

Cartografía en áreas urbanas costeras. Acapulco y el huracán Otis

Mapping in coastal urban areas. Acapulco and hurricane Otis

Espinosa Dorantes, Elizabeth; Flores Hernández, Jesús

 Elizabeth Espinosa Dorantes ¹

eed@azc.uam.mx

Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco,
México

 Jesús Flores Hernández ²

al2233802467@azc.uam.mx

Universidad Nacional Autónoma de México, México

DECUMANUS. REVISTA INTERDISCIPLINARIA SOBRE ESTUDIOS URBANOS.

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

ISSN: 2448-900X

ISSN-e: 2448-900X

Periodicidad: Semestral

vol. 12, núm. 12, 2023

decumanus@uacj.mx

Recepción: 21 Enero 2024

Corregido: 30 Abril 2024

Publicación: 31 Mayo 2024

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/651/6514927009/>

DOI: <https://doi.org/10.20983/decumanus.2024.1.9>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Resumen: La ciudad es un ecosistema por demás complejo y los cambios en nuestro entorno, en donde se destaca la ocupación de zonas con estructuras poco estables en áreas susceptibles a inundaciones y desprendimientos de tierra, aumentan la posibilidad de afectación de su estructura física ante eventos que son parte del ciclo hidrológico y del equilibrio natural, convirtiendo estos procesos en amenazas para las comunidades. El reciente paso del huracán Otis nos permite reflexionar sobre la relevancia de considerar las condiciones del espacio geográfico en la planificación de las áreas urbanas costeras, por lo que, a través de una breve descripción de cómo la acción humana y la alteración de los ciclos potencializaron los efectos de este evento meteorológico, se documenta la cartografía de este huracán en el puerto de Acapulco.

Si bien la elaboración de cartografía vectorizada y georreferenciada de un huracán es una herramienta común de geógrafos, climatólogos o biólogos, en la planeación del espacio urbano no es frecuente su uso para explicar e identificar los factores y efectos que los eventos climatológicos tienen en los asentamientos. Por ello, en el documento que a continuación se presenta, se enfatiza la importancia de la cartografía en el análisis multifactorial que la variabilidad climática actual requiere en el espacio urbano costero, ya que el análisis de la cartografía permite la comprensión de la dinámica en la formación de sistemas meteorológicos intensos, determinando con ello los efectos.

Palabras clave: variación climática, cartografía, Acapulco, huracán Otis.

Abstract: The city is a very complex ecosystem and the changes in our environment, where the occupation of areas with unstable structures in areas susceptible to floods and landslides stands out, increase the possibility of affecting its physical structure in the face of events that are part of the hydrological cycle and the natural balance, turning these processes into threats to communities.

The recent passage of Hurricane Otis allows us to reflect on the relevance of considering the conditions of the geographical space in the planning of coastal urban areas, so, through a brief description of how human action and the alteration of cycles potentiated the effects of this meteorological event, the cartography of this hurricane in the port of Acapulco is documented.

Although the development of vectorized and georeferenced cartography of a hurricane is a common tool of geographers, climatologists, or biologists, in urban space planning it is not frequently used to explain and identify the factors and effects that climatological events have on settlements. For this reason, in the document presented below, the importance of cartography is emphasized in the multifactorial analysis that the current climate variability requires in the coastal urban space, since the analysis of cartography allows the understanding of the dynamics in the formation of intense meteorological systems, thus determining the effects.

Keywords: climate variation, cartography, Acapulco, hurricane Otis.

INTRODUCCIÓN

Debido a su relativa proximidad con la capital virreinal, Acapulco fue proclamado como el puerto del Pacífico mexicano especializado en actividades comerciales. Existen referencias de su funcionamiento desde 1532, aun cuando hasta octubre de 1565, con el arribo de la expedición de Legazpi-Urdaneta conocida como la “ruta de tornaviaje” (1564-1565),³ se inicia un intenso y largo intercambio comercial con Oriente, que bien puede catalogarse como la primera ruta de comercio global (Espinosa, 2019).

El prusiano Alexander Von Humboldt, en su ensayo clásico sobre la Nueva España (1808), afirmó que “Acapulco es uno de los puertos más hermosos en el mundo”, uno que “forma una inmensa concha cortada entre peñascos graníticos y que presenta el aspecto más salvaje, pero también lúgubre y romántico” (Von Humboldt, 2014, p. 484). Asimismo, afirmó que los puertos que se ubican en las costas del océano Pacífico, desde la isla Chiloé —en Chile— hasta California,

...corren peligro en la estación de lluvias, además, en los meses de julio y septiembre se experimentan violentos huracanes,⁴ y entonces en las costas de Acapulco y San Blas, se encuentra mar de leva muy embravecido [...]. Yo he visto cerca de Acapulco una ceiba (bombax ceiba) de siete metros de circunferencia, que había sido arrancado por los vendavales (Von Humboldt, 2014, p. 484).

El geógrafo prusiano confirmó que el puerto de Acapulco fue un punto estratégico para el comercio del primer imperio-mundo (español), un puerto para la entrada y salida de productos y mercancías desde el océano Pacífico, el cual se conectaba con las redes comerciales de Manila y otros puertos de Asia (véase Figura 1). La vegetación y la geografía, caracterizadas por una topografía con pendientes pronunciadas y altas temperaturas, hicieron del puerto, expuesto al mar abierto, un lugar vulnerable a la fuerza de huracanes,

NOTAS DE AUTOR

- 1 Arquitecta titulada con honores por la Universidad Nacional Autónoma de México, medalla Gabino Barreda al mérito Universitario. Maestra y doctora por la misma institución. Especialista en Composición Urbana por la Universidad Politécnica de Bucarest, Rumanía. Ha participado en diversos proyectos de investigación referentes a procesos de urbanización informal en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, análisis morfológico de ciudades en México y Latinoamérica, y en temas de urbanismo sustentable. Autora de los libros *La lectura de la imagen urbana y Mathias Goeritz: educación visual y obra* y de diversos artículos especializados en temas de urbanismo. Profesora investigadora del Departamento de Evaluación del Diseño en el Tiempo de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI).
- 2 Arquitecto y maestro en Arquitectura por la Universidad Nacional Autónoma de México, doctorante en la Universidad Autónoma Metropolitana, posgrado de Diseño en Estudios Urbanos. Profesor de asignatura en Investigación, Construcción y Diseño Arquitectónico en la Universidad Nacional Autónoma de México, conferencista sobre las repercusiones de los megaproyectos y el cambio climático en México: uso de suelo, islas de calor, contaminación atmosférica, recursos hídricos y criósfera, abatimiento de mantos freáticos y migración.

sismos y escurrimientos. Todo esto fue un impedimento para el crecimiento acelerado de los asentamientos urbanos desde tiempos de la Colonia hasta principios del siglo XX.

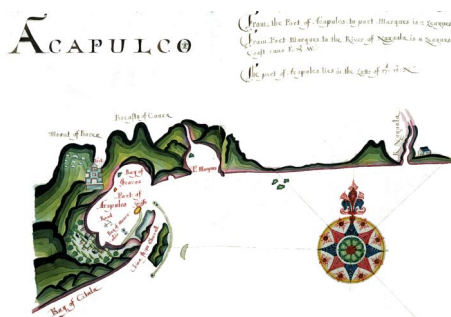


FIGURA 1.

Mapa del puerto de Acapulco realizado por William Hack en 1685

Fuente: Museo Marítimo Nacional de Greenwich, Reino Unido. <https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-492507>

A diferencia de lo que observó Humboldt, actualmente los vientos huracanados ya no derriban ceibas, sino ciudades enteras. Esto es así debido al abrupto cambio del uso de suelo y deforestación derivados de la transformación socioespacial de la costa de Acapulco, que pasó de ser un puerto estratégico a una de las zonas turísticas más importantes de México y a la zona urbana más grande y densa del estado de Guerrero, la cual supera por mucho a la capital guerrerense.

