser considerados como una expresión del forzamiento de la variabilidad inter anual y decadal en la región de estudio.

Métodos:

El Análisis de Componente Principal (PCA), también conocido como Función Ortogonal Empírica (EOF), permite describir la variación total de un conjunto de n puntos en un espacio p dimensional por la introducción de un nuevo conjunto de p variables ortogonales e incorrelacionadas. El nuevo conjunto es conformado tomando combinaciones lineales normalizadas del conjunto original de forma tal que la variable r -ésima generada tiene la r -ésima varianza más grande (Dillon y Goldstein 1984). Esta técnica ha sido usada ampliamente en la meteorología y su introducción en este campo de la ciencia se debe a Lorenz (1956). La EOF es una técnica objetiva usada para detectar y caracterizar la estructura lineal óptima en una dimensión menor de conjuntos de datos multivariados y es uno de los métodos más importantes usados en los libros de geoestadística multivariada. Otra aplicación de la EOF es para estimar funciones tales, como índices estandarizados los cuales estiman los procesos que dan origen a las observaciones de series de tiempo (Basilevsky, 1994).

Ya que la series de tiempo son función del tiempo, entonces la correlación entre las observaciones, son a menudo usadas como la variación temporal, resultado de la presencia (comunes) de funciones temporales las cuales pueden ser estimadas por los valores del factor (Factor scores) (Basilevsky, 1994). La ventaja de usar análisis factorial para estimar tales funciones, es que las formas analíticas de las funciones no necesitan ser conocidas a priori, por lo tanto pueden ser vistas como funciones empíricas que maximizan la varianza (correlación) entre la serie observada. Así los valores del factor pueden expresarse como:

$$F_1 = f_1(t), F_2 = f_2(t), \dots, F_n = f_n(t) \quad (1)$$

Las funciones de tiempo de este tipo (1) también son conocidas como funciones de tiempo empíricas. Dependiendo de la naturaleza de la serie de tiempo observada, donde cada función $f_1(t) \dots f_n(t)$ describe las tendencias de tiempo, fluctuación estacional, o interanual u otra amplitud de la señal de la variabilidad. En nuestro caso usaremos los resultados de los valores del factor en el tiempo como índices estandarizados.

Basado en estas funciones o índices ($IB_{t,r,p}$) establecidos, a partir del uso de los valores de las funciones ortogonales empíricas se generaron las series temporales que contienen las diferentes señales y tendencias de la variabilidad climática, las cuales se utilizaron para la implementación de los estudios geoestadísticos y de series temporales, de manera que se facilite el análisis en un espacio multivariado ortogonal, permitiendo establecer las asociaciones entre las variables y factores formadores del clima los cuales podemos ahora expresar interactuando de manera compleja e integrada y así simular el clima alcanzando una mejor comprensión de su dinámica tanto espacial como temporal de una manera mas objetiva que en otros estudios donde se hace uso de uno o dos elementos o indicadores tradicionalmente usados como es el caso de la temperatura media y la precipitación. Por ello hemos comenzado de considerar índices complejos para simular y explicar las acciones combinadas de los procesos de salud y el clima.

Ecuación general para la formulación de los Índices Climáticos ($IB_{t,r,p}$)

Así, los valores ponderados resultantes para cada componente fueron empleados para obtener el índice climático que representa, en cada factor la fuente principal de variación señalada, según la ecuación (Ortiz et al,2000):

$$IB_{t,r,p} = \sum_1^n \alpha_\varepsilon \left[\frac{\omega_{\varepsilon,t} - \bar{\omega}_\varepsilon}{\sigma_\varepsilon} \right] \quad (2)$$

$IB_{t,r,p}$: Índice Bultó , que expresa la señal de la variabilidad en el tiempo t, de la región r, del país p .

Donde:

ε : Parámetro que describe los elementos del clima, que caracterizan la región de estudio .

α_ε : Coeficientes que definen el peso para cada elemento.

$\omega_{\varepsilon,t}$: Es la serie del elemento climático e en el tiempo t.

$\bar{\omega}_\varepsilon$: Valores medios de los elementos del clima.

σ_ε : Desviación estándar del elemento climático $\omega_{\varepsilon,t}$

El resultado de los valores del factor pueden usarse como índices estandarizados los cuales estiman el proceso que dió lugar a la serie de tiempo de las observaciones (Basilevsky, 1994) (Ortiz,1998) (Ortiz, 2003a).

Resultados:

Análisis de la varianza explicada y contribución de las variables a los índices.

Después de usar como criterio los resultados de las funciones ortogonales empíricas y de observar que para cada estación meteorológica se presentan características muy similares respecto a la contribución de cada factor y de su varianza explicada, Tabla I, decidimos proponer tres índices, ya que en su conjunto son capaces de explicar el 89% de la varianza total del clima en nuestra región de estudio, logrando simular adecuadamente las características físico geográficas mediante las variables o factores que tienen mayor aporte a la interpretación de los indicadores y que nos permiten proponer las ecuaciones generales de los mismos. Tabla II.

Tabla I. Número de factores seleccionados y varianza explicada por cada factor.

Factores	Valores propios	Por ciento de varianza explicada	Por ciento de varianza acumulada
1	6.085671	55.32428	55.32428
2	2.531861	23.01692	78.34121
3	.903549	8.21408	86.55529

Debemos señalar que aunque todas las variables iniciales utilizadas para la conformación de los índices no tuvieron la misma contribución a los mismos están serán usadas, en la Tabla II.

Tabla II. Contribución de las variables más representativas atendiendo a las cargas sobre el índice.

País	Variables y ponderaciones para cada índice (IB _{t,r,p})
Cuba	$IB_{t,1,C} = .822(TX) + .824(TN) + .731(PREC) + .872(NDPRE) + .914(TVA) + .699(HR) + .841(DOA)$ $IB_{t,2,C} = -.519(TX) + .888(INS) - .910(RAD)$ $IB_{t,3,P} = .841(OSC) + .744(PRES)$

Donde:

IB t,1,C: Describe las características climáticas estacionales.

IB t,2,C: Refleja las variaciones estacional e interanual de la radiación solar global y el brillo solar.

IB t,3,P: Expresa la señal de la respuesta de circulación en superficie.

Discusión de los resultados.

Interpretación de los índices propuestos.

La formulación de uno o varios índices no concluye si antes no se realiza un análisis detallado donde se determine la manera en que las variables que lo integran están interactuando y expresando las interrelaciones del fenómeno bajo objeto de estudio de manera que nos garantice la mayor claridad y objetividad de lo que estos están describiendo, por lo que se infiere que si importante es formular una ecuación más importante es su interpretación y análisis para que realmente estos tengan la utilidad para lo cual han sido creados.

Interpretación del IB t,1,C

El primer índice o factor revela la interacción entre los elementos TX, TN, PREC, NDPREC, TVA, HR, DOA, variables que describen el comportamiento del régimen térmico, pluviométrico e higrométrico, luego éste lo podemos caracterizar de la siguiente manera.

IB t,1,C: Describe las características climáticas estacionales, en última instancia es un reflejo del lugar que ocupa la circulación atmosférica como factor que determina la variación estacional del clima en Cuba (predominio del anticiclón migratorio del Atlántico o del Anticiclón continental). En esta componente el peso fundamental lo tienen las variables representativas del régimen térmico, higrométrico y pluviométrico como se comentó anteriormente, por lo que el IB t,1,C define la señal de las estaciones climáticas fundamentales del clima en Cuba y su dinámica en el tiempo y espacio, en el período lluvioso (más cálido y húmedo) el índice alcanza valores positivos y en el poco lluvioso (más fresco y seco)

toma valores negativos. En este factor se refleja también la señal del evento que mayor impacto causa sobre las variaciones estacionales del clima de un año a otro: el ENOS ya que recoge las anomalías producidas por él ante la presencia de una influencia de mayor o menor intensidad de los Oestes bajo condiciones de evento ENOS en el periodo invernal trayendo consigo un aumento de la variabilidad.

Interpretación del IB t,2,C

El segundo índice revela las interacciones de las variables INS, RAD y TX las cuales tienen las mayores contribuciones a la componentes, debido a los valores de sus ponderaciones, luego este describe claramente el comportamiento de los niveles de energía solar global caracterizándolo de la siguiente forma.

IB t,2,C . Refleja las variaciones estacional e interanual de la radiación solar global y el brillo solar como factores que condicionan el comportamiento de variables como la temperatura y la humedad, por lo que este factor describe las variaciones de la luminosidad (brillo solar) y de la energía solar exterior que modula el clima en Cuba, es decir identifica los niveles de energía solar donde los valores positivos están asociados a un alto nivel de energía y los valores negativos a un bajo nivel de energía.

Interpretación del IB t,3,C

El tercer índice es modulado fundamentalmente por las variables OSC y PRES las cuales caracterizan el comportamiento del mismo, pudiéndolo interpretar de la siguiente manera.

IB t,3,C: Describe las características climáticas de las variaciones y los contrastes del campo térmico y bórico que se produce dentro de cada mes, manifestando la señal de la respuesta de la circulación en superficie. En el se evidencia la influencia sobre el área de estudio de dos campos bóricos, el campo bórico de Texas el cual modula el clima de la región más occidental del país y el campo bórico de las Antillas que influye sobre el clima de la región más oriental aspecto este que coincide con los resultados de Ortiz y Rivero, (2003b). También se refleja la señal del ENOS, evento que mayor impacto

causa sobre la variabilidad inter-anual del clima en Cuba y sus vínculos con el campo de presiones, variable que mejor refleja las anomalías producidas por este evento en la circulación atmosférica de nuestra área geográfica ya que recoge de alguna manera la presencia de la mayor o menor intensidad de los Oestes bajo su influencia en el periodo poco lluvioso donde aumenta la variabilidad. Entonces lo podemos nombrar como índice de variabilidad o contraste estacional del campo presiones.

Análisis de los diferentes patrones espacio-temporal de la variabilidad mostrada a través de los índices definidos.

En los estudios de la variabilidad climática no solo debemos considerar la variabilidad espacial, sino también la temporal, ya que esta se puede manifestar en cinco escalas fundamentales: escala intraestacional (aparecen los fenómenos como la sequía estival o veranillo); la escala estacional (donde se enmarcan los periodos lluvioso y poco lluvioso, la escala interanual (se refleja la señal del ENOS y otros elementos); decadal e interdecadal (donde se encuentran las fluctuaciones climáticas de pequeños ciclos)

Conocer en que escala se enmarcan las anomalías de la variabilidad y sus tendencias, nos brinda una herramienta práctica y necesaria para identificar como estas pueden afectar la actividad en los seres humanos, los indicadores ecológicos y la transmisión biológica trayendo como consecuencia cambios en los patrones epidemiológicos de la enfermedades.

Análisis temporal del IB_{t,1,C}

En la Figura 1 se muestra el corte temporal del IB_{t,1,C} donde se observan dos zonas muy bien definidas que describen las variaciones fundamentales del periodo lluvioso y poco lluvioso en Cuba; los valores positivos corresponden al primer periodo el cual esta asociado con la influencia sobre nuestra región de la dorsal del anticiclón del Atlántico, mientras que los valores negativos representan el segundo periodo los cuales están vinculados con la influencia de los sistemas extratropicales.

En esta misma figura podemos observar claramente una tendencia al aumento de las anomalías positivas en los meses comprendidos entre septiembre a diciembre lo cual reflejan los cambios e intensificación de la señal de la variabilidad interanual y decadal la cual puede estar asociada al cambio del patrón de variación estacional debido a la expansión temporal de las condiciones asociadas al verano como consecuencia del desplazamiento en la franja de alta variación estacional en la década de los 70 ya descrito por Naranjo en (1998). Tendencia que a continuado fortaleciéndose haciendo que nuestro periodo poco lluvioso sea más cálido y húmedo, situación esta que tiene una implicación en el comportamiento de los patrones epidemiológicos, ecológicos, así como en las respuestas fisiológicas de los seres humanos que se ven mas expuestos por mayor tiempo a condiciones de estrés climático pues se afecta la sensación de bienestar para valores extremos del mismo.

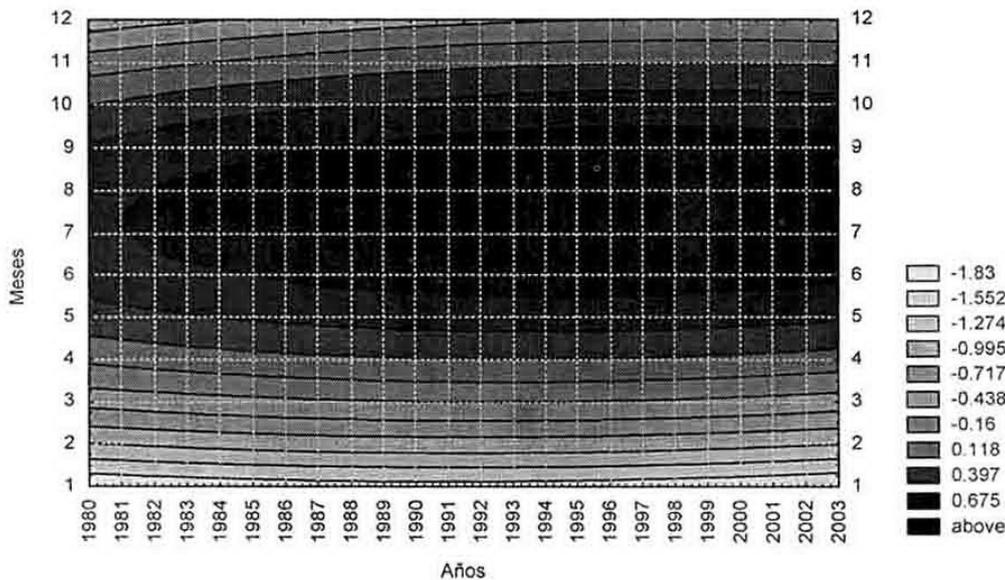
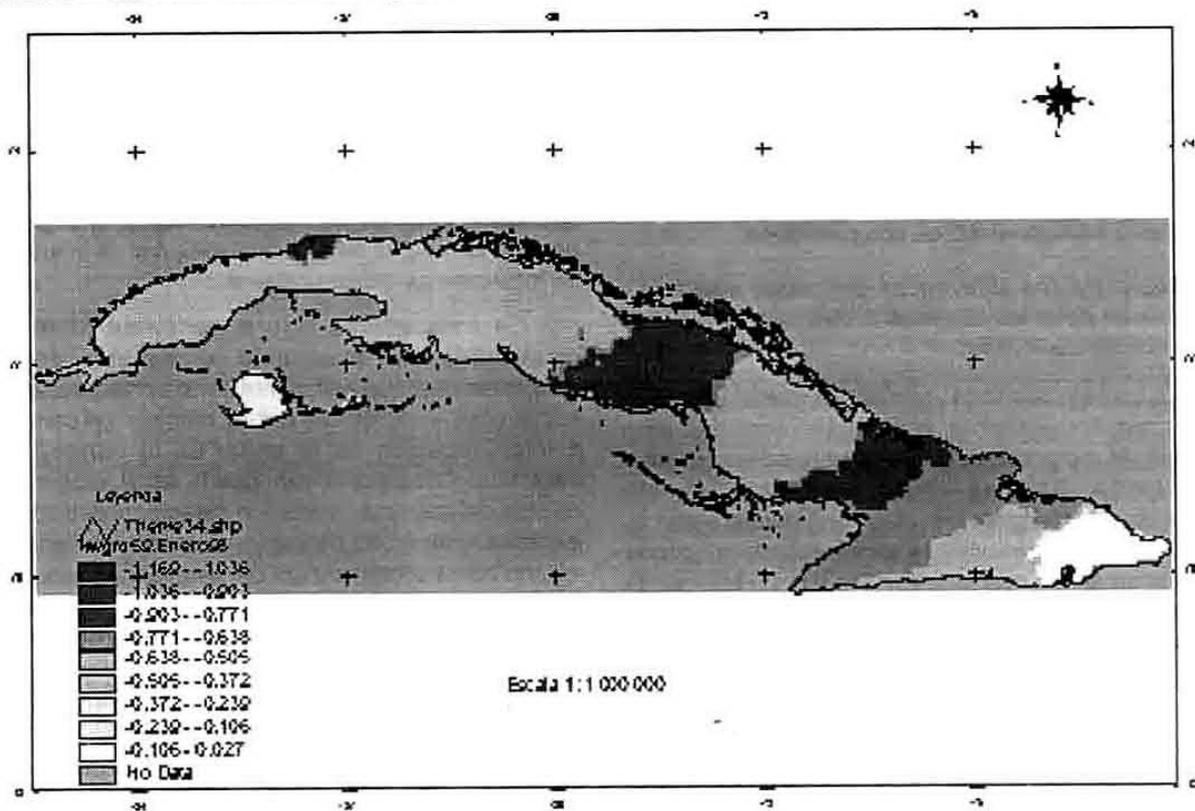


Fig. 1. Configuración de corte temporal del IB_{t,1,C}.

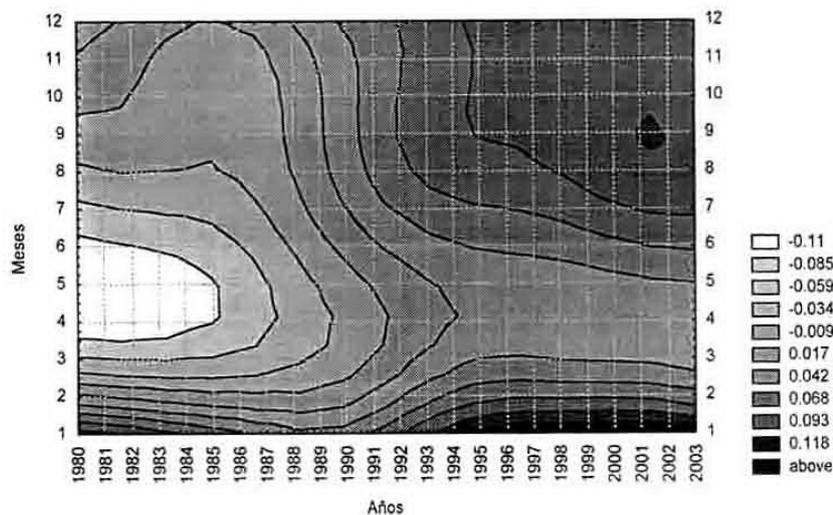
Al efectuar un corte longitudinal y hacer el análisis del mes de enero para los años 1981 y 1998, se evidencian los cambios anteriormente señalados. Figura II



Análisis temporal del $IB_{t,3,c}$

En el corte temporal del $IB_{t,3,c}$ Figura III, se presenta una configuración que define como la estructura del patrón de variabilidad deja claramente identificado en la componente estacional una

tendencia al aumento de las frecuencia de anomalías positivas sobre todo a partir de la década de los 90 y en los meses de septiembre a octubre lo que reafirma el proceso de expansión temporal del verano ya descrita en el análisis del índice $IB_{t,1,c}$



Un resultado similar se obtiene al realizar un corte longitudinal, evidenciándose un claro fortalecimiento de los contrastes entre la transición del período poco

lluvioso al lluvioso, a diferencia de la transición del período lluvioso al poco lluvioso donde prácticamente el primero se prolonga hasta diciembre. Figura IV.

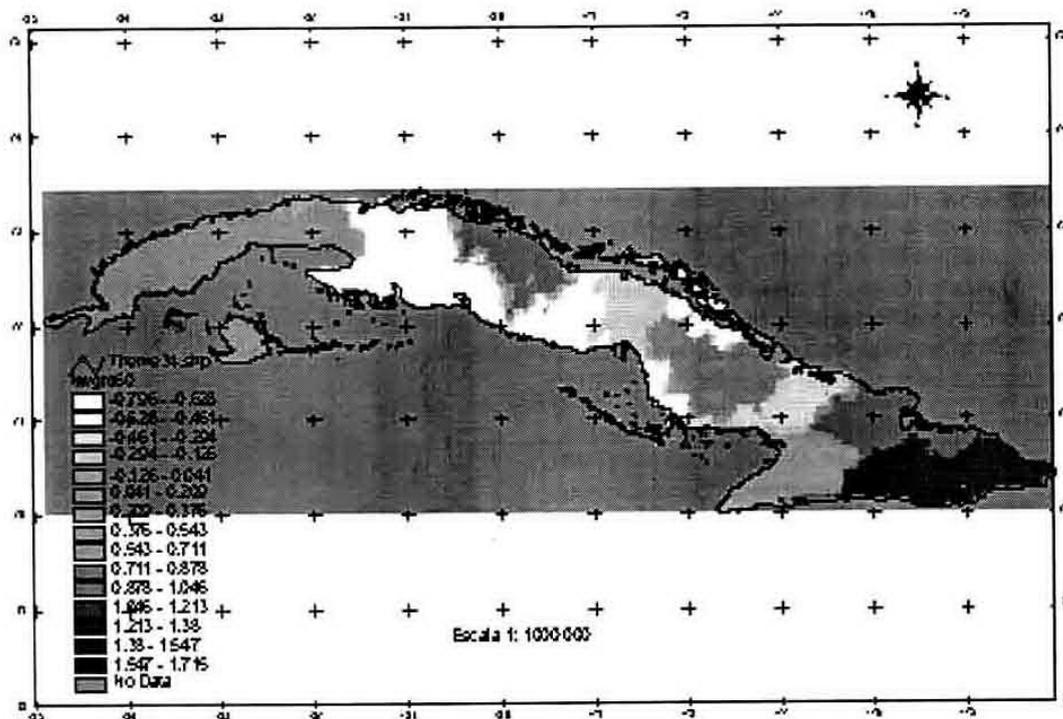


Fig. IV. Tendencia de la variación espacial del $IB_{t,3,C}$ para enero del 1998.

Estos resultados son consistentes con las configuraciones encontradas por Naranjo (1999) quien para la década de los 80 y principios de los 90, describió el comienzo de una tendencia en la expansión de los veranos de los meses de octubre - noviembre en el campo de presión de 500 hpa señalando además un desplazamiento de la franja de alta variabilidad estacional en los meses de septiembre - octubre hacia los meses de noviembre - diciembre aspecto que se refleja claramente en la estructura del patrón del $IB_{t,1,C}$, confirmando lo expuesto antes en el análisis del $IB_{t,1,C}$. Luego aquí se muestra claramente que este índice recoge señal de variación del campo de presiones en superficie la cual es modificada por el factor orográfico.

Análisis espacial del $IB_{t,1,C}$

Los cambios de signos del $IB_{t,1,C}$ en los meses de abril y noviembre coinciden con los cambios de la circulación de la atmósfera que dan paso al período lluvioso y poco lluvioso respectivamente. En los meses en que el índice toma valores negativos indica la influencia sobre nuestro país de organismos de la circulación atmosférica extratropical Figura III.

Por otra parte valores positivos del índice indican el predominio del Anticiclón Azores - Bermudas, trayendo sobre nuestro país masas de aire más cálidas y húmedas con una reducción de las variaciones u oscilaciones térmicas, aspecto este que se corrobora en la estructura y comportamiento del $IB_{t,3,C}$ como observaremos posteriormente.

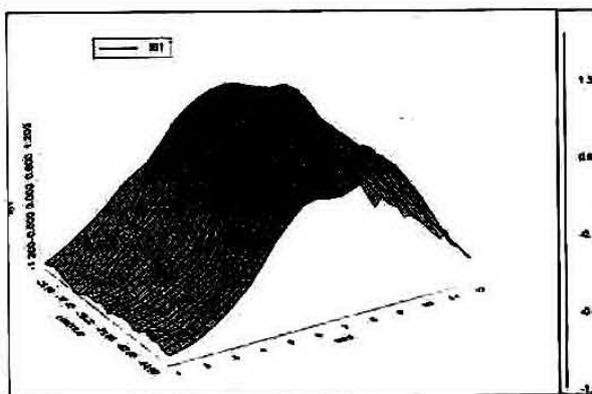


Fig. V Patrón espacial de la estacionalidad observada de Oeste a Este. Simulada por el $IB_{t,1,C}$.

Otro elemento interesante que también ha sido simulado con el comportamiento del índice, son las variaciones en los períodos de transición en el país que no se producen de manera similar ni con la misma intensidad en cuanto a los valores del índice y los contrastes entre un período y otro observándose en la Figura V, que este muestra un patrón de variación de Oeste a Este del país.

Por ejemplo para el caso de la transición del período lluvioso al poco lluvioso se observa que el comportamiento de los valores del IB $t_{1,C}$ están en correspondencia con la mayor o menor profundización del anticiclón continental que define el comienzo del flujo de los Oestes en Cuba, los cuales dan paso a la temporada poco lluviosa quedando bien caracterizada esta señal donde se observa un retardo en la parte oriental respecto a al occidental del país.

También resulta interesante destacar que los máximos valores del índice se asocian con las zonas costeras del país las cuales presenta condiciones más cálidas que las del interior como promedio. Figura VI

Las variaciones espacio temporal de este índice denotan la diferencia entre las zonas costeras y el centro del país delimitando de manera clara el patrón estacional y sus variaciones, con una tendencia muy marcada a los altos valores en el período lluvioso sobre todo en la zona Este del territorio a diferencia de la Zona Oeste.

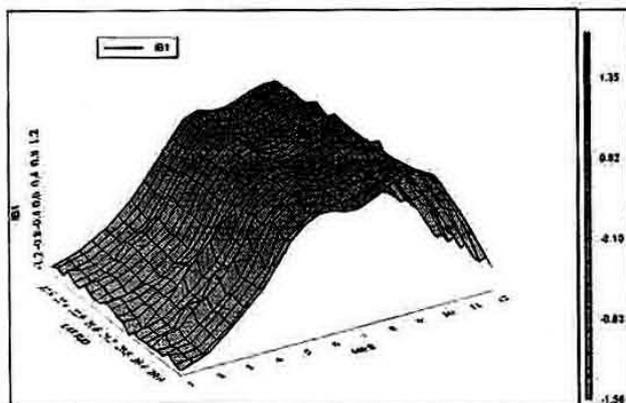


Fig. VI. Patrón espacial de la estacionalidad observado de Norte a Sur. Simulada por el IB $t_{1,C}$

Análisis temporal del IB $t_{3,C}$.

En la Figura VII, presentamos la variabilidad espacial y temporal según muestran los valores del IB $t_{3,C}$, con un patrón multimodal que varía de Oeste a Este, donde, las modas más altas se enmarcan en los meses de abril-mayo, septiembre-octubre y diciembre-enero, alcanzando los picos máximos en los meses de transición de una temporada a otra como consecuencia de los cambios en la circulación atmosférica. Las variaciones observadas en el período

de mayo a octubre están asociadas a las anomalías positivas de la temperatura y al déficit de precipitación donde el índice toma valores positivos, mientras que las variaciones en el período poco lluvioso están asociadas a la influencia del anticiclón continental sobre nuestra área que provoca un descenso de las temperaturas y un cambio en los valores de presión y de la densidad de oxígeno; estas variaciones en el período poco lluvioso están moduladas por la presencia o no de efecto ENOS, lo que provoca que se magnifiquen los rangos de variación; efecto este que influye también en el período lluvioso pero que es menos perceptible.

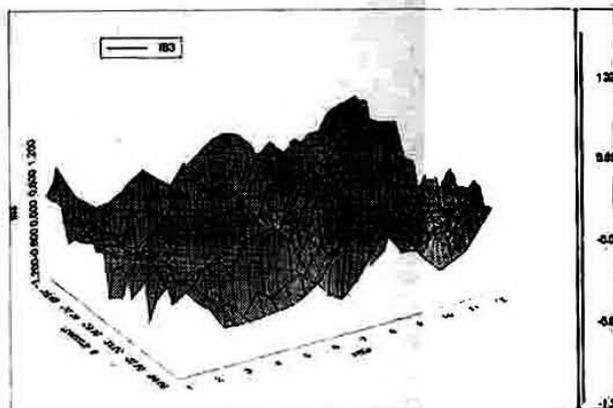


Fig. VII. Patrón de variabilidad espacial observado de Oeste a Este. Simulado por el IB $t_{3,C}$

En la Figura VIII, se aprecia una clara variación de costa Sur a Norte, dejando bien definido dos patrones, un patrón costero (variaciones más pronunciadas) y otro para el centro de la isla (variaciones menos pronunciadas). Otro aspecto interesante a destacar es que se observa un patrón más pronunciado en la costa Norte que en la costa Sur, es decir las condiciones climáticas de la costa Sur son menos variables y contrastantes. Destacando además las variaciones debido a la altura, lo cual confirma la sensibilidad que muestra el índice a la hora de recoger las variaciones debido a los cambios del relieve.

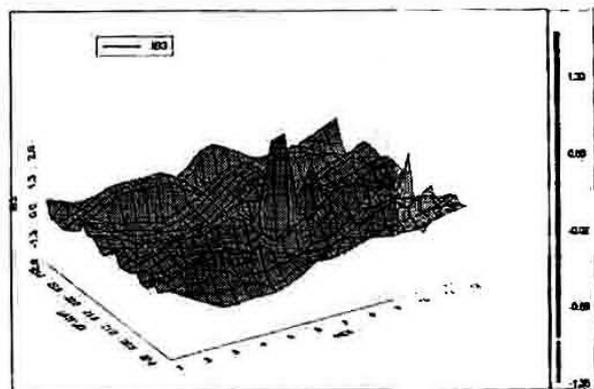


Fig. VIII. Patrón de variabilidad espacial de Sur a Norte. Simulado por el IB $t_{3,C}$

Luego estos índices permiten describir y cuantificar la magnitud de la variabilidad tanto espacial como temporal reflejando claramente el clima de Cuba, ya que son el resultado de la influencia de los factores climáticos que tradicionalmente se han usados (de manera empírica) como los más relevantes en el clima de Cuba: Radiación solar, circulación atmosférica y factores geográficos donde el $IB_{1,1,C}$ refleja el efecto de la circulación atmosférica como factor formador y modificador de la condición de Cuba definiéndolo como clima tropical estacionalmente húmedo, el $IB_{1,2,C}$ recoge la señal de la energía solar, mientras que el $IB_{1,3,C}$ simula el efecto de los factores físico -

geográficos que caracterizan la variabilidad del clima en Cuba por tanto los dos primeros índices recogen la señal a escala regional mientras que el tercer índice describe la señal de la escala local como se observó en las figuras anteriores.

Respuesta del índice $IB_{1,3,C}$ a los procesos de teleconexión.

Partiendo de que el índice $IB_{1,3,C}$ describe las variaciones en el clima de Cuba como fuera definido en los epígrafes anteriores, este de alguna manera refleja las señales de eventos, ENOS, NAO y QBO. (Tabla III).

Tabla III. Correlaciones de los índices de Teleconexión y las anomalías de la variabilidad descritas según el $IB_{1,3,C}$ Para el período Poco Lluvioso.

Indíces		$IB_{1,3,C}$		
		Región Occidental	Región Central	Región Oriental
NAO	(+)	-.481**	-.321**	-.242*
	(-)	+.380**	+.315**	.307**
MEI	P-Cálido	-.557**	-.301**	-.211*
	P Frío	.343*	.296*	.178
QBO	W-E	-.281*	-.219	-.209
	E-W	-.410**	-.330	-.270

p: probabilidad, α nivel de significación, ** $p < \alpha = 0.01$, * $p < \alpha = 0.05$ y N.S: no significativo.

En la Tabla III se muestra que existe una correlación significativa entre los valores del $IB_{1,3,C}$ el NAO, MEI y la QBO lo cual nos permite afirmar que el $IB_{1,3,C}$ describe la señal de estos tres procesos y por ende la simulación de los mismos. Los efectos de la variación de la circulación sobre la variabilidad del clima en Cuba, están influenciados por la señal de la NAO que describe procesos a escala regionales, y las otras dos señales corresponden a procesos de la escala global, influencia que aparece de manera diferenciada en nuestro territorio como ya fuera reportado por Cárdenas (1997).

Si el índice NAO toma valores positivos, provoca un bloqueo en la entrada en profundidad de las bajas extratropicales y por ende una disminución en la frecuencia de influencia de masas de aire frío sobre nuestra región, haciendo que nuestro inviernos sean más cálidos y con menos aporte de precipitaciones.

En el caso en que coincidan valores positivos del NAO con condiciones de evento cálido, se provoca un reforzamiento en las anomalías del evento, que si se combina además con la fase Este (E) de la QBO se propician condiciones favorables para procesos lluviosos significativos en la temporada poco lluviosa

(invernal); en cambio si esta misma condición se manifiesta con la fase Oeste (W) de la QBO se producen anomalías positivas de interés en el régimen térmico y negativas en el pluviométrico.

En la Figura IX, se muestra un ejemplo reciente que recoge el momento en que se encontraba influyendo sobre nuestro país la señal de un proceso cálido, combinado con valores de QBO transitando en fase de Oeste (W) a Este (E) y fase positiva del NAO, ocasionando un impacto en el comportamiento del clima en el período poco lluvioso de manera no clásico (inviernos más cálidos y húmedos en términos generales con gran frecuencia de frentes Cárdenas, 1996).

Se debe destacar que la influencia de estos procesos varían de una región a otra como lo evidencian los valores de las correlaciones alcanzadas, resultado que concuerda en términos generales con los obtenidos por Cárdenas, (1996).

Los resultados para el período lluvioso arrojaron baja relaciones lineales y no lineales, por lo que no son significativos para este estudio (-0.042, 0.021, 0.012) es decir se obtuvieron valores bajos para cada una de las regiones definidas en la Tabla III.

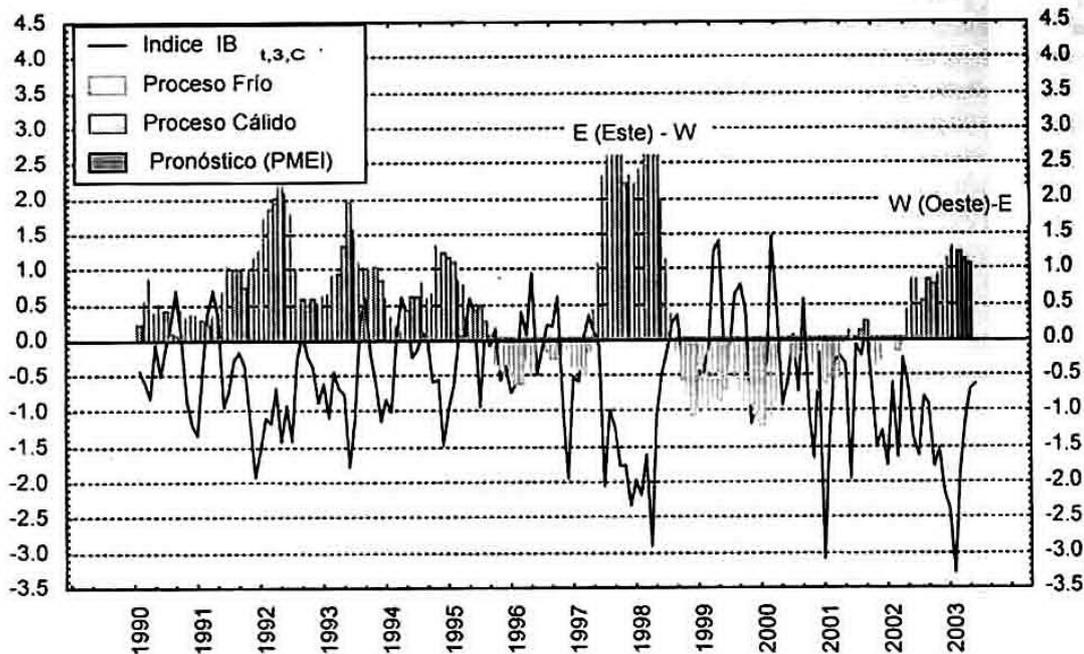


Fig.IX. Respuesta de las anomalías de la variabilidad climática interanual en Cuba ($IB_{1,3,C}$), ante el evento ENOS.

Conclusión.

1. La metodología propuesta requiere definir las variables de entrada que serán usadas para caracterizar los factores que describirán la variabilidad climática y sus anomalías en el área de estudio, derivado de la aplicación de la función ortogonal empírica (EOF), luego se procede a interpretar e identificar según las modas, las señales de la variabilidad en diferentes escalas, las cuales se usaran como factores de riesgos epidemiológico poblacionales.

2. Los índices definidos integran más información que otros índices o variables usadas en las aplicaciones climáticas a la salud humana debido a que reflejan la naturaleza de las complejas interacción de las variables y elementos formadores del clima en la región o país específico a diferencia de otros indicadores clásicamente conocidos.

3. Debido a que estos índices trabajan a escala bimensual son menos vulnerables a ocasionar fallas en la actualización de datos, que los esquemas tradicionales mensuales.

4. En países tropicales el índice puede ser más apropiado para describir las diferentes escalas y variaciones de la variabilidad que en los países no tropicales, ya que estos indicadores son capaces de reflejar la especificidad del área de estudio y muestra de ello lo son las estaciones de montaña.

Recomendación.

Sugerimos los mismos para estudios de impacto de la variabilidad en un área reducida del país, lo cual permitirá obtener mejores resultados de acuerdo a las necesidades y objetivos, así como una particularización de los índices.

Agradecimientos.

Deseo expresar mi mayor agradecimiento al Instituto Interamericano para la investigación del Cambio Global (IAI) por el patrocinio y financiamiento de la investigación ejecutada bajo el proyecto SGP-037 que nos permitió obtener los resultados que hoy plasmamos en este artículo. También deseo agradecer al equipo de técnicos encargado del procesamiento de la información en particular a María Garcés Canales por su paciencia en la revisión de toda la información.

Referencias.

- Bartels, C. P. A (1977):** Economic Aspects of Regional Welfare, Income Distribution and Unemployment. Martin Nijhoff, Leiden
- Baxander Basilevsky (1994):** Statistical Factor Analysis and Related Methods. Theory and Applications. John Wiley & Sons., INC.
- Dillon W.R and M.Goldstein (1984):** Multivariate Analysis. Methods and applications. John Wiley & Sons, INC.

Jaumotte, I., J. H.P Paelinck, J.M. Leheureux, and M. Pietquin (1971): The differential Economic Structures of the Belgian Province: A Time Varying Factor Analysis. Region Urban Econ., 1;41-75.

Johnson D.E (1998): Applied Multivariate methods for data analysts. Brooks cole publishing Company. An ITP Company

IPPC, (2001): Climate Change. Impacts adaptation and vulnerability. Published for the intergovernmental panel on climate change. Fir published Cambridge University Press.

Lorenz, E. N., (1956): Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction. MIT department of Meteorology, Statistical Forecast Project Rep. 1,49 pp. (Available from Dept of Meteorology, MIT Massachusetts Ave., Cambridge, MA 02139).

Mohahan A. H (2000): Non-linear Principal Component Analysis by Neural Networks: Theory and Application to the Lorenz System. J. Amr .Met.Society. Vol 13. 821-835.

Ortiz, B P, L, E.M.Nieves and A.V. Guevara (1998): Models for setting up a biometeorological Warning System over a population areas in Havana. In Book Urban Ecology. Springer -Verlag. Germany, pp98-91.

Ortiz, B. P.L, V.G. Vladimir, J. Uilloa and M.Aparicio. (2000): Principios metodológicos para la evaluación de impacto de la variabilidad y el cambio climático en la salud humana. Un enfoque estadístico.Rev. Meteorología Colombiana. N°3;75-84.

Ortiz, B.P.L, Rivero, V.A (2003a): Un modelo AR-ARCH(p) para el comportamiento de la lluvia por regiones, usando algunos índices de circulación y el índice multivariado ENSO (MEI). Rev. Meteorología Colombiana. No7, pp 11-19.

Ortiz, B.P.L, Morgado G.F.C (2003b): Efectos del clima sobre el patrón epidemiológico del asma Bronquial en Guanabacoa durante el período 1997-2001. Revista Cubana de Meteorología. Vol 10 No 1.

Peters, W. S and J. Q. Butler (1970): The Construction of Regional Economic Indicators by Principal Components. Ann. Reg. Sci., 4; 1-14.

WHO, (2003): Climate Change and Human Health Risks and Responses /editors: A J. McMichael et al. Genova.

Abstract

The propose in this article the explication for construction of climatic index (Bultó Index or $IB_{Bultó}$). Can be used for simulate the climatic anomalies in different scales. This new index $IB_{Bultó}$ it allows to integrate the main elements of climate to characterise the study region, taking into account the auto-correlation of the observation. In the present application, Empirical Orthogonal Function (EOF) it's calculated from individual monthly climatic variables. This index includes the monthly simultaneous behaviour of the selected climatic variables, maximum and minimum temperature, precipitation, atmospheric pressure, vapour pressure, relative humidity, solar radiation and insolation. Three components are found to have a climatological significance, the first one describes inter month and seasonal climate variation, the second factor describes the seasonal and interannual variation of the solar radiation and insolation, and the third factor simulate the signal inter seasonal variability, inter annual and decadal variation, eg. Anomalies associate with effect El Niño - Southern Oscillation (ENSO) event, Quasi-Biennial Oscillation (QBO), and North Atlantic Oscillation (NAO). Therefore, the weight values for each component were used to obtain the climate index, which represent in each component, the main source of variation.

Key words: Index Climate, Bulto index, Empirical Orthogonal Function, and climatic variables.