
TESIS DOCTORALES

TESIS DOCTORALES RECIENTES

MARCOS VALIENTE, Óscar: *Evaluación de la vulnerabilidad a la sequía en el nordeste de Brasil mediante indicadores socioclimáticos*. Universidad de Barcelona. Julio de 2000. Director: José Luis Luzón Benedicto.

El estudio de las sequías en el Nordeste de Brasil es abordado en esta obra partiendo de la hipótesis de que la sequía en el Nordeste es resultado de dos componentes, el climático, que determina el riesgo de que se produzca una anomalía pluviométrica, y el socioeconómico, que define la fragilidad de la población ante ese riesgo. En otras palabras, en el Nordeste existe un riesgo climático agravado por la vulnerabilidad de la economía y la sociedad nordestinas a ese riesgo. Riesgo y vulnerabilidad son, por tanto, dos conceptos entorno a los cuales ha girado la obra, y cuya cuantificación era necesaria para disponer de un marco metodológico adecuado con el que determinar si la sequía es o no un problema en el Nordeste, y si lo es, conocer qué áreas son las más sensibles y cuál ha sido la evolución de su fragilidad. La determinación de ambos componentes se ha llevado a cabo con los índices, IRS (índice de riesgo de sequía) e ISC (índice socioclimático), aplicados a 138 municipios de todo el Nordeste de Brasil, una región llena de contrastes climáticos en la que conviven áreas de clima semiárido, y zonas de clima tropical de transición hacia el ecuatorial.

El índice de riesgo de sequía (IRS), está formado por cuatro componentes: precipitación media anual corregida en función de la temperatura media anual, estacionalidad pluviométrica, variabilidad y persistencia de la sequía. Los resultados del IRS, muestran un riesgo de sequía bajo en el extremo occidental del Nordeste (Maranhão, sudoeste de Piauí, oeste de Bahia y noroeste de Minas Gerais), en el sudeste de Bahia y en casi todo el litoral oriental, desde Paraíba hasta el norte de Alagoas, y desde el sur de Sergipe hasta el extremo meridional de Bahia. El riesgo es mínimo en el norte de Maranhão y en el litoral de Bahia, en consonancia con bajos valores de persistencia y con la abundancia y regularidad de las precipitaciones. El riesgo más elevado se sitúa en una cuña que entra desde el litoral septentrional hacia el interior semiárido, comprendiendo los estados de Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco y norte de Bahia. Esta zona de máximo riesgo en el conjunto de la región Nordeste coincide con el área donde la sequía es más persistente, y las precipitaciones son más irregulares y estacionales.

Los resultados del IRS concuerdan con los detectados con otras metodologías para la región Nordeste, aunque la utilización de una herramienta climáticamente más consistente ha permitido matizar la distribución espacial de riesgo en zonas históricamente consideradas como de muy baja probabilidad de sequía, pero que también se hallan sometidas a episodios de fuerte escasez pluviométrica: el litoral oriental, el sur de Bahia y la mitad sudoriental del estado de Maranhão.

El análisis del riesgo climático se completa con el estudio de la vulnerabilidad socioeconómica a los eventos de sequía, medida a través de un índice de vulnerabilidad (IV), resultado de la combinación de cinco indicadores sectoriales, dos de carácter económico (uno de renta y el otro de fragilidad agrícola), dos de tipo social (uno de educación y otro de salud), y uno que conjuga ambos componentes a través de la ocupación humana del territorio.

La intensa ocupación del territorio (especialmente elevada en el contexto de los espacios semiáridos en latitudes tropicales), la carencia de recursos económicos con los que hacer frente a esos períodos adversos, el todavía elevado peso del altamente sensible sector agrícola en el conjunto de la actividad económica, la insuficiente infraestructura sanitaria, la escasa formación, que limita la capacidad de aplicar estrategias de resistencia a la sequía, y el desequilibrio que caracteriza a la estructura socioeconómica nordestina, contribuyen a que el índice propuesto ofrezca un alto grado de vulnerabilidad a los eventos secos en la región Nordeste.