Los asentamientos humanos en Acapulco, que se caracterizaron por chozas y hamacas, fueron creciendo entorno al Fuerte de San Diego.⁵ Se estima que hacia 1777 estaban asentadas alrededor de seiscientas familias —españoles, afrodescendientes e indígenas— y a mediados del siglo XIX contaba con 3000 habitantes que radicaban permanentemente. Todo cambió a partir de 1927, cuando se construyó la carretera Acapulco-Taxco y el aeropuerto (1928), donde aterrizaron los primeros turistas estadounidenses (Cárdenas, 2016a). Entre 1934 y 1937 se construyeron los primeros hoteles: El Hornos, El Mirador y El Majestic, a partir de los cuales comenzó a desarrollarse la infraestructura turística.

El surgimiento de la ciudad de Acapulco de Juárez y las transformaciones físicoespaciales de su transición a puerto turístico se producen entre 1930 a 1950. Es en el periodo del presidente Miguel Alemán (1946-1952) cuando el proyecto de modernización de la ciudad toma fuerza con la consolidación de la comunicación terrestre y el inicio de la construcción de la costera Miguel Alemán, la cual se desarrolló paralela a la franja costera. Con esta nueva conectividad se inicia la actividad turística del puerto y se da paso a un desarrollo acelerado, el cual se enfocó en la dotación de servicios turísticos.

Es así como Acapulco se convirtió en el paradigma del turismo nacional al aportar el 42 % de las divisas en el sector, condición que generó un importante movimiento migratorio y demográfico en la región (Cárdenas, 2016b). Con el gobierno alemanista surgen instancias en pro del desarrollo turístico, así como planes de financiamiento que permitieron la rápida modernización de la franja costera, y debido a la adquisición de predios por inversionistas se produjeron importantes reubicaciones de la población migrante a la parte alta del anfiteatro.

Con el desarrollo de la infraestructura turística y el aumento de la población, la ausencia de planificación urbana afectó no solo a los ecosistemas, sino que también transformó drásticamente el uso del suelo. En 1950 Acapulco contaba con 55 862 habitantes y en 1980 con 409 335, asentados en una superficie urbana de casi 2000 ha, esto es un crecimiento de más de siete veces en tan solo 30 años; asimismo, en 2014 la superficie urbana alcanzó más de 16 000 ha (Cárdenas, 2016b), es decir, una superficie ocho veces mayor que en 1980 (véase Figuras 2 y 3).

Hacia finales de la década de los 90's, la continuación de la costera Miguel Alemán hacia la bahía de Puerto Marqués, fomentó el crecimiento urbano hacia esa zona, integrando un segundo segmento turístico (zona

dorada y Acapulco diamante), en donde predominan edificaciones de altura, destinadas para el alojamiento, que se desplantan sobre los límites de la franja marítima (véase Figura 4).

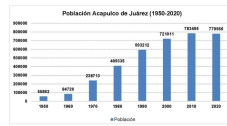


FIGURA 2.

Población de Acapulco de Juárez (1950-2020)

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (1998, 2000, 2010, 2020).

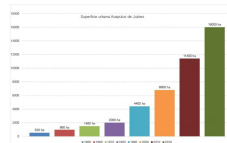


FIGURA 3.

Superficie urbana de Acapulco de Juárez (1980 y 2014)

Fuente: Elaboración propia con base en Cárdenas (2016b) y extrapolación de la superficie calculada a partir de la Figura 4.

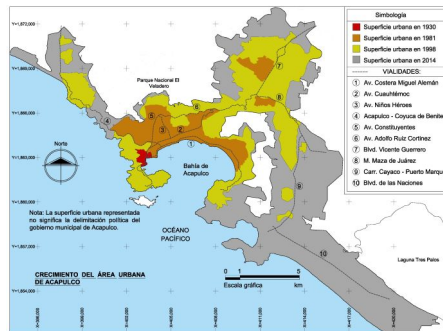


FIGURA 4.

Crecimiento urbano del puerto de Acapulco 1930- 2014

Fuente: Elaboración propia con base en Cárdenas (2016b).

Las personas que migraron⁶ hacia Acapulco en busca de empleo y oportunidades, la gran mayoría de escasos recursos, se asentaron en las faldas de los cerros, en las orillas de los ríos, así como en zonas planas con alta probabilidad de inundación, es decir, en lugares de alto riesgo en caso de huracanes, sismos y escurrimientos. El uso de suelo —16 000 ha que hoy conforman una superficie impermeable de asfalto, concreto, viviendas y hoteles son un reflejo de sobreexplotación del suelo— y las variaciones en el estado del sistema climático potencializan la vulnerabilidad de este territorio.

Los factores anteriores son dos caras de la misma moneda: el Antropoceno⁷ —época acuñada por el Nobel de Química Paul Crutzen—, en el que la modificación por actividad humana, en todos los ámbitos del planeta (superficie terrestre, subsuelo, mar y aire), tiene un impacto global en el medio ambiente físico y en el conjunto de organismos que viven e interactúan entre sí y su medio. En este sentido, desde hace décadas el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), así como algunos científicos han advertido sobre el incremento en la intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos y demás efectos del cambio climático en el medio ambiente físico (IPCC, 2013).

La complejidad del fenómeno urbano contemporáneo, con dinámicas que integran funcionalmente espacios construidos que no tienen continuidad física entre ellos, nos refieren a un organismo líquido en continua expansión, que no solo define una diferente naturaleza espacial (Espinosa y Aguilera, 2022), sino un ecosistema por demás complejo en donde el espacio urbano y rural se mezclan, y la heterogeneidad y discontinuidad aumentan la posibilidad de afectación de la estructura física del territorio ante eventos que

son parte del ciclo hidrológico y del equilibrio natural, convirtiendo estos procesos en amenazas para las comunidades.

Durante mucho tiempo se asumió que la problemática de las zonas costeras provenía exclusivamente de cambios en el nivel del mar y, por tanto, se aceptó como una temática exclusiva de climatólogos, biólogos y en algunos casos geógrafos. Sin embargo, el hecho de que el espacio geográfico constituye un todo aglutinador de diversas disciplinas y actividades y que el urbanismo tradicional no está prestando atención a la importancia de distintos factores geomorfológicos, ni a las evidencias nada desdeñables de que el calentamiento global no es una ficción sino una realidad científica, nos revelan la urgencia y oportunidad de analizar, con mayor precisión, el territorio, a fin de introducir cambios en nuestra forma de interrelacionarnos con el entorno y anticiparnos a sus efectos adversos.

En este sentido, los huracanes representan uno de los peligros más importantes debido a la intensidad, cada vez más extrema, y frecuencia con la que se presentan (Yin *et al.*, 2024; Kossin *et al.*, 2020). Aumento del nivel del mar, cambios en las características de las tormentas y el crecimiento de la población provocan impactos sustanciales en las zonas costeras (Yin *et al.*, 2024), siendo las inundaciones uno de los mayores riesgos. Yin *et al.* (2024) estima que, en las 136 ciudades costeras más grandes del mundo la cantidad de personas afectadas por las inundaciones se triplicará para el año 2070.

Por tanto, es inevitable que quienes estudian el espacio urbano deban examinar, profundamente, la morfología, las prácticas y los fenómenos del espacio geográfico, considerando, en específico, su relación con los ecosistemas, a fin de buscar mitigar los impactos de los cambios climáticos en el territorio urbano. Así también, definir qué componentes de la morfología deben ser considerados en los estudios urbanos que tengan como finalidad analizar los efectos de la variabilidad climática en áreas urbanas costeras.

Bajo estos argumentos y desde la visión de que la morfología, estructuración y simbolización del entorno propician la diferenciación de los efectos, a continuación, y con base en la presencia del huracán Otis que el pasado 25 de octubre de 2023 provocó una devastación importante en el puerto de Acapulco, se tiene el objetivo de identificar los elementos que han hecho vulnerable a la ciudad ante los huracanes de categoría cinco, los cuales están relacionados con el fenómeno del Niño y el calentamiento global, no sin antes repasar características relevantes de la acción humana y los ciclos alterados que potencializan los efectos de eventos meteorológicos. También se realizará una breve descripción de las costas mexicanas y su propensión a ciclones. Una parte relevante es la sección en la que se documenta la cartografía del huracán y sus efectos en el puerto. Finalmente se plantean algunas conclusiones.

Es importante precisar que la cartografía desarrollada para el análisis geomorfológico, se obtuvo al realizar dibujos vectorizados (en proyección de Mercator)⁸ y georreferenciados en DraWinG, y que para el procesamiento de la topografía y batimetría se utilizó como base Google Earth Pro. A partir del análisis de la información gráfica producida se presentan argumentos respecto a la relevancia de entender la morfología de los territorios para precisar efectos derivados del cambio climático.

ALTERACIÓN DE CICLOS EN CIUDADES COSTERAS

De acuerdo con Saskia Sassen (2009), lo que caracteriza a las ciudades globales son las “dinámicas transfronterizas, donde existe una relación política, cultura, social y criminal”. En la dinámica global, afirma que el rol económico ha predominado, incidiendo en la geografía de las ciudades (Sassen, 2011). La dinámica económica predominante —cuya esencia es la emisión indiscriminada de Gases Efecto Invernadero—, ha generado, por el impacto antropogénico, un calentamiento global que lo trastoca todo, afectando a las ciudades y al planeta entero. Esta característica, fehaciente por diversos efectos, está cambiando la morfología del paisaje, es decir, transformando lo tangible e intangible, la biodiversidad y las “actividades humanas en las ciudades; modificando la relación de la ciudad con la economía, formas de vida, creencias,

cultura, etcétera” (Huamán y Espinosa, 2016). Lo anterior no es único de una geografía específica, sino una transformación global.

En la era de la “ebullición global”, según nos advirtió la Organización de las Naciones Unidas, “el 90 por ciento de todas las áreas urbanas del mundo son costeras”, en este sentido, las zonas costeras están expuestas a ciclones tropicales, olas de calor en tierra y mar, erosión, pérdida de oxígeno y alcalinidad del agua, intrusión de salinidad y aumento del nivel del mar. Esto está provocando una contracción del hábitat y pérdida de la biodiversidad, pues se estima que el 50 % de los humedales costeros han desaparecido debido a la variabilidad climática y la actividad humana (Urban Climate Change Research Network, 2018).

Se calcula también que el 90 % de dichos humedales dejarán de existir en 2100 y que gran parte de los arrecifes de coral sufrirán pérdidas significativas incluso si el aumento de temperatura global se limita a 1.5 °C (IPCC, 2019). Al respecto, debido al aumento de la temperatura en la superficie del océano —entre 32 y 33 °C—, en 2023 se registró la muerte masiva de coral en las costas de Baja California, Jalisco, Veracruz, Oaxaca y Guerrero (Global Coral Reef Monitoring Network [GCRMN], 2021;⁹Saavedra, 2023). El blanqueamiento de coral es toda una catástrofe que ha pasado desapercibida, pero también fue el aviso de la existencia del huracán Otis en el Pacífico, ya que ambos fenómenos están relacionados con la temperatura del océano.

Por otro lado, cerca de 350 ciudades alrededor del mundo están expuestas al calor extremo —con más de 35 °C—, y el 14 % de la población mundial vive en zonas con temperaturas elevadas. Para 2050, esas condiciones se exacerbarán, ya que se estima que 970 ciudades, estarán expuestas al calor extremo y el 45 % de la población mundial vivirá en ciudades con temperaturas extremadamente altas; alrededor de 800 000 000 de personas vivirán en 570 ciudades costeras que estarán en riesgo debido a los eventos hidrometeorológicos extremos, aumento del nivel del mar e inundaciones. Para el mismo año, se estima que vivirán en las zonas costeras más de 4 320 000 000 de personas, cuyas ciudades ya están padeciendo los efectos del cambio climático (Urban Climate Change Research Network, 2018).

En México, los efectos del cambio climático son variados y complejos, sin embargo, prácticamente todo su territorio está siendo afectado, especialmente las zonas costeras, que son las más vulnerables y las primeras en afrontar una serie de amenazas climáticas. Esta problemática toma mayor relevancia si consideramos que el 18 % de los mexicanos se encuentra en áreas urbanas costeras, así como parte de la infraestructura estratégica —como la petrolera y portuaria—. México es, además, el segundo país del continente con mayor longitud de costa, ya que cuenta con 11 592 km (Padilla y Sotelo *et al.*, 2009), donde se encuentran quince zonas metropolitanas y sus respectivas ciudades con más de 500 000 habitantes (Gay y García y Rueda, 2015): Tijuana, Veracruz, Cancún, Acapulco, Tampico, Tapachula, Puerto Vallarta, Mazatlán, La Paz, Los Cabos, Ensenada, Mérida, Campeche, Coatzacoalcos y Matamoros (véase Figura 5).

Asimismo, México cuenta con 447 municipios costeros¹⁰ con una población de 23 000 000 de personas (Gabriel y Pérez, 2006). Los estados de Baja California, Sinaloa y Veracruz tienen las franjas costeras más pobladas (Padilla y Sotelo *et al.*, 2009, pp. 30-40) y, por lo tanto, los estados con la mayor superficie urbana e infraestructura en las costas. Además, siguiendo la tendencia global, las ciudades costeras de México tienen el aumento poblacional y urbano más elevado a nivel nacional (Pérez-Campuzano y Santos-Cerquera, 2016). Por añadidura, las zonas costeras y municipios colindantes, tierra adentro, también están expuestos al aumento del nivel del mar, a las tormentas tropicales y a otros efectos del cambio climático, esto es, casi el 47 % de la población mexicana (Gabriel y Pérez, 2006).



FIGURA 5.
Costas de México expuestas a eventos meteorológicos
Fuente: Elaboración propia con base en Padilla y Sotelo *et al.* (2009)

Además, 167 municipios costeros de México presentan marginación¹¹ baja, media, alta y muy alta — alrededor de 7 200 000 habitantes—, destacando los municipios de Oaxaca, Veracruz, Chiapas y Guerrero, cuya marginalidad es muy alta (Pérez-Campuzano y Santos-Cerquera, 2016). Si a todo esto se considera que más de la mitad de los mexicanos se encuentran por debajo de línea de pobreza, se confirma la vulnerabilidad de la población ante los ciclones tropicales como el ocurrido en 2013, cuando el huracán Ingrid y la tormenta tropical Manuel tocaron tierra, afectando a 521 municipios, dejando sin energía eléctrica a casi un millón de personas y dañando 3000 km de carreteras y 13 700 viviendas (CAF, 2015).

COSTAS MEXICANAS Y HURACANES

En México, los efectos hidrometeorológicos del Antropoceno no empezaron con Otis, ya que han existido al menos doce huracanes devastadores en las costas mexicanas (véase Figura 6). En los últimos 30 años, la intensidad de los huracanes tiene una relación directa con el calentamiento de los océanos —efecto que se conecta a su vez con el fenómeno de El Niño—¹² (NASA, 2023a). Dicha relación significa que los eventos climáticos como Otis, son consecuencia del cambio climático antropogénico en una probabilidad de 4200 contra uno (Morales, 2023). De la misma manera, la frecuencia de los huracanes categoría cinco se ha triplicado con relación a las últimas tres décadas del siglo XX, siendo el Caribe y las costas del sur de México las más afectadas por los huracanes de mayor categoría (véase Cuadro 1).

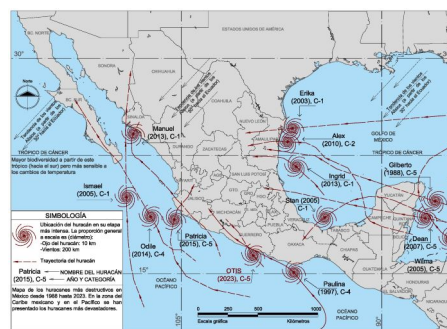


FIGURA 6.
Huracanes más destructivos en México 1988-2023
Fuente: Elaboración propia con base en información del INEGI. <https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/huracanes/destructivos.aspx>

En 1997, el huracán Paulina de categoría cuatro, devastó las costas de Guerrero (Acapulco) y Oaxaca. Sin embargo, Otis rompió el récord en la velocidad para transformarse de tormenta tropical a huracán categoría

cinco —en la escala Saffir-Simpson (véase Cuadro 2) —, siendo el más devastador jamás registrado en estas costas (Morales, 2023). El registro de 2023 demuestra que el 80 % de las tormentas alrededor del mundo han incrementado su categoría rápidamente; un promedio del 50 % en el océano Pacífico Oriental. Por ejemplo, el huracán Jova pasó de categoría uno a categoría cinco, con vientos de 248 km/h, y a inicios de octubre la tormenta tropical Lidia alcanzó la categoría cuatro, con vientos de 224 km/h; también en octubre, y en tan solo doce horas, el huracán Otis hizo lo propio en el océano Pacífico.

CUADRO 1.
Huracanes más destructivos en México

Año	Nombre	Categoría	Velocidad máxima (km/h)	Consideraciones
1988	Enriqueta	Cinco	208	Construyó un canal de drenaje del agua IV, afectó la agricultura de riego y el comercio de México
1994	Paulina	Cuatro	216	Tras pasar por Puerto Vallarta, Tepic y San Blas, afectó a Tlaxcala, Veracruz y Chiapas
1995	Edith	Cinco	210	Afectó a Veracruz, México y las costas del Golfo de México
1997	Isabel	Cinco	210	Afectó a Veracruz, México y las costas del Golfo de México
2001	Lidia	Cuatro	224	Afectó a la zona costera de México
2005	Wilma	Cinco	205	Tras pasar por Veracruz, México y las costas del Golfo de México, afectó a Chiapas y a gran parte de la península de Yucatán
2007	Dean	Cinco	200	Afectó a Veracruz, México y las costas del Golfo de México
2007	Isaac	Cinco	195	Afectó a Veracruz, México y las costas del Golfo de México
2011	Rigel	Cinco	192	Afectó a Veracruz, México y las costas del Golfo de México
2013	Manuel	Cinco	190	Afectó a Veracruz, México y las costas del Golfo de México
2014	John	Cinco	190	Tras pasar por Veracruz, México y las costas del Golfo de México
2015	Patricia	Cinco	345	Tras pasar por Veracruz, México y las costas del Golfo de México, afectó a Chiapas y a gran parte de la península de Yucatán
2023	Otis	Cinco	229	Tras pasar por Veracruz, México y las costas del Golfo de México, afectó a Chiapas y a gran parte de la península de Yucatán

Nota: Los últimos dos de la lista tuvieron rachas de viento de más de 300 km/h.

Fuente: Elaboración propia con base en el INEGI. <https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/huracanes/destructivos.aspx>

CUADRO 2.
Escala Saffir Simpson

Categoría	Velocidad del viento (km/h)	Efectos
Uno	119 a 153	Vientos muy peligrosos con la capacidad de producir algunos daños. Los hogares con techos que no son de concreto reforzado como techos de madera o lámina con tejados son gravemente afectados. Roturas de ramas de árboles altos y volar de aquellos con raíces poco profundas. Daño en líneas eléctricas aéreas.
Dos	154 a 177	Vientos extremadamente peligrosos. Daños importantes en hogares con techos de madera, lámina y/o. Numerosos árboles con raíces poco profundas rotos o arrancados de raíz, provocando afectaciones en viviendas. Pérdida en el suministro de energía eléctrica en un lapso de días o semanas.
Tres	178 a 208	Daños devastadores. Afectación importante en estructuras bien construidas, desprendimiento de techos y volar de maderas. Numerosos árboles caídos. Cortes de energía eléctrica de semanas o meses después del huracán.
Cuatro	209 a 251	Daños catastróficos. Afectación importante a estructuras bien construidas, daños graves en los techos (desprendimiento) en algunas paredes exteriores, rompimiento de puertas y ventanas de cristal de una gran parte de las edificaciones en zonas urbanas. Caída de árboles y postes eléctricos o de molinos urbanos. Cortes de energía por semanas o meses. Área urbana inhabitable durante semanas o meses.
Cinco	252 o más	Daños catastróficos. Gran porcentaje de hogares y edificaciones destruidas. Falta total del techo y colapso de paredes. Árboles y postes caídos, gran cantidad del mobiliario urbano afectado. Viviendas afectadas e inhabitables. Infraestructura de la zona urbana (cortada), y mayor parte de la zona urbana inhabitable durante semanas o meses.

Fuente: Elaboración propia con base en la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA, por sus siglas en inglés). <https://www.nhc.noaa.gov/aboutsshws.php>.

Muy probablemente esto ocurrió por el aumento de la temperatura en los océanos, la cual llegó a máximos históricos en mayo de 2023. En el Atlántico norte se registró un aumento de 1.6 °C encima del promedio mundial, registrado desde 1980 (Copernicus-ECMWF, 2023); asimismo, se consignaron veinte tormentas tropicales o subtropicales durante 2023 —cuando lo “normal” han sido catorce—. En agosto de este año, el huracán Franklin pasó de tormenta a huracán categoría cuatro, afectando la República Dominicana, Haití, Puerto Rico y Bermudas. Franklin ha sido el huracán más intenso en la zona norte del Atlántico, cambiando el paradigma en la localización de estos eventos.

También en el 2023, Idalia —que llegó a categoría cuatro— se formó en el mar Caribe, atravesó el golfo de México y causó daños al norte de Florida, Estados Unidos, hasta llegar al Atlántico. Asimismo, se formó el huracán Lee, de categoría cinco, el cual recorrió gran parte del Atlántico afectando a Bermudas, el norte de Estados Unidos y Canadá. Evidentemente, esta intensificación de los huracanes ha sido precedida por el huracán María, de 2017 —de categoría cinco que devastó a Dominica y Puerto Rico— y Patricia (octubre de 2015), que fue el huracán más devastador en la historia —con rachas de viento de hasta 345 km/h—.

Al considerar la destrucción provocada por estos huracanes, detrás de Patricia se encuentra el huracán Otis, el cual generó vientos sostenidos de 270 km/h y rachas de 329 km/h, oleaje de 5.25 m, humedad del 100 % y presión atmosférica de 960 hectopascales (hPa) a las 00:45 h del 25 de octubre de 2023 (Gómez, 2023). Con esa capacidad destructiva, Otis causó desastres en al menos 47 municipios del estado de Guerrero (Declaratoria de Desastre Natural, 2023) —estado cuya población en situación de pobreza es del 66,4 % (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social [CONEVAL], 2022)—, destruyendo

la ciudad de Acapulco de Juárez y afectando a sus casi 800 000 habitantes. Ninguna estructura de la ciudad estuvo a salvo de los efectos del huracán, ni hoteles de cinco estrellas o edificaciones de lujo, mucho menos la infraestructura y las zonas rurales de Guerrero, muchas de las cuales son áreas pauperizadas y totalmente vulnerables a los desastres naturales.

CARTOGRAFÍA DEL HURACÁN

Aunque Ingrid y otros huracanes han causado severas afectaciones en territorio nacional, el huracán Otis forma parte de un devastador y, posiblemente, frecuente paradigma del cambio climático en el siglo XXI, lo que la revista *Nature* ha llamado “rápida intensificación de los ciclones tropicales en regiones costeras globales” (Li *et al.*, 2023). En este sentido, durante 2023 se registraron 37 ciclones tropicales,¹³ trece de los cuales se intensificaron rápidamente (Davis y Jones, 2023). Según el *New York Times*, Otis también es el ejemplo de un huracán con “escenarios de pesadilla”, una catástrofe “que tomó a muchos por sorpresa y capturó la atención del mundo” (Jones, 2023).

Los escenarios de pesadilla mencionados por el *New York Times* se refieren a la transformación de Acapulco en una zona de desastre, con efectos ocasionados por la fuerza de los vientos, lluvia e inundación (oleaje y escurrimientos), lo cual debe considerarse en la reconstrucción del puerto y en el resto de los 47 municipios afectados (véase Diagrama 1 y Figura 7). De acuerdo con el gobierno federal, el huracán Otis afectó a 274 000 viviendas y 48 000 locales comerciales (Secretaría de Bienestar, 2023). Con base al censo realizado por el gobierno, se estiman “51 mil 864 viviendas destruidas o con pérdida total, la gran mayoría ubicadas en las laderas; 79 mil 510 con daños graves; 64 mil 462 con daño medio; 25 mil 361 con daño menor” (Sengupta, 2023). Sin embargo, poco se mencionó sobre la perturbación en zonas naturales y agrícolas.

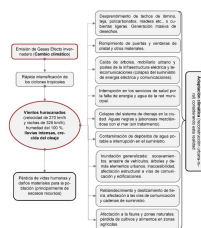


DIAGRAMA 1.
Efectos causados por el huracán Otis en Acapulco
Fuente: Elaboración propia con base en información de la NOAA (Efectos en la escala Saffir Simpson). <https://www.nhc.noaa.gov/aboutsshws.php>

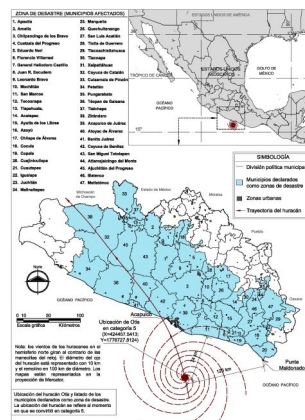


FIGURA 7.
Municipios del Estado de Guerrero afectados por el huracán Otis
Fuente: Elaboración propia con base en Declaratoria de Desastre Natural (2023).

Los satélites de la NASA (2023b) mostraron que la vegetación que estuvo en la trayectoria de Otis pasó de color verde a marrón después de la tormenta, lo que significa un desprendimiento de hojas y ramas, así como caída de árboles por el viento y exceso de agua —principalmente en los bosques ubicados en pendientes de hasta 43 %—. El agua se llevó consigo una gran parte de la biomasa y nutrientes de la tierra, afectando la dinámica de los bosques y zonas de cultivo. Una semana después del huracán, parte de los escurrimientos eran visibles en la laguna Tres Palos desde los satélites. Por tanto, más que acelerar la reconstrucción de la zona hotelera, es sumamente importante poner atención a los árboles caídos en el Parque Nacional El Veladero, así como la mezcla entre vegetación y la basura acumulada en la ciudad, ya que una vez que dicha vegetación esté seca será un peligroso combustible para los incendios forestales en temporada seca y de viento (véase Figura 8).

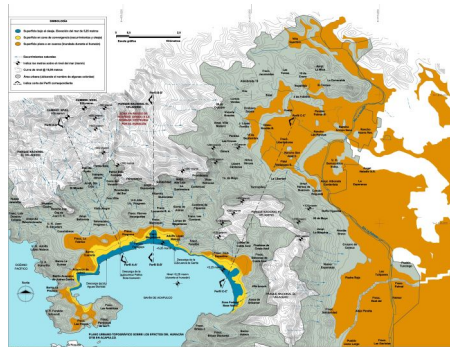


FIGURA 8.

Superficie de convergencia de escurrimientos y de oleaje e inundación en área urbana de Acapulco

Fuente: Elaboración propia con base en el Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Acapulco de Juárez, Guerrero 2020 <https://acapulco.gob.mx/transparencia/plan-municipal-de-desarrollo/>. Vectorización en DraWinG, utilizando Google Earth Pro.

Por otro lado, el impacto en la actividad económica y en las personas que dependen de la producción de coco, ha sido devastador y aún falta por ver todas las consecuencias. Algo similar ocurre con las zonas de cultivo de mango, ajonjolí, melón, sandía, plátano y limón, además del maíz para el autoconsumo.

Sobre la manera sui géneris en que Otis pasó de tormenta tropical a huracán categoría cinco, hay variables a considerar. La principal es la temperatura de la capa superficial del océano frente a la costa de Acapulco, ya que para que una tormenta tropical se intensifique, es necesario que la superficie oceánica tenga entre 26 y 27 °C o más (Hernández, 2001), y en vísperas de Otis la temperatura del agua de la costa de Acapulco, a tan solo 90 km de Acapulco y a 125 km de Punta Maldonado, era de 31 °C (Servicio Meteorológico Nacional, 2023). El climatólogo John Morales, de la Sociedad Meteorológica de Estados Unidos, indicó que “el charco de agua caliente cerca de Acapulco fue el combustible premium para Otis” (Morales, 2023).

De manera similar, Jorge Zavala, director del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la UNAM, afirmó que:

en el momento en el que pasa el ciclón tropical, la energía que genera la fuerza del viento sobre el mar, con el oleaje y la turbulencia, provoca una mezcla con la capa de agua caliente [...], si esta capa de agua no tiene un espesor considerable, rápidamente se enfriará y el huracán se debilitará. Sin embargo, si hay suficiente calor latente de evaporación que el ciclón puede extraer del océano, se intensificará (Domínguez y Juárez, 2023).

Otra variable que influyó en la rápida transformación de Otis fue un anticiclón o remolino en el mar, lo cual hizo que la capa superficial de agua obtuviera mayor espesor o profundidad, produciendo mayor humedad debido al océano cálido.

Por otra parte, la ausencia de vientos secos en la tropósfera,¹⁴ la humedad, la evaporación y los vientos que empujaron el aire húmedo y caliente hacia el huracán, liberaron “una gran cantidad de calor hacia la atmósfera, [...] lo cual mantuvo al ciclón tropical en intensificación” (Domínguez y Juárez, 2023), por ello, y a tan solo a 74 km de la costa de Guerrero, el huracán Otis pasó de categoría uno a categoría cinco en únicamente doce horas (véase Figura 9). Esta drástica y anómala transformación ocurrió en las

coordenadas $X=424457.5413$ y $Y=1776727.8124$.¹⁵ Lo anterior significa que el huracán se intensificó no solo rápidamente, sino a una distancia muy cercana a tierra, provocando que la alerta y las medidas de prevención se tomaran demasiado tarde.

Como conclusión preliminar podemos afirmar que, con variables como el nivel de la capa caliente del océano, la humedad y la batimetría, es posible entender de mejor manera la acelerada transformación de Otis y quizás, la futura morfología de huracanes en las costas de México.

Las costas de Guerrero, Oaxaca, Michoacán, Colima, Jalisco, la punta de la península de Baja California Sur y el este de la península de Yucatán son totalmente vulnerables al oleaje o mareas ciclónicas (Hernández, 2001). En ellas se han presentado los huracanes más intensos y destructivos, lo cual no es ninguna casualidad, ya que como afirmó Humboldt hace siglos, donde las costas están al mar abierto de los océanos y donde la plataforma continental está a poca distancia, existe un oleaje mucho más intenso cuando se presentan los ciclones tropicales. En el caso de la costa de Acapulco, los niveles batimétricos¹⁶ van de los 767 m de profundidad a 20 km de distancia, hasta los 5354 m de profundidad a una distancia de 65 km —en lo que se conoce como fosa continental, donde ocurre el fenómeno de subducción o franja donde se originan los epicentros sísmicos en el Pacífico—.

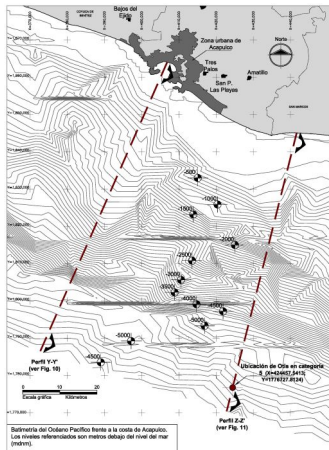


FIGURA 9.

La intensificación del huracán Otis de Acapulco, a una distancia muy cercana a tierra firme

Fuente: Elaboración propia. Vectorización de la batimetría en DraWinG y con datos de Google Earth Pro.

El cambio drástico de la profundidad del océano quizá tenga una relación directa con la rápida intensidad de Otis debido a la temperatura en la capa superficial y en la capa de transición térmica conocida como termoclina.¹⁷ La capa termoclina depende de la estación del año y ubicación geográfica, ya que en su temperatura incide el porcentaje de rayos solares que penetran en el océano, las corrientes marinas, olas de calor superficiales, olas de calor profundas y demás factores comentados. Frente a la costa de Acapulco, esta capa se encuentra entre los 100 y 200 m en promedio y puede llegar hasta los 1000 m de profundidad (véase Figuras 10 y 11).

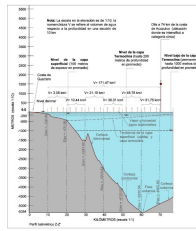


FIGURA 10.

Perfil batimétrico de la bahía de Acapulco

Fuente: Elaboración propia. Vectorización de la batimetría en DraWinG y con datos de Google Earth Pro.

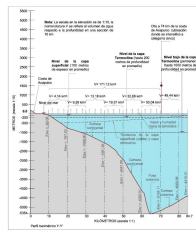


FIGURA 11.

Perfil batimétrico en el área de ubicación de Otis

Fuente: Elaboración propia. Vectorización de la batimetría en DraWinG y con datos de Google Earth Pro.

Considerar un espesor de 100 m de la capa superficial del océano —probable en el caso de Otis—, así como un espesor de entre 200 m y 1000 m de la capa termoclina, significa que a una distancia de entre 10 y 30 km de la costa de Acapulco hay menor volumen de agua profunda (fría) que interactúe con las capas superficiales o calientes, lo cual, hace que sea más constante el agua caliente que la fría, una tendencia que, al menos de manera gráfica, es inversa a los niveles batimétricos. En otras palabras, el huracán Otis absorbió energía de la capa caliente del océano cuando se acercó a la costa, es decir que la capa caliente tenía el espesor necesario para no interactuar con el agua fría (de mayor profundidad) (Hernández, 2001).

Por otro lado, antes obtener la categoría cinco, Otis se encontraba en aguas oceánicas donde la temperatura de la capa superficial no superaba los 26 °C y donde la profundidad es más homogénea, en línea con el promedio del océano Pacífico, el cual tiene 4028 m de profundidad (Guerrero, 2015). Esta homogeneidad cambia a la altura de la corteza continental de Guerrero, donde la capa superficial y termoclina evidentemente tiene otras características —menor volumen de agua respecto a la profundidad del océano—. La transformación de Otis en su fase más devastadora coincide casi exactamente con un importante cambio de la batimetría (véase Figuras 10 y 11).¹⁸ A partir de este cambio abrupto, la temperatura de la capa superficial del océano fue constante, es decir, igual o mayor a 27 °C hasta la costa de Acapulco. En otras palabras, a medida que el huracán se iba acercando, encontró agua caliente y la humedad suficiente para mantenerse en categoría cinco.

Al realizar un perfil batimétrico en dirección a Otis (véase Figura 11), se observa el siguiente volumen de agua en kilómetros cúbicos a diferentes distancias: 10-20 km: 3.08 km³; 20-30 km: 10.44 km³; 30-40 km: 21.10 km³; 40-50 km: 36.31 km³; 60-70 km: 51.75 km³. En promedio, a lo largo del perfil (siguiendo la corteza continental), se registra un volumen promedio de 171.47 km³. Contrariamente, el promedio del Pacífico en una distancia similar es de 241.68 km³.

OTIS Y SUS EFECTOS EN ACAPULCO

Como efecto inmediato en la ciudad están las 666 000 toneladas de basura (Kanno-Youngs y Rodríguez, 2023), equivalentes a 51 días de toda la basura generada en la Ciudad de México. Más allá del mal olor y

los desechos, la verdadera preocupación radica en los impactos en la fauna nociva y las enfermedades que han afectado a la población, incluyendo erupciones cutáneas, diarrea y enfermedades infecciosas (Kanno-Youngs y Rodríguez, 2023). Además, es necesario abordar la limpieza de basura, residuos químicos y otros desechos líquidos, incluyendo combustibles, arrastrados al océano. Esto tendrá repercusiones en el ya afectado ecosistema marino del puerto, que sufrió una muerte masiva (blanqueamiento) de coral en 2023. A este panorama se agregan las aguas residuales de la ciudad, las cuales han sido vertidas al mar durante años sin el tratamiento adecuado (Ramírez-Calderón *et al.*, 2021).

En cuanto a los escurrimientos, la devastación causada por el desbordamiento de ríos y cuencas durante el paso del huracán se intensificó debido a la topografía y ubicación específica de la zona urbana de Acapulco. En este sentido, el área urbana ocupa zonas inundables y con pendientes pronunciadas, un área que en el pasado contaba con vegetación endémica que actuaba como barrera natural para absorber el agua de lluvia durante las tormentas. Las áreas urbanas, que tienen el suelo impermeabilizado con asfalto y concreto no tienen esa capacidad, por lo que los escurrimientos —que comenzaron su camino en la cumbre de la montaña que está a 850 metros sobre el nivel del mar (msnm) y a 2.5 km de las colonias situadas en las laderas— adquirieron mayor volumen de agua conforme bajaban por la ciudad (véase Figura 12).



FIGURA 12.

Superficie de Acapulco inundada por oleaje, debido al huracán Otis

Fuente: Elaboración propia con base en el Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Acapulco de Juárez, Guerrero <https://acapulco.gob.mx/transparencia/plan-municipal-de-desarrollo/>. Vectorización en Dra WinG, utilizando Google Earth Pro.

Las colonias ubicadas en laderas como Jardín, La Nueva Era, Silvestre Castro, Rancho Los Órganos de Juan R. Escudero, Plan de Ayala, Palma Sola, Palma Sola Fovisste, Cerro del Venado, Revolución Sur, Panorámica, Buenavista, Solidaridad, Ampliación Alta Laja, Providencia, Vista Hermosa, 24 de octubre y Lomas Verdes entre otras, fueron las primeras en recibir los escurrimientos y deslaves provenientes de la parte alta de la montaña, debido a lo cual, muchos hogares fueron prácticamente destruidos o quedaron sepultados bajo el lodo y las rocas (véase Figura 13). Los escurrimientos también provocaron socavamientos, lo cual pone en riesgo de colapso a diferentes construcciones. Más peligrosa aún es la constante actividad sísmica de la zona, lo que puede ocasionar un nuevo desastre si no se soluciona la estructuración de las viviendas y edificaciones con socavamientos considerables y se plantean nuevas normativas de construcción.

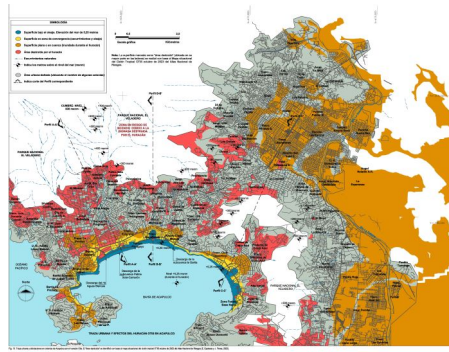


FIGURA 13.

Traza urbana y afectaciones en colonias de Acapulco por el huracán Otis

Nota: El área afectada se identificó con base en el mapa situacional del ciclón tropical Otis (octubre de 2023) del Atlas Nacional de Riesgos.

Fuente: Elaboración propia con base en el Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Acapulco de Juárez, Guerrero 2020 <https://acapulco.gob.mx/transparencia/plan-municipal-de-desarrollo/>. Vectorización en DraWinG.

Desde las partes altas, el agua arrastró lodo, coches, postes y todo elemento urbano, afectando la zona que se ubica en medio del Parque Nacional El Veladero y el resto del suelo urbano de Acapulco. Las colonias de las partes altas, como primera línea ante los escurrimientos, son especialmente vulnerables ante futuros huracanes e incendios forestales en las montañas, donde la biomasa fue devastada por Otis. A pesar de ello, lo mencionado anteriormente no abarca todos los efectos que impactaron a la ciudad. La topografía y el oleaje del huracán, que alcanzó 5.25 m, resultaron en una inundación de aproximadamente 3500 ha.

En la bahía de Acapulco, desde la Rotonda de los Hombres y Mujeres Ilustres hasta la base naval, el mar se adentró más de 200 m. En el poniente, la franja costera de la colonia Pie de la Cuesta quedó totalmente sumergida, al igual que la zona oriental, desde Puerto Marqués hasta el Aeropuerto Internacional (véase Figura 14). En el oriente y poniente de la ciudad, el agua salada del océano y los residuos de los escurrimientos se mezclaron con las lagunas de Coyuca, Tres Palos y Puerto Marqués, generando impactos significativos en la pesca y en los ecosistemas lagunares.

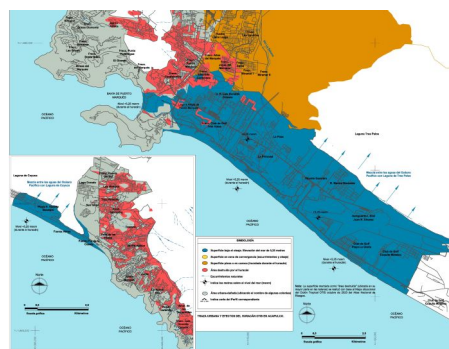


FIGURA 14.

Traza urbana y afectaciones en colonias de Acapulco por el huracán Otis, zona oriente y poniente

Nota: El área afectada se identificó con base en el mapa situacional del ciclón tropical Otis (octubre de 2023) del Atlas Nacional de Riesgos.

Fuente: Elaboración propia con base en el Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Acapulco de Juárez, Guerrero <https://acapulco.gob.mx/transparencia/plan-municipal-de-desarrollo/>. Vectorización en DraWinG.

El oleaje no solo inundó la ciudad, sino que actuó como barrera para los escurrimientos de montañas y laderas urbanas. Formó un área de convergencia en las colonias frente a la bahía de Acapulco, donde los escurrimientos y el oleaje se unieron, creando una mayor superficie de inundación. Al buscar salida, esta se distribuyó por la cuenca y las zonas medianamente planas de la ciudad (véase Figuras 13 y 15).

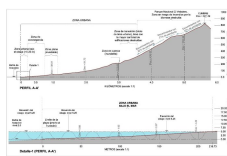


FIGURA 15.

Condiciones de la topografía que propiciaron inundación, por oleaje y escurrimientos en Acapulco

Fuente: Elaboración propia. Vectorización de la topografía en DraWinG y con datos de Google Earth Pro.

En la zona nororiente de la ciudad, los escurrimientos afectaron alrededor de 7000 ha inundando colonias como 15 de septiembre, J. López Portillo, Emiliano Zapata y otras, así como áreas de cultivo al oriente del río La Sabana (véase Figuras 13, 16 y 17).

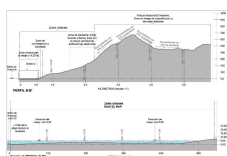


FIGURA 16.

Zona de convergencia de escurrimientos en Acapulco

Fuente: Elaboración propia. Vectorización de la topografía en DraWinG y con datos de Google Earth Pro.

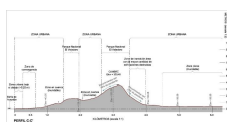


FIGURA 17.

Condición topográfica que favorece los escurrimientos y generación de cuencas, en Acapulco

Fuente: Elaboración propia. Vectorización de la topografía en DraWinG y con datos de Google Earth Pro.

La inundación resultó en el reblandecimiento de las superficies, facilitando que el viento derribara árboles y mobiliario urbano, incluyendo alrededor de 12 000 postes. Esto provocó el colapso del suministro de energía eléctrica y de comunicaciones. Por otra parte, el deslizamiento de tierra en diferentes partes de la ciudad afectó calles y carreteras.

Con ráfagas de viento de 329 km/h, los espectaculares también fueron derribados y prácticamente todas las cubiertas ligeras —de lámina, teja, palma, etcétera—, así como fachadas de tabla-cemento (Durock), aluminio (tipo alucobond) y tablaroca fueron arrancadas. En los hoteles, los efectos del viento no se limitaron a las fachadas; los cristales templados fueron vulnerables a la fuerza del viento y a objetos proyectados. Esta vulnerabilidad fue más pronunciada en ventanas y vanos con cristales comunes, en casas y departamentos. La consideración de todos estos efectos es crucial para establecer una nueva y necesaria reglamentación en las ciudades costeras de México. La reconstrucción de Acapulco, ya que afectó a todos los sectores y clases sociales, demanda una atención particular a estos aspectos.

CONCLUSIONES

La alteración de todos los ámbitos en el planeta por parte del ser humano ha provocado una variabilidad climática que está transformando a las ciudades alrededor del mundo. Las ciudades costeras como Acapulco son las primeras en afrontar los efectos de esta perturbación, algo que además se suma al cambio de uso de suelo en las zonas costeras (extensión de la ciudad sobre vegetación). Dicha alteración es fehaciente en la intensificación de los huracanes y sus efectos sobre las ciudades. Con huracanes como Otis, todos sus efectos deben ser tomados en cuenta para adaptar las ciudades (y su población) a la realidad climática del siglo XXI.

En general, los componentes que deben ser considerados en estudios urbanos que tengan como finalidad analizar efectos de la variabilidad climática en áreas urbanas costeras, son los siguientes: clima (temperatura de la superficie y profundidad del mar); relieve del territorio (topografía, incluyendo niveles batimétricos); forma del crecimiento urbano; usos del suelo en zonas urbanas, periurbanas y rurales; densidad y tipología de edificación; y tipo y formas de descargas urbanas.

Es decir, es imprescindible enfatizar el monitoreo de la temperatura no solo en la superficie del océano, sino en las profundidades. Condición de suma importancia para pronosticar oportunamente la formación de los huracanes y su trayectoria hacia el territorio. Lo anterior debido a que no solo la superficie del océano está presentando olas de calor, sino también las capas profundas (Amaya *et. al.*, 2023), lo cual parece tener una relación directa con la intensidad de los fenómenos climáticos, al aumentar la humedad y la temperatura.

Una parte fundamental para la adaptación a la variabilidad climática son los factores morfológicos de la ciudad adheridos a la dinámica urbana. Está por demás decir, que en la planificación del crecimiento urbano de las ciudades costeras debe regresar la referencia de las condiciones del sitio, así como el respeto de los elementos naturales como vegetación endémica, cauces de ríos y zonas de escurrimiento, que como se ha mencionado tienen un papel fundamental en la conservación de la biomasa, humedad y control de vientos. La propia topografía debe marcar la pauta para identificar las zonas aptas para el desarrollo urbano, así como para desarrollar proyectos de prevención, como la reubicación de áreas construidas, la creación de zonas de transición (no urbana y destinada a recibir el exceso de agua) y el desvío de los escurrimientos naturales.

En las zonas costeras, debe reflexionarse, profundamente, sobre una nueva reglamentación de construcción, así como estrategias para la mitigación de riesgos, en donde se tome en consideración la geografía de las ciudades. En el caso de Acapulco de Juárez, además de prever estructuras resistentes a rachas de viento de 329 km/h, las edificaciones deberán atender una correcta orientación y diseño por viento. Una nueva reglamentación deberá incluir la solución a los socavamientos por escurrimiento (principalmente en las zonas altas), que evitarán el colapso y volteo de las edificaciones, ya que actualmente el riesgo de colapso se puede maximizar con los sismos constantes de la zona.

De la misma manera, y también debido a la propia topografía, en toda la zona urbana de Acapulco es imprescindible considerar un sistema de drenaje y aguas pluviales (así como plantas de tratamiento) que respondan de manera efectiva al exceso de agua durante los ciclones, para con ello evitar las inundaciones, ya que, como ocurrió durante el paso de Otis, el agua se fue acumulando desde una altura de 850 msnm con pendientes de poco más del 40 %, agua que no desembocó al mar debido al oleaje del huracán, y que al distribuirse por la ciudad provocó severas inundaciones. Además, debido al oleaje de 5.25 m ocasionado por el huracán, así como por el inevitable aumento del nivel del mar, la franja costera, paralela a la costera Miguel Alemán, debe considerar una barrera de protección contra el aumento del nivel del mar, lo anterior siempre y cuando se solucione el factor de los escurrimientos.

REFERENCIAS

- Amaya, D. J., Jacox, M. G., Alexander, M. A., Scott, J. D., Deser, C., Capotondi, A., y Phillips, A. S. (2023). Bottom marine heatwaves along the continental shelves of North America. *Nature Communications*, 14(1038). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36567-0>
- CAF (2015). *Infraestructura para el desarrollo de América Latina*. CAF.
- Cárdenas Gómez, E. P. (2016a). Acapulco, Guerrero a través de los siglos. *Contexto. Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León*, 10(13), 83-95.
- Cárdenas Gómez, E. P. (2016b). Crecimiento y planeación urbana en Acapulco, Cancún y Puerto Vallarta (México). *Investigaciones Turísticas*, (12), 99-120. <https://doi.org/10.14198/INTURI2016.12.05>
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2022). *Informe de pobreza y evaluación 2022. Guerrero*. CONEVAL.

- Copernicus-ECMWF (2023, 6 de julio). *Record-breaking North Atlantic Ocean temperatures contribute to extreme marine heatwaves*. <https://climate.copernicus.eu/record-breaking-north-atlantic-ocean-temperatures-contribute-extreme-marine-heatwaves>.
- Davis, B. W., y Jones, J. (2023, 2 de diciembre). 2023 Hurricane Season Ends, Marked by Storms That 'Really Rapidly Intensified'. *New York Times*. <https://www.nytimes.com/interactive/2023/12/02/us/hurricane-season-2023-rapid-intensification.html?searchResultPosition=5>
- Declaratoria de Desastre Natural. (2023, 2 de noviembre). Declaratoria de Desastre Natural por la ocurrencia de lluvia severa, vientos fuertes, inundación fluvial y pluvial el 24 y 25 de octubre de 2023 en 47 municipios del Estado de Guerrero. *Diario Oficial de la Federación*.
- Domínguez, E., y Juárez, C. (2023, 27 de octubre). Otis, el huracán que es un desafío para la ciencia. *Ciencia UNAM*. <https://ciencia.unam.mx/leer/1458/otis-el-huracan-que-es-un-desafio-para-la-ciencia>
- Espinosa Dorantes, E. (2019, noviembre). San Diego. La defensa del puerto de Acapulco. *PORTUS: the online magazine of RETE*, XIX(38). <https://portusonline.org/san-diego-la-defensa-del-puerto-de-acapulco/>
- Espinosa Dorantes, E., y Aguilera Martínez, F. A. (2022). El límite y el borde en la ciudad contemporánea. En E. Espinosa Dorantes, C. Göbel y S. González Arellano (coords.), *La interdisciplina en el estudio de la forma urbana. Análisis y diagnósticos de la forma urbana* (pp. 27-39). Universidad Autónoma Metropolitana.
- Gabriel Morales, J., y Pérez Damián, J. L. (2006). Crecimiento poblacional e instrumentos para la regulación ambiental de los asentamientos humanos en los municipios costeros de México. *Gaceta ecológica*, (79), 53-77.
- Gay y García, C., y Rueda Abad, J. C. (coords.) (2015). *Reporte mexicano de cambio climático. Grupo II. Impactos, vulnerabilidad y Adaptación*. UNAM-PICC.
- Gómez Ramos, O. (2023, 6 de noviembre); Rescata el Servicio Mareográfico Nacional de la UNAM valiosos datos del interior del huracán Otis. *Gaceta UNAM*, (5428), 12-13.
- Global Coral Reef Monitoring Network. (2021). *Estado de los arrecifes de coral del mundo: 2020*. GCRMN. germn.net/2020-report
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (2013). *Cambio climático 2013. Bases físicas. Resumen para responsables de políticas, resumen técnico y preguntas frecuentes* (Contribución del grupo de trabajo I al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático).
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (2019). SPM. Summary for Policymakers. En *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* (pp. 13-35). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157964.001>
- Guerrero Legarreta, M. (2015). *El agua*. FCE/SEP/CONACYT.
- Hernández Cerda, M. E. (coord.) (2001). *Los ciclones tropicales de México*. Instituto de Geografía UNAM/Plaza y Valdés.
- Huamán Herrera, E. A., y Espinosa Dorantes, E. (coords.) (2016). *Análisis y métodos urbano-arquitectónicos*. UAM-Azcapotzalco.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (1998). *Cuaderno Estadístico Municipal. Acapulco de Juárez; México*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2000). *XII Censo de Población y Vivienda; México*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010). *Censo Población y Vivienda 2010; México*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2020). *Censo Población y Vivienda 2020; México*.
- Jones, Judson (2023, 25 de octubre). Why Hurricane Otis caught many by surprise. *New York Times*. <https://www.nytimes.com/2023/10/25/world/americas/hurricane-otis-mexico-intensity-surprise.html>
- Kanno-Youngs, Z., y Rodríguez Mega, E. (2023, 25 de noviembre). Cockroaches and Mountains of Trash Plague Acapulco After Hurricane. *New York Times*. <https://www.nytimes.com/2023/11/25/world/americas/mexico-acapulco-health-crisis-hurricane-otis.html?searchResultPosition=1>

- Kossin, J. P., Knapp, K. R., Olander, T. L., y Velden, C. S. (2020). Global increase in major tropical cyclone exceedance probability over the past four decades. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(22), 11975–11980 (2020). <https://doi.org/10.1073/pnas.1920849117>
- Li, Y., Tang, Y., Wang, S., Toumi R., Song, X., y Wang, Q. (2023). Recent increases in tropical cyclone rapid intensification events in global offshore regions. *Nature Communications*, 14(5167). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-40605-2>
- Morales, J. (2023, 27 de octubre). Otis teaches a terrifying lesson in rapid hurricane intensification. *Bulletin of the Atomic Scientists*. <https://thebulletin.org/2023/10/otis-teaches-a-terrifying-lesson-in-rapid-hurricane-intensification/#post-heading>
- NASA (2023a, 1 de junio). El Niño Returns. *NASA Earth Observatory*. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/151481/el-nino-returns>
- NASA (2023b, 7 de noviembre). Acapulco después del huracán Otis. *NASA*. <https://ciencia.nasa.gov/ciencias-terrestres/acapulco-despues-del-huracan-otis/>
- Padilla y Sotelo, L. S., Juárez Gutiérrez, M. del C., Propín Frejomil, E., y Galindo Pérez, C. (2009). *Población y economía en el territorio costero de México*. UNAM.
- Pérez-Campuzano, E., y Santos-Cerquera, C. (2016). Entre la pesca y el turismo: cambios económicos y demográficos recientes en la costa mexicana. *Cuadernos Geográficos*, 55(1), 283-308. <https://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/3066>
- Ramírez-Calderón, S., Ávila-Caballero, L. P., González-González, J., Rosas-Acevedo, J. L., Reyes-Umaña, M., y Hernández Cocoltzi, H. (2021). Caracterización fisicoquímica y microbiológica para el aprovechamiento de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales de Acapulco, Guerrero, México. *Alianzas y tendencias BUAP*, 6(23), 20-36. <http://doi.org/10.5281/zenodo.5173223>
- Saavedra, D. (2023, 28 de agosto). Muerte masiva de corales en arrecifes mexicanos. *Gaceta UNAM*. <https://www.gaceta.unam.mx/muerte-masiva-de-corales-en-arrecifes-mexicanos/>.
- Sassen, S. (2009). La ciudad global: introducción a un concepto. En *Las múltiples caras de la globalización* (pp. 50-62). BBVA.
- Sassen, S. (2011). *Ciudad y globalización* (vol. VII). OLACCHI-MDMQ.
- Secretaría de Bienestar. (2023, 23 de noviembre). *Anuncia la secretaria de Bienestar, Ariadna Montiel entrega de apoyos a afectados por huracán Otis* (Comunicado 143). <https://www.gob.mx/bienestar/prensa/anuncia-la-secretaria-de-bienestar-ariadna-montiel-entrega-de-apoyos-a-afectados-por-huracan-otis?idiom=es>
- Sengupta, K. (2023, 1 de noviembre). ‘Otis’ destruyó 51 mil viviendas por completo y dejó 80 mil con daños graves. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/noticia/2023/11/01/mundo/2018otis2019-destruyo-51-mil-viviendas-por-completo-y-dejo-80-mil-con-danos-graves-3437>
- Servicio Meteorológico Nacional (2023, 24 de octubre). *Esta noche Otis se intensificó a huracán categoría 5 frente a las costas de Guerrero* (comunicado). <https://www.gob.mx/smn/prensa/esta-noche-otis-se-intensifico-a-huracan-categoria-5-frente-a-las-costas-de-guerrero-349711>.
- Urban Climate Change Research Network. (2018, febrero). The future we don't want: How climate change impact the world's greatest cities (reporte de investigación). *UCCRN*.
- Von Humboldt, A. (2014). *Ensayo político sobre el reino de la Nueva España*. Porrúa.
- Yin, J., Yang, Y., Yu, D. et al. (2024) Strategic storm flood evacuation planning for large coastal cities enables more effective transfer of elderly populations. *Nature Water*, 2, 274-284. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1038/s44221-024-00210-z>

NOTAS

- ³ El viaje hacia Oriente se inició en el puerto de Navidad, en México, el 21 de noviembre de 1564 y se concluyó en el puerto de Cebú, en Filipinas, el 27 de abril de 1565. El regreso al puerto de Acapulco se dio el 1 de octubre de 1565.

- 4 Las tormentas o ciclones tropicales son los únicos fenómenