

- KRZYSZTOFOWICZ, R.; 1995. Recent advances associated with flood forecast and warning systems. *Ver. Geophys.* Vol. 33, Supl.
- JICA, 1995. The master study on utilization of water resources in Parana State in the Federative Republic of Brazil. Informe Sectorial Volumen H—*Flood Control*.
- MINE, M., 1998: Método determinístico para minimizar o conflito entre gerar energia e controlar cheias. Tesis doctoral. Instituto de Investigaciones Hidráulicas. UFRGS.
- SILVEIRA, C.A.C., 1996: Previsão de Volumes de Espera em Tempo Real. Disertación para un título de máster. Instituto de Investigaciones Hidráulicas. UFRGS.
- TUCCI, C.E.M., 1998: Modelos Hidrológicos. Editora de la UFRGS. ABRH. 652 pp.
- TUCCI, C.E.M. y R.T. CLARKE, 1980: Adaptive forecasting with a conceptual rainfall-runoff model. *Hydrological Forecasting*. Actas del Simposio de Oxford, AICH N.º 129, 425-454.
- TUCCI, C.E.M., W. COLLISCHONN, P.S. DIAS y R.T. CLARKE, 2002: Previsão de médio prazo de vazões afluentes a reservatórios no rio Uruguai. IPH/IAG/ANEEL, 150 pp.
- VILLANUEVA, A.O.N., 1997: Dynamic floodplains simulations: compound channels and wetlands. Tesis doctoral IPH-FRGS (en portugués).
- VILLANUEVA, A.O.N., E.D. ZAMANILLO y C.E.M. TUCCI, 1987: Previsão de vazão para irrigação. Anales del VII Simposio Brasileño sobre Recursos Hídricos, Vol. 1, 536-549.

Cambio climático en la India evidenciado a partir de registros instrumentales

56

por K.C. SINHA RAY* y U.S. DE**

Introducción

El cambio climático y el calentamiento mundial son asuntos importantes para el próximo milenio. El aumento de los gases de efecto invernadero (GEI), incluido el ozono, representa una gran preocupación para la humanidad. Los fenómenos extremos afectan no sólo a la salud humana, sino también a los recursos hídricos y a la producción agrícola. El aumento de población ha vuelto los efectos del cambio climático más desastrosos. El Tercer Informe de Evaluación del IPCC ha puesto de manifiesto que la mayor parte del calentamiento mundial observado durante los últimos cincuenta años puede atribuirse a actividades humanas.

En los últimos años, los fenómenos climáticos adversos han trastornado frecuentemente las sociedades y economías humanas. En 1999 y 2000, las regiones de Saurashtra y Kutch y Gujarat de la India sufrieron graves sequías y escasez de agua. En 2000, Afganistán, Bulgaria, Irak, la República Islámica del Irán y partes de China se vieron afectadas por graves sequías. Algunas zonas del noroeste de la India experimentaron un segundo año consecutivo de precipitaciones monzónicas deficientes. Muchas regiones del mundo, tales como

Mozambique y China, sufrieron también fuertes inundaciones en los últimos años.

Es un asunto importante el impacto del cambio climático sobre la agricultura, el agua y otros recursos naturales. La población mundial ha alcanzado ya los seismil millones, y la previsión de población para mediados del próximo siglo se eleva a once mil millones. La población actual de la India es de mil millones. El aumento de la población frente al cambio climático es quizás el área crucial de nuestras preocupaciones para el próximo milenio, ya que afecta seriamente al desarrollo sostenible.

El aumento de las concentraciones de los denominados gases de efecto invernadero "bien mezclados" (CO_2 , CH_4 , N_2O y halocarbonos) desde los tiempos preindustriales ha originado un forzamiento radiativo positivo que es equivalente al calentamiento del sistema troposférico superficial.

Los efectos del cambio climático como resultado del aumento de los gases de efecto invernadero se han estudiado ya extensamente y no se discuten más aquí. El efecto más importante es el aumento de la temperatura en superficie. Calentamiento máximo en las altas latitudes boreales a finales de otoño e invierno asociado a una reducida área de hielo marino y de cubierta de nieve y pequeña variación estacional en el calentamiento a bajas latitudes.

Este artículo resume la información existente sobre cambio climático y tendencias en la aparición de

* Miembro de la Facultad, Departamento de Física Atmosférica y Ciencia Espacial, Universidad de Pune.

** Director General Adjunto de Meteorología (Investigación), Departamento Meteorológico de la India.

fenómenos extremos, tales como períodos de fuertes precipitaciones, temperatura máxima, temperatura mínima, alteraciones de sequía y ciclónicas, observados a partir de registros instrumentales, con referencia especial a la India.

Cambio climático

Parámetros meteorológicos

El primer observatorio meteorológico se situó en Madrás (actual Chennai) en septiembre de 1793. Los observatorios en Calcuta y Bombay se establecieron en el siglo XIX (Kelkar, 2000). Los estudios de Blandford a finales del siglo XIX mostraron que la India, como conjunto, no mostraba ninguna tendencia climática importante. Esto mismo fue confirmado a mitad del siglo XX por los estudios de Pramanik y Jaganathan.

Sarker y Thapliyal (1988) revisaron el cambio climático durante los ochenta años anteriores. Su estudio indicó una ligera tendencia al calentamiento en la temperatura del termómetro seco, mientras que la presión y las precipitaciones no mostraban ninguna tendencia. Mooley y Parthasarathy (1984) demostraron que no había ninguna tendencia estadísticamente significativa en las precipitaciones de toda la India, pero destacaron su variación por décadas. Sen Roy y Prasad (1991), Srivastava y Sinha Ray (1994) y De y Rajeevan (1997) han discutido aspectos mundiales y nacionales del cambio climático. De (2001) ha discutido también el cambio climático y su impacto en el contexto regional. Srivastava y otros estudiaron la variación por décadas de los parámetros meteorológicos. Su estudio puso de manifiesto una tendencia decreciente en la temperatura en la mayor parte del norte del país (al norte de 23°N) y una tendencia creciente en el sur (al sur de 23°N), mientras que se observó una pequeña tendencia al calentamiento del orden de 0,35°C durante los últimos cien años en todas las regiones. Rupakumar y otros (1994) constataron que el aumento de la temperatura media en la India era debido principalmente a un incremento de la temperatura máxima. Sin embargo, un estudio posterior de Sinha Ray y otros (1997) mostró que se crea una tendencia creciente, al menos parcialmente, como resultado del aumento de la temperatura mínima relacionado con la urbanización.

Srivastava y otros (1998) estudiaron las tendencias de la precipitación a la escala espacial más pequeña y de la radiación en la India. Sus estudios pusieron de relieve que (a) las precipitaciones en el conjunto de la India no tienen ninguna tendencia, pero se observó una tendencia decreciente en la mayor parte de las áreas montañosas; las áreas con tendencia a la sequía en el interior meridional de la península mostraron una tendencia creciente de las precipitaciones; (b) en

algunas de las subdivisiones que señalaban "sin tendencia", algunos distritos tenían una tendencia creciente o decreciente de las precipitaciones; (c) la mayor parte de las estaciones no mostraron tendencia alguna de la radiación global, excepto durante el invierno; se encontró, sin embargo, una tendencia decreciente de la radiación global en Jodhpur; se observó también generalmente una tendencia creciente de la radiación difusa durante el invierno.

Das y Radhakrishna (1991) reseñaron una tendencia creciente del nivel del mar en Bombay entre 1940 y 1986, y en Madrás entre 1910 y 1933, basándose en la media anual de las observaciones del caudal de la marea. Esto fue apoyado por Srivastava y Balakrishnan (1993). Su estudio indicó un aumento del nivel del mar de aproximadamente 8 cm de 1901 a 1950. Durante el mismo período, se observó también una tendencia decreciente de la presión a nivel del mar.

Ratnam y Sinha Ray (2001) encontraron una tendencia decreciente significativa de la temperatura estratosférica inferior en Thumba (8°32'N, 76°52'E), situada en la región ecuatorial india. La temperatura estratosférica inferior se encontró que era significativamente más cálida durante los años de ENOA que en los años de no ENOA. En la estratosfera superior se observó una tendencia decreciente significativa sólo de septiembre a diciembre. En la mesosfera superior se observó una tendencia decreciente de la temperatura sólo durante mayo y junio.

Rajeevan y otros (2000) mostraron una tendencia creciente de la temperatura de la superficie del mar (SST), así como de la nubosidad sobre el Océano Índico ecuatorial, que atribuyeron a una tendencia decreciente de la radiación de onda larga emitida, poniendo de relieve un aumento de la convección y de las tendencias de la SST al norte del Golfo de Bengala (10°N a 25°N, 80°E a 95°E), y una tendencia decreciente de la nubosidad en la misma región. Esto se atribuyó a la actividad del anticiclón monzónico y a la formación de depresiones y tormentas monzónicas, que pueden ser el resultado de una frecuencia decreciente de formación de tormentas ciclónicas. Los estudios sobre circulación oceánica profunda son cruciales para la comprensión de estos impactos en la modulación del calentamiento mundial. Sinha Ray y otros (2001) observaron que una tendencia creciente significativa de la SST está limitada a algunas bolsas en el Golfo de Bengala y en el Mar Árabe en invierno (enero-febrero), localizadas principalmente al sur de 10°N y al este de 75°E en la estación premonzónica (marzo-mayo). En la postmonzónica de octubre-diciembre se observó una tendencia creciente en la mayor parte de los mares indios al este de 75°E, y también en algunas bolsas del Mar Árabe. Durante la estación del monzón en el

sudoeste, la mayor parte de las áreas marítimas no mostraron tendencia significativa alguna, excepto algunas bolsas que mostraban una tendencia creciente. Una pequeña área de la costa de Tamil Nadu mostró una tendencia decreciente significativa (Figura 1).

Componentes atmosféricos: aerosoles y gases de efecto invernadero

El aumento sin precedentes de los GEI de los últimos cincuenta años es debido principalmente a la extensa combustión de combustibles fósiles, la deforestación, el uso de la tierra, las labores agrícolas y ganaderas. Mukhopadhyay y otros (1992) estudiaron la química de las precipitaciones en la Red de Control de la Contaminación General Atmosférica (BAPMoN) en la región india para el período 1976-1987. No se encontró ninguna tendencia en el pH del agua de lluvia de las áreas de fondo, excepto en Allahabad, Pune y Visakhapatnam, que sufren influencias antropogénicas considerables.

Shende (1999) estudió los valores del pH medio mensual de muestras de agua de lluvia de diez estaciones BAPMoN de la India. El estudio reveló que, excepto para Mínicoy, había una tendencia decreciente global de los valores del pH, indicando un desplazamiento hacia valores del pH ácidos que puede deberse a efectos industriales y urbanos.

Srivastava y otros (1992) estudiaron las tendencias de la turbiedad atmosférica sobre la India. Se compararon los valores medios anuales de los coeficientes de turbiedad en las estaciones BAPMoN indias para los períodos 1973-1980 y 1981-1985. Los autores encontra-

ron un aumento general de la turbiedad en todas las estaciones excepto en Kodaikanal y Pune, sugiriendo el efecto de las fuentes antropogénicas de contaminación.

En los últimos cinco o seis años, muchos estudios han examinado los efectos climáticos de los aerosoles atmosféricos y de los cambios de ozono antropogénicos. De (1999) discutió el papel de la química atmosférica en las áreas urbanas, que conduce al calentamiento mundial y a los impactos socioeconómicos relacionados. Entre los aerosoles atmosféricos, los aerosoles sulfatados son los más importantes, y se han examinado bien. Debido a sus propiedades radiativas, los aerosoles dispersan la radiación solar de vuelta al espacio y producen enfriamiento: efecto directo. Además, los aerosoles incrementan el albedo de las nubes al aumentar los núcleos de condensación de las mismas: efecto indirecto.

El efecto directo de los aerosoles sulfatados antropogénicos ha sido estudiado por numerosos investigadores. El forzamiento radiativo medio anual debido a los aerosoles sulfatados antropogénicos, calculado utilizando un modelo detallado de transferencia radiativa, varía de $-1,0 \text{ W/m}^2$ a $-0,5 \text{ W/m}^2$.

Aunque la mayor parte del ozono atmosférico se produce mediante procesos naturales, las actividades humanas contribuyen a cambios significativos en la concentración de ozono. Los principales culpables son los clorofluorocarbonos (CFC). La destrucción del ozono se documentó por primera vez en 1985 por el equipo del Estudio Antártico Británico. Estudios posteriores revelaron que los

átomos de cloro introducidos en la atmósfera por las actividades humanas eran responsables en gran medida de la reducción de ozono sobre la Antártida y del denominado "agujero de ozono". La reducción del ozono no está sin embargo limitada a la Antártida.

Rajeevan y otros (1995) estudiaron los efectos de quemar combustible fósil y el efecto del SO_2 sobre la dispersión parásita y el albedo de las nubes con la ayuda de un modelo radiativo-convectivo unidimensional para evaluar los efectos climáticos compe-

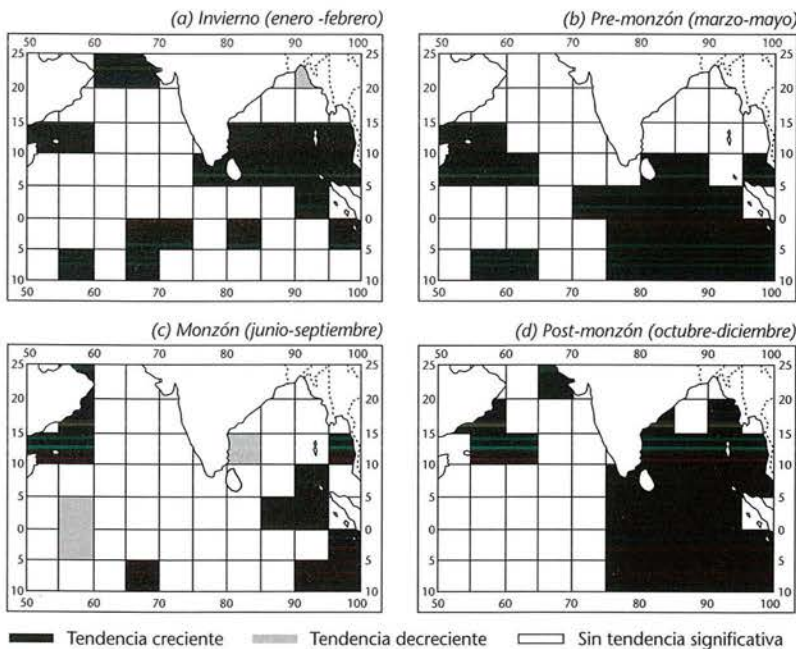


Figura 1 — Tendencias en la temperatura de la superficie del mar

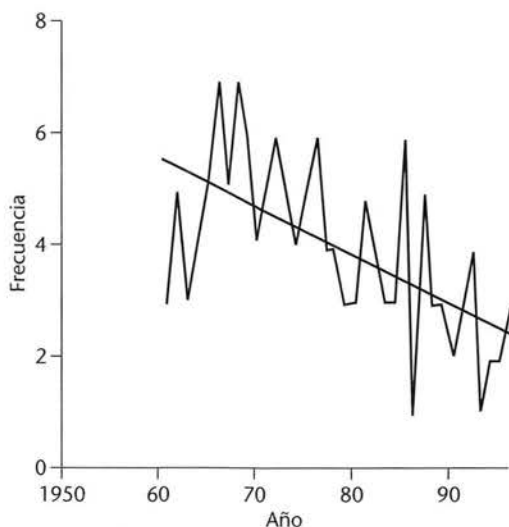


Figura 2(a) — Tendencia de los temporales de origen ciclónico en el Golfo de Bengala (1961-1997): tendencia lineal decreciente. $Y = -0,0848743$. $X = 171,912$

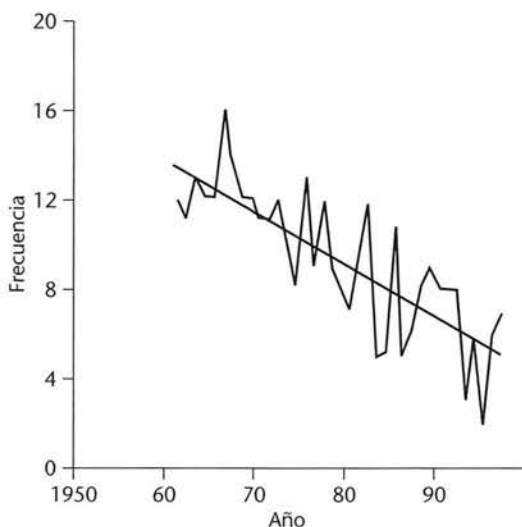


Figura 2(b) — Tendencia de las alteraciones ciclónicas totales sobre el Golfo de Bengala (1961-1997): tendencia lineal decreciente. $Y = 0,227359$. $X = +459,187$

tivos de las emisiones de CO_2 y SO_2 durante la combustión de combustibles fósiles. Los resultados pusieron de manifiesto que el enfriamiento inducido por el efecto combinado del SO_2 contrarresta completamente el efecto calentador por el efecto invernadero del CO_2 . El modelo predice que, en el año 2060, el enfriamiento inducido por el SO_2 reducirá el calentamiento por CO_2 en un 60 por ciento para el escenario de Producción Habitual de la IPCC, y en un 27 por ciento para el escenario D.

Sreedharan y Mani (1965) y Mani y Sreedharan (1969) hicieron un estudio detallado de las variaciones de las distribuciones verticales del ozono en la India. Peshin y otros (1996, 1997) confirmaron la disminución del ozono en la Antártida, utilizando datos de globo-sondas y de ozonsondas. Mandal y otros (1999) discutieron la distribución vertical del ozono en el Océano Índico ($15^\circ N-20^\circ S$) basada en la primera fase de campo del INDOEX-1998.

Mandal y otros (1999) y Chakraborty y otros (1998) estudiaron las tendencias del ozono y la variación natural del ozono

en la India, revelando una tendencia creciente del ozono troposférico y una tendencia decreciente significativa del ozono estratosférico. El ozono total no mostró tendencia significativa alguna. Estudiaron también las variaciones del ozono con respecto al Índice de Oscilación Austral, al flujo solar y al número de manchas solares. Su estudio indicó también que los cambios a largo plazo del ozono troposférico en Trivandrum

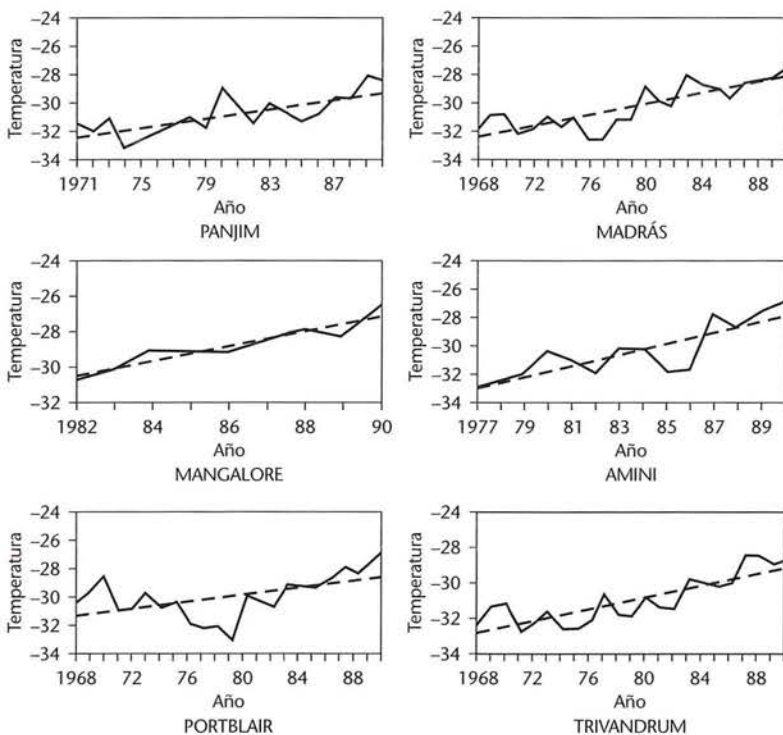


Figura 3 — Tendencias de la temperatura media anual a 300 hPa en diferentes estaciones de la India. —temperatura; ----tendencia

(08°N, 77°E) tenían una tendencia decreciente durante el monzón de verano (junio-julio-agosto-septiembre) y la mayor tendencia creciente durante el invierno en el hemisferio norte (enero-febrero-marzo-abril).

El análisis de los datos de ozono disponibles hasta ahora no establece ninguna tendencia clara de la variación del ozono total en la India. Existe una ligera tendencia creciente del ozono troposférico, mientras que el ozono estratosférico muestra una tendencia decreciente. Del ecuador a aproximadamente 20°N, la concentración de ozono troposférico permanece virtualmente igual durante el año. La concentración máxima de ozono aparece a una altura de entre 23 y 27 km sobre Thiruvananthapuram, Pune y Nueva Delhi.

Tendencias de los fenómenos extremos

Otra área de considerable preocupación socioeconómica es la frecuencia de los fenómenos extremos, tales como olas de calor y de frío, inundaciones y tormentas tropicales. De y Joshi (1998) estudiaron la variabilidad inter-décadas e interanual de los ciclones tropicales en los mares Índicos utilizando los datos de los últimos cien años de alteraciones ciclónicas para el norte del Océano Índico (Golfo de Bengala y Mar Arábigo). Encontraron una variabilidad general del número de alteraciones ciclónicas a escala anual, así como de décadas. El máximo número de temporales de origen ciclónico ocurrió en las décadas 1921-1930, y el mínimo ocurrió durante 1981-1990. Obtuvieron que el máximo número de alteraciones ciclónicas ocurrió durante 1941-1950, la década de menos episodios de ENOA. Srivastava y otros (2000) estudiaron la tendencia de las alteraciones ciclónicas para el período 1891-1997 en el golfo de Bengala y el Mar Arábigo. Se halló una tendencia decreciente significativa al nivel de confianza del 99 por ciento de la frecuencia de temporales ciclónicos (Figura 2). No hubo ninguna tendencia significativa de las alteraciones ciclónicas, sino una reducción de la tasa de intensificación de las alteraciones ciclónicas en los últimos años. Hubo también tendencias crecientes de la temperatura medida anual a 300 hPa en varias estaciones de diferentes regiones de la India (Figura 3).

Rao y otros (2000) estudiaron las tendencias de las temperaturas máximas/mínimas extremas para los meses de verano e invierno, las tendencias de las precipitaciones extremas durante el período del monzón y las precipitaciones totales anuales para algunas estaciones importantes de la India. Encontraron que las temperaturas extremas estaban aumentando en el sur de la India. Bhujad y otros (2000) constató que las temperaturas máximas que superaban los 40°C mostraban una tendencia creciente significativa a un nivel de confianza del 99 por ciento en áreas del noroeste de la India. El resto del país no mostraba ninguna tendencia

significativa. La frecuencia de aparición de temperaturas inferiores a 5°C muestra una tendencia decreciente significativa en algunas partes del noroeste y centro de la India (Figura 4). Los estudios de De y Mukhopadhyay (1998) pusieron de relieve que los fallecimientos debidos a fenómenos extremos tendían a exacerbarse en las áreas en las que las temperaturas máximas normales eran generalmente moderadas.

Un estudio de Sinha Ray y Srivastava (2000) mostró una tendencia decreciente de la frecuencia de las precipitaciones fuertes (> 6,5 cm en 24 horas) durante la estación de invierno en la mayor parte de las estaciones de la India. Durante la estación premonzónica, muchas estaciones de diversas regiones indias mostraron una tendencia decreciente de las precipitaciones fuertes; sólo dos mostraron una tendencia creciente. Durante la estación del monzón de verano (ju-

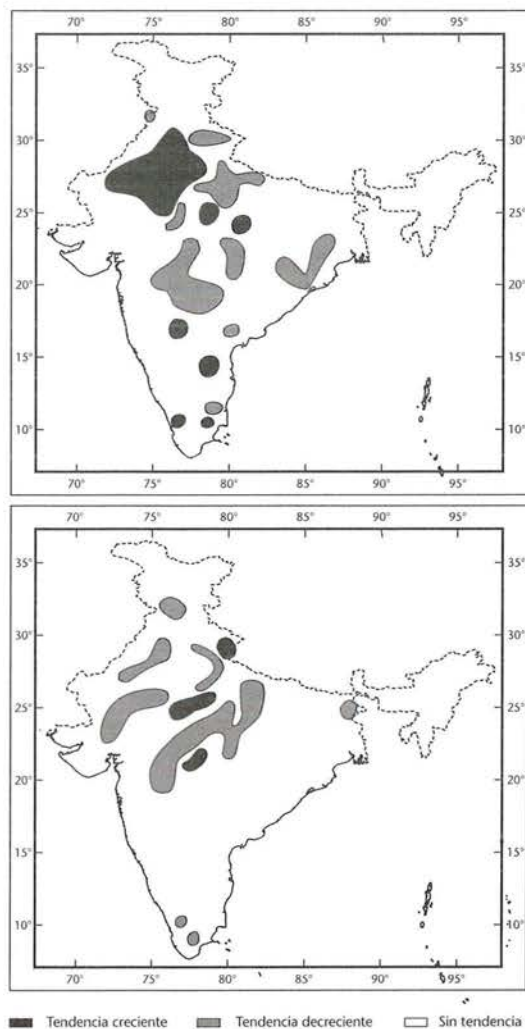


Figura 4 — Tendencias de la frecuencia de aparición de temperaturas > 40°C (arriba); tendencias de la frecuencia de aparición de temperaturas < 5°C (abajo)

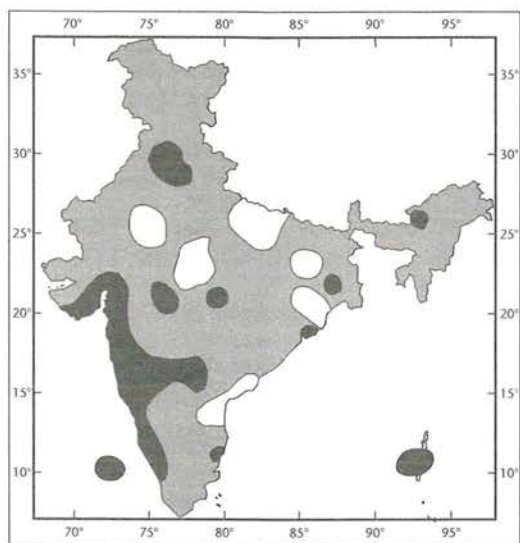


Figura 5 — Tendencias de la frecuencia de las precipitaciones > 7 cm en 24 horas (1901-1990)

nio-septiembre), algunas estaciones en Gujarat y Kutch y la mayoría de las estaciones de la costa oeste de la India (excepto Thiruvananthapuram) y casi todas las estaciones de Karnataka, Rayalaseema, Telangana y las islas de Aminidivi y Port Blair mostraron una tendencia creciente de las precipitaciones fuertes. De forma similar, algunas estaciones en Haryana y el Punjab mostraron una tendencia creciente. Pune y algunas estaciones del oeste de Madhya Pradesh mostraron una tendencia creciente de las precipitaciones fuertes. Análogamente, otras estaciones discretas tales como Meerut en las llanuras del oeste de Uttar Pradesh, Puri

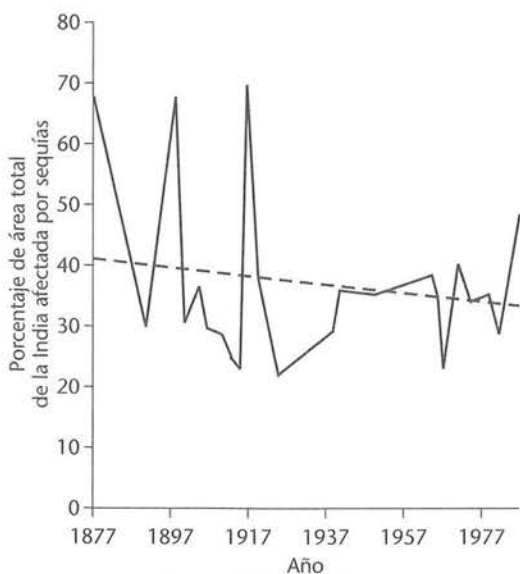


Figura 6 — Porcentaje de área total del país afectada por sequías durante todos los años de sequía en la India

en Orissa, Midnapore en Bengala Occidental del Ganges y Tezpur en Assam, mostraron una tendencia creciente de la frecuencia de las precipitaciones fuertes. El resto de estaciones de la India mostraron una tendencia decreciente o ninguna tendencia significativa durante la estación (Figura 5).

En el período postmonzónico, un gran número de estaciones de la India mostró una tendencia decreciente de la frecuencia de las precipitaciones fuertes. Sin embargo, algunas estaciones de Marathwada, Telangana, Rayalaseema y Tamil Nadu no mostraron ninguna tendencia significativa. De forma similar, otras pocas estaciones en las llanuras de Bihar no mostraron tendencia significativa alguna. Purnea, Goa, Panjim, Kozikode, Ootacamund, Port Blair y Aminidivi mostraron una tendencia creciente de la frecuencia de las precipitaciones fuertes.

Un estudio de Sen y Sinha Ray (1997) que muestra una tendencia decreciente del área afectada por la sequía, apoyaba los resultados anteriores (Fig. 6). Sin embargo, un estudio a pequeña escala de Gore y Sinha Ray (2001) evidenció una tendencia creciente significativa del área afectada por la sequía en algunos distritos de Gujarat. Sinha Ray y otros (2001) hallaron una tendencia creciente significativa de la frecuencia de la aparición de sequía en los distritos occidentales de Orissa.

De y otros (2000) estudiaron las tendencias de la visibilidad en unas 25 ciudades indias. Su estudio indicó que en 14 de las 25 estaciones la visibilidad mostró una tendencia decreciente de la observación a las 00:30 UTC. Atribuyeron esto a causas antropogénicas, incluida una urbanización significativa. El resultado apoya los descubrimientos del Tercer Informe de Evaluación del IPCC en el sentido de que el calentamiento observado durante los últimos cincuenta años es sustancialmente debido a causas antropogénicas. (Obasi, 2001).

Conclusiones

- Precipitaciones y presión en superficie en toda la India: sin tendencias significativas excepto cierto comportamiento periódico.
- Temperatura en la India: tendencia creciente del orden de 0,35°C durante los últimos 100 años.
- El pH del agua de lluvia varias estaciones BAPMoN: tendencia decreciente.
- Variación del ozono total: sin tendencia.
- Ozono troposférico: ligero aumento; ozono estratosférico: disminución.
- Períodos de precipitaciones fuertes ≥ 7 cm durante 24 horas en estaciones costeras occidentales durante la estación del monzón sudoccidental: aumento de la frecuencia de aparición.
- Tormentas de origen ciclónico en el Golfo de Bengala y en el Mar Árabe: tendencia decreciente

de la frecuencia de aparición. (Durante los últimos cien años, las alteraciones ciclónicas máximas en el Océano Índico Septentrional se registraron durante 1941-1950, la década de menor actividad de El Niño).

- Área de la India afectada por sequías durante los últimos 125 años: tendencia decreciente significativa.
- Área de Gujarat afectada por sequías durante los últimos 125 años: tendencia creciente.
- Sequías en los distritos occidentales de Orissa: tendencia creciente de la frecuencia de aparición.
- Temperatura de la estratosfera inferior en la India ecuatorial: tendencia decreciente significativa.
- Temperatura de la troposfera superior: tendencia creciente.
- Visibilidad en ciudades populosas: tendencia decreciente.
- Temperaturas máximas y mínimas extremas: tendencia creciente en el sur; tendencia decreciente en el norte.
- Temperaturas máximas extremas: tendencia creciente significativa en el noroeste de la India.
- Temperaturas mínimas extremas: tendencia decreciente significativa en zonas de la India noroccidental y central.
- Temperatura de la superficie del mar: tendencia creciente significativa en algunas regiones del Mar Arábigo y del Golfo de Bengala.

Agradecimientos

El Dr. U.S. De agradece al Director General del Departamento Meteorológico de la India las facilidades proporcionadas para preparar este artículo.

Referencias

BHUJAD, G.S., S.R. KSHIRSAGAR y K.C. SINHA RAY, 2001: Trends in Frequency of Surface Temperature above and below certain threshold values over various stations in India, *Proceedings of Tropmet 2000*, National Symposium on Tropical Meteorology, 523-527.

CHAKRABORTY, D.R., S.K. PESHIN, K.V. PANDYA y N.C. SHAH, 1998: Long term trend of ozone column over the Indian region, *Journal of Geophysical Research*, 103, D15, 19245-19251.

DAS, P.K. y M. RADHAKRISHNA, 1991: An Analysis of Indian tide gauge records. *Proc. Indian. Acad. Sci. (Earth and Planet Sci.)* 100, 2, 177-194.

DE, U.S. y M. RAJEEVAN, 1997: Identification of an anthropogenic climate change: A review. *Vayu Mandal*, 27, 1-2, 2-13.

DE, U.S. y R.K. MUKHOPADHYAY, 1998: Severe heat wave over the Indian sub-continent in 1998 — in perspective of global climate, *Current Science*, 75, 12, 1308-1311.

DE, U.S. y K.S. JOSHI, 1999: Interannual and inter-decadal variability of tropical cyclones over the Indian seas, *The Deccan Geographer*, 37, 1, 5-21.

DE, U.S., 1999: Importance of atmospheric chemistry in sustainable urban development. Enviado para su publicación en *Proceedings of National Workshop on Atmospheric Chemistry (NWAC-99)* celebrado entre el 12 y el 14 de octubre de 1999 en IITM. Pune.

DE, U.S., 2000: Socio-economic impact of climate change in report submitted for WMO RA II W.G. of climate relate matter for 12th session of RA II at Seoul.

DE, U.S., G.S. PRAKASA RAO y A.K. JASWAL, 2000: A study of visibility over Indian cities. Aceptado para publicarse en *Mausam*.

DE, U.S., 2001: Climate change impact: regional scenario, *Mausam*, 52, 1, 201-212.

GORE, P.G. y K.C. SINHA RAY, 2001: Drought and aridity over districts of Gujarat. Enviado para publicarse en la revista de agrometeorología, Anand (Gujarat).

KELKAR, R.R., 2000: Servicio Meteorológico Nacional en la India: 125 años, *Boletín de la OMM*, 49(4), 419-426.

MANDAL, T.K., D. KLEY, H.G.J. SMIT, S.K. SRIVASTAVA, S.K. PESHIN y A.P. MITRA, 1999: Vertical distribution of ozone over the Indian ocean (15°N-20°S) during first field phase INDOEX-1998, *Current Science*, 76, 7, 938-943.

MANDAL, T.K., S. BHATTACHARYA, A.P. MITRA, S.K. SRIVASTAVA, M. RAJEEVAN, S.K. PESHIN, 1999: Long term Natural Variation of ozone over India: As seen in balloon-borne ozone profiles, Dobson Spectrometer and TOMS total ozone data. Enviado para publicar en *Journal of Geophysical Research*.

MANI, A. y C.R. SREEDHARAN, 1969: Variations in the vertical distribution of ozone over India, *Annales de Géophysique*, 25, 1, 173-181.

MUKHOPADHYAY, B., S.V. DATAR y H.N. SRIVASTAVA, 1992: Precipitation chemistry over the Indian region, *Mausam*, 43, 249-258.

OBASI, G.O.P., 2001: Statement at the Seventeenth session of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Nairobi, 8 p.

PESHIN, S.K., Sudhakar RAO y P. Rajesh RAO, 1996: Ozone soundings over Maitri (Antarctica)—1994, *Vayu Mandal*, 26, 1 y 2, 21-23.

PESHIN S.K., P.R. RAO, S.K. SRIVASTAVA, 1997: Antarctic ozone depletion measured by balloonsonde at Maitri-1992, *Mausam*, 48,3, 443-446.

RAJEEVAN, M., K.C. SINHA RAY y H.N. SRIVASTAVA, 1995: Model calculations of competing climatic effects of SO₂ and CO₂ in fossil fuel combustion, *Current Science*, 68, 1226-1231.

RAJEEVAN, M., U.S. DE y R.K. PRASAD, 2000: Decadal variation of sea surface temperatures, cloudiness and monsoon depressions in the north Indian Ocean, *Current Science*, 79, 3, 283-285.

RAO PRAKASA, G.S., A.K. JASWAL y U.S. DE, 2000: Extreme temperature events over Indian sub continents. Publicado en los *Proceedings of TROPMET-2000*, 533-539.

RUPA KUMAR, K., KRISHNAKUMAR y G.B. PANT, 1994: Diurnal asymmetry of surface temperature trends over India, *Geophysical Res. Lett.*, 21, 8, 677-680.

SARKER, R.P. y V. THAPLIYAL, 1988: Climate change and variability, *Mausam*, 39, 127-138.

SEN, A.K. y K.C. SINHA RAY, 1997: Recent trends in drought affected areas in India. Presentado en INTROMET-97, Nueva Delhi, 1997.

- SEN ROY, N. y K. PRASAD, 1991: Climate change and global scientific response, *Vayu Mandal*, 21, 3-4, 69-82.
- SHENDE, R.R., 1999: Changes in trends of pH over BAPMoN stations in India. Aceptado para su publicación en *Vayu Mandal*.
- SINHA RAY, K.C., R.K., MUKHOPADHYAY y S.K. CHOWDHURY, 1997: Trends in maximum and minimum temperatures and sea level pressure over India. Presentado en INTROMET-97, Nueva Delhi, 1997.
- SINHA RAY, K.C., S.R. KSHIRSAGAR y G.S. BHUJAD, 2001: Trends in Sea Surface Temperature over Indian Seas, *Proceedings of Tropmet 2000*, National Symposium on Tropical Meteorology, 114-117.
- SINHA RAY, K.C., P.R. JOSHI, L.S. MEHERE, 2001: Are the districts of NW-Orissa becoming more drought prone? Enviado para su publicación en *Vayu Mandal*.
- SREEDHARAN, C.R. y A. MANI, 1965: Measurement of the vertical distribution of ozone by a chemical ozonesonde, *Current Science*, 34, 2, 39-41.
- SRIVASTAVA, A.K., K.C. SINHA RAY y U.S. DE, 2000: Trends in frequency of cyclonic disturbances and their intensification over Indian seas, *Mausam*, 51, 2, 113-118.
- SRIVASTAVA, H.N., B.N. DEWAN, S.K. DIKSHIT, G.S. PRAKASA RAO, S.S. SINGH y K.R. RAO, 1992: Decadal trends in climate over India, *Mausam*, 43, 7-20.
- SRIVASTAVA, H.N., S.V. DATAR y B. MUKHOPADHYAY, 1992: Trends in atmospheric turbidity over India, *Mausam*, 43, 183-190.
- SRIVASTAVA, H.N. y T.K. BALAKRISHNAN, 1993: Synthesis of meteorological and tide gauge observations on a decadal scale near the Indian coast, *TOGA Notes*, 15-17.
- SRIVASTAVA, H.N. y K.C. SINHA RAY, 1994: Climate change scenario: Global and national perspective, *Vayu Mandal*, 24, 3-4, 41-50.
- SRIVASTAVA, H.N., S.K. DIKSHIT, K.C. SINHA RAY y R.K. MUKHOPADHYAY, 1998: Trends in rainfall and radiation over India, *Vayu Mandal*, 28, 1-2, 41-45.

Humedales ribereños y curvas de frecuencia del nivel del agua

63

Por A. ARCELUS*

Introducción

Los humedales tienen funciones ecológicas e hidrológicas que benefician a la humanidad, incluidos el control de inundaciones, el aporte de hábitat para pesquerías y recursos forestales, además de la conservación de la diversidad biológica.

No hay una definición sencilla, correcta, sólida y ecológicamente incuestionable de humedal, debido principalmente a su variedad y a que el límite entre los ambientes secos y los húmedos se desarrolla de forma gradual (Cowardin y otros, 1979). La Sociedad de Ingenieros de los EE.UU. (USACE) y la Agencia de Protección Medioambiental definen de forma conjunta los humedales como: "Zonas que se inundan o se saturan de agua superficial o subterránea a una frecuencia y con una duración suficiente para mantener, y que bajo circunstancias normales mantienen, un predominio de vegetación adaptada típicamente a vivir en condiciones de suelo saturado". Según esta definición hay que considerar tres parámetros medioambientales para delimitar un humedal: la hidrología, los suelos y la vegetación.

Aunque sea un tópico decir que la hidrología es la variable más importante para distinguir un humedal de otros ecosistemas, y a los humedales entre sí, no hay el suficiente trabajo cuantitativo para revelar por qué y de qué manera influye la hidrología en el tipo de humedal (Brinson, 1993).

Los humedales ribereños son franjas lineales, como cintas, de vegetación a lo largo de los ríos, corrientes o lagos que dependen del agua superficial o subterránea, perenne, intermitente o efímera (Goldstein, 1996).

Pollock (1998) presenta algunas relaciones cuantitativas entre las inundaciones y los humedales ribereños utilizando datos desde 1992 hasta 1994. Es difícil obtener series largas de datos hidrológicos y, además, los datos se recogen, generalmente, en un punto de nivel. Esto permite algunos análisis probabilísticos, que se pueden aplicar localmente, pero impide directamente la realización de curvas de frecuencia de nivel del agua en la región de interés. Como métodos indirectos, los modelos hidrodinámicos pueden ayudar a superar esta restricción mediante la consideración de la información topográfica y de los datos puntuales hidrológicos (condiciones de frontera), dando como resultado salidas hidráulicas que pueden permitir el desarrollo de las curvas citadas.

* Dirección Nacional de Hidrografía, Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Montevideo, Uruguay. Correo electrónico: arcelus@comercialnet.com.uy