El IV permite detectar dos áreas de máxima fragilidad: el conjunto formado por el *meio-norte* y la preamazonia (estados de Maranhão y Piauí), y el agreste desde Rio Grande do Norte hasta el norte de Bahia. En ambos sectores la vulnerabilidad a la sequía era muy alta en 1970, alta en 1980, y moderada en 1991, mostrando una mejora constante relacionada con la progresiva urbanización de los municipios de la región, la extensión de la agricultura regada, el aumento de los ingresos de la población, y la mejora de las condiciones sanitarias y del nivel de formación.

En cuanto a las áreas de menor vulnerabilidad, aquellas con un grado medio o inferior, sólo son detectables a partir de 1980, puesto que en 1970 la mayor parte del Nordeste presentaba un grado alto, y sólo el litoral oriental desde Paraíba hasta Salvador, el entorno de Barreiras (cerrado bahiano), y el valle submedio del San Francisco se hallaban en situación de vulnerabilidad moderada. La mayor parte del Nordeste seguía contando en 1991 con un grado de vulnerabilidad moderado, evidenciando la necesidad de mejorar las condiciones sociales y económicas de la población en la región. Sólo el litoral oriental, el valle submedio del San Francisco, el cerrado bahiano, y parte del *sertão* norte (extremo oriental de Ceará, oeste de Rio Grande y mitad occidental de Paraíba), cuentan con una vulnerabilidad de grado medio.

La coincidencia de estos espacios con polos de desarrollo agroindustrial basados en el regadío y la hortofruticultura de exportación no es casual. Simultáneamente a la implantación de polígonos de regadío, que han dinamizado la economía local y mejorado los ingresos de la población, se han instalado escuelas y centros sanitarios que han incrementado la esperanza de vida, reducido la mortalidad infantil y elevado el nivel de formación de sus habitantes.

La definición de los espacios de máxima vulnerabilidad a la sequía según el contexto socioeconómico permiten definir las áreas susceptibles de mejorar sus condiciones de renta, educación, sanidad, etc., pero al no incluir el componente climático no proporcionan un valor adecuado para la toma de decisiones. Para obtener unos resultados más cercanos a la realidad

climática, social y económica de la región de estudio, se ha desarrollado un índice socioclimático (ISC), el cual se obtiene mediante el promedio del índice de vulnerabilidad (IV), como síntesis de las condiciones socioeconómicas del territorio y la vulnerabilidad al evento climático objeto de esta tesis, y del IRS, que compendia las características climáticas de la región de estudio y define el riesgo de sequía en los diversos espacios del Nordeste de Brasil.

La distribución espacial del ISC mostraba en 1970 que la vulnerabilidad a la sequía era alta en el *sertão* norte, en Piauí, y en el extremo oriental de Maranhão, mientras que era moderada en el *sertão* sur y en Maranhão. El litoral oriental era el espacio menos sensible a los períodos de sequía en función de sus características climáticas y de su estructura socioeconómica, con una vulnerabilidad media. Aisladamente, algunos municipios del *sertão* norte presentaban vulnerabilidad muy alta.

En 1980, se observa que las áreas de influencia de los polos agroindustriales basados en el regadío (nordeste de Ceará, sudoeste de Rio Grande, oeste de Paraíba y valle submedio del San Francisco), ya habían reducido su fragilidad. En un contexto climático constante, los cambios de la estructura socioeconómica inducidos por los polígonos de regadío en estos espacios redujeron la vulnerabilidad a los eventos secos. Finalmente, en el año 1991 la reducción de vulnerabilidad se concentra en el *sertão* norte, donde el nivel de fragilidad pasó a ser mayoritariamente de grado medio. Sólo en el interior y sur de Ceará, centro de Paraíba y norte de Pernambuco la vulnerabilidad permanecía en 1991 en un nivel alto.

En el agreste, las carencias sociales y económicas, iguales o incluso superiores a las del semiárido, no derivan en una elevada vulnerabilidad gracias a la bondad climática, pero igualan sus condiciones de fragilidad a las del *sertão*, espacio que siempre ha sido considerado como el área prioritaria de actuación para los programas de desarrollo y las actuaciones de emergencia contra los efectos de la sequía. Teniendo en cuenta estos resultados, por el conjunto de sus características socioclimáticas, el agreste debe figurar como espacio prioritario de desarrollo y área susceptible de recibir ayudas para el combate de las secas, en la misma medida que lo ha sido históricamente el semiárido.

Pese a la reducción de la fragilidad a los eventos secos, el Nordeste todavía mantiene un grado de vulnerabilidad elevado, por lo que la población sigue sometida a los efectos que producen los períodos de sequía, tal y como demostró la seca de 1998. Los programas de emergencia, al garantizar el abastecimiento de alimentos, medicinas y agua, han contribuido a que las secas en el Nordeste ya no sean el evento catastrófico que azotaba el semiárido a finales del siglo pasado. Sin embargo, el planteamiento emergencialista que ha venido imperando durante todo el siglo XX, y que ha permitido mejorar sensiblemente las condiciones de los sertanejos en períodos de escasez pluviométrica, no puede sostenerse indefinidamente.

Algunas de las medidas de emergencia, que ahora son suprimidas tras la caída de las primeras lluvias, como los programas de mejora de los sistemas educativos, sanitarios, o de abastecimiento de agua en domicilios, merecerían tener continuidad más allá de los períodos secos, para así disponer de mecanismos con los que resistir eficazmente ante la siguiente seca. Hasta ahora, sin importar el sistema político implantado en el país, el color o signo de sus gobernantes, o el tipo de institución encargada de combatir la sequía, los períodos de pluviometría abundante se caracterizan por el desinterés en aplicar medidas preventivas, mientras que durante los episodios de sequía se implantan programas de emergencia cuya dotación presupuestaria crece a cifras difíciles de controlar. Este sistema de combate a los

efectos de la sequía, característico del ciclo hidro-ilógico, debe ser sustituido por actuaciones de tipo continuista y preventivo que permitan reforzar la estructura social y económica de la población nordestina, mitigando al mismo tiempo los efectos de la sequía.

En cuanto a la concentración de esfuerzos en el incremento de las reservas de agua mediante la construcción de embalses, pozos, azudes y depósitos, ha contribuido a mejorar el acceso de la población al agua, pero persisten carencias en su gestión, distribución y reparto que contribuyen a agravar los efectos de la sequía en los grupos de población más vulnerables. Pese a esta realidad, las políticas públicas siguen otorgando en la actualidad una atención prioritaria a la construcción de obras hídricas, tal y como demuestra la nueva propuesta de trasvase de aguas del río San Francisco hacia el *sertão* norte, surgida tras la seca de 1998.

La reducción de la vulnerabilidad en el Nordeste hasta un nivel suficiente como para garantizar que una seca no generará consecuencias críticas sobre la economía y la población, no pasa por crear políticas específicas contra la sequía, puesto que la experiencia acumulada durante el siglo XX ha demostrado que esa es una línea de actuación insuficiente. Para ser efectivas, las políticas preventivas deben concentrarse en reducir los desequilibrios y carencias sociales y económicos detectados en esta tesis. Hasta que las instituciones y los diferentes niveles de la administración brasileña (municipales, estatales y federales) no sean conscientes de esa realidad, los efectos de las secas en el Nordeste no dejarán de ser noticia y objeto de investigaciones como la que ha centrado esta obra.

ARMENGOT SERRANO, Rafael: *Caracterización de las precipitaciones intensas a escala diaria en el País Valenciano*. Universidad de Valencia. Septiembre de 2000. Director: Alejandro Pérez Cueva.

En el período 1976-90 se registraron 130 días (9 por año) en que la lluvia alcanzó o superó los 100 milímetros en algún punto del territorio valenciano. Algunos de estos episodios tuvieron un carácter excepcional, destacando el que destruyó la presa de Tous e inundó la Ribera del Xúquer en Octubre de 1982.

En el presente estudio se analizan estas precipitaciones superiores a 100 mm. en el día pluviométrico en el País Valenciano y su entorno inmediato, en dicho período 1976-90, desde una triple perspectiva:

A) En el análisis **pluviométrico** se estudia la distribución espacial, estacional e interanual de las precipitaciones intensas. En su distribución general, estos casos tienden a concentrarse en el centro-sur del golfo de Valencia, con especial incidencia en la Marina Alta, Safor y Vall-digna. Por el contrario, las áreas de inhibición con total ausencia del fenómeno se sitúan en el margen interior de la Comunidad, en puntos del litoral y en el valle medio del Túria.

En su distribución estacional, en otoño se producen más del 50% de los casos, y entre ellos los más intensos y extensos. A lo largo del otoño las lluvias intensas se trasladan desde localizaciones litorales en Septiembre a interiores en Noviembre, con las consiguientes consecuencias hidrológicas. A nivel interanual, se registra un paulatino incremento en su frecuencia y extensión en los sucesivos quinquenios, con períodos de desigual incidencia de las precipitaciones fuertes, probablemente vinculados a anomalías en el campo térmico marino.

Respecto a su aportación volumétrica, destaca que estos 130 días suponen el 30% de la precipitación del período. Ahora bien, sólo 1/6 de dicha precipitación se produce en los núcleos superiores a 100 mm.

Se establecen correlaciones entre datos máximos, áreas afectadas y volúmenes precipitados, y se define un índice de focalización; se señalan dos formas de lluvia intensa: una muy focalizada, de Agosto a Noviembre, y otra escasamente focalizada el resto del año.

B) En la caracterización **sinóptica**, se define el contexto favorable a la lluvia intensa en función de la presencia de baja aislada en 500 hpa entre las coordenadas 32 y 41N de latitud, y entre 11W y 3E de longitud, dado que 102 de los 130 casos intensos reúnen dicha condición. Se efectúa un análisis en profundidad de los 575 días (el 10,5% del total) que en el período cumplen dicho requisito, estudiando el carácter reforzante e inhibitor de toda una serie de variables sinópticas.

Se estudia en detalle la advección en capas bajas y el gradiente en superficie, destacando la estrecha relación entre ambos y la localización de las lluvias intensas; asimismo se efectúa una climatología de las bajas en 500 hpa y su eficiencia pluviométrica, resaltando la eficiencia de las bajas posicionadas al sur del área.

C) Como culminación de la investigación, se han construido **modelos estadísticos** de regresión logística para predecir la ocurrencia de lluvia intensa desde una doble perspectiva: precipitación máxima puntual (superior a 100 mm.) y altos volúmenes totalizados (superiores a 400 hm³). Dichos modelos se abordan mediante análisis de **componentes principales** y mediante **variables** independientes, de síntesis y de fecha.

Una vez comprobada la bondad de los modelos mediante validación cruzada, se propone un sistema de alerta para la predicción de lluvias intensas en tiempo real, en función del mejor balance entre subpredicciones y falsas alertas. Este modelo se entiende como una ayuda al diagnóstico y pronóstico de los Grupos de Predicción y Vigilancia meteorológicos.

MÁYER SUÁREZ, Pablo: *Riesgos asociados a episodios de lluvia intensa en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria (1869-1999)*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Diciembre de 2000. Directora: Emma Pérez-Chacón Espino.

En este trabajo se estudian las consecuencias socioeconómicas y ambientales de las precipitaciones intensas acaecidas entre 1869 y 1999 en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria, analizando la variación espacial de sus efectos en función de la evolución del desarrollo urbano. Asimismo se determinan las causas atmosféricas responsables de las precipitaciones más intensas en la ciudad con el objeto de establecer las “situaciones tipo” generadoras de esos aguaceros intensos.

El inicio del período temporal estudiado, 1869, responde a la instalación del primer observatorio meteorológico en esta ciudad. Los 131 años de estudio se subdividen en cuatro períodos que se corresponden con las grandes fases de crecimiento de la trama urbana. Los períodos establecidos son: 1869-1914, 1915-1949, 1950-1969 y 1970-1999. Con el objeto de indicar las consecuencias espaciales de las lluvias intensas: áreas inundadas, desprendimientos, destrucción de viviendas, etc., en cada uno de estos períodos se procede a digitalizar, mediante un

S.I.G. la trama urbana de la ciudad en 1915, 1950, 1969 y 1997. De esta forma se puede realizar un análisis comparativo entre el crecimiento de la ciudad y las áreas inundadas.

La metodología empleada se inserta dentro de las propias de los *Riesgos Climáticos*, pero adaptada a las peculiaridades del área de estudio. Así pues, se establecen umbrales de precipitación diaria a partir de los cuales se procede al análisis diacrónico de distintas fuentes históricas y climáticas. Para el análisis de las consecuencias socioeconómicas y ambientales de las lluvias en la ciudad se escogió el umbral de 30,1 mm. en 24 horas. Según Marzol (1988), este umbral se considera como límite inferior de las “lluvias fuertes” en Canarias. Por lo tanto, cada vez que en la ciudad se supera esta cantidad de lluvia diaria se procede a consultar distintas fuentes históricas: prensa, actas del Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria, informes técnicos municipales y expedientes del Gobierno Civil. Por otro lado, para el análisis del estado de la atmósfera se escoge el umbral de 40,1 mm. diarios con el objeto de establecer las “situaciones sinópticas tipo” generadoras de aguaceros intensos en la ciudad. Así pues, cada vez que se supera esta cantidad de lluvia en la ciudad se cotejan los mapas sinópticos elaborados por distintos organismos meteorológicos de Estados Unidos, Francia y España. Asimismo, en cada uno de estos episodios se analiza la distribución espacial de las lluvias en el municipio, con el objeto de establecer relaciones entre situación sinóptica y reparto espacial de las lluvias en el sector NE de Gran Canaria.

Una de las principales conclusiones que se puede extraer de este estudio es que las inundaciones constituyen un fenómeno complejo que requiere valorar diversos componentes, tanto del medio natural como de otros inducidos por la actividad humana. Sus causas varían en el espacio y en el tiempo y se detecta una estrecha relación con los diferentes estadios de transformación y ocupación del territorio. Los resultados obtenidos evidencian un traslado progresivo de los problemas ocasionados con lluvias intensas hacia las nuevas áreas de crecimiento, debido, principalmente, a la ausencia histórica en los documentos de ordenación de cuestiones relacionadas con la evacuación de aguas pluviales, motivo por el cual la red unitaria de saneamiento es incapaz de evacuar los aportes suplementarios de las precipitaciones. Además, el rápido crecimiento de la ciudad por sus lomas, a partir de la década de los años 50, ocasiona la alteración de los numerosos cauces que se desarrollan por este sector. Al tiempo, la ampliación de la ciudad hacia naciente mediante un dique, ganando terreno al mar, motiva la sobreelevación de esta sector 6 ó 7 m. por encima del antiguo nivel de costa. El deficiente tratamiento de toda esta área de cara a la evacuación de aguas pluviales, junto con el cierre de los canales de desagüe de los antiguos cauces urbanos, son las principales causas de inundaciones en gran parte de la ciudad.

Por otro lado, hay que señalar, que en la ciudad se generan sectores inundables con precipitaciones cada vez más escasas. Así, mientras que a finales del siglo XIX se necesitaban cantidades de lluvia superiores a 50,0 mm. para encontrar referencias en las fuentes manejadas de daños en la ciudad, en la actualidad con lluvias diarias del orden de 15,0 mm. se constatan diversos problemas en distintos barrios.

En resumen, las inundaciones y el desarrollo urbano en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria han experimentado un crecimiento conjunto en tanto que, a medida que la ciudad ha ido creciendo, los problemas afectan tanto a los barrios consolidados como a los nuevos polígonos y urbanizaciones. De este modo, resulta significativo que áreas que en 1869 tenían problemas de inundaciones todavía siguen padeciéndolas hoy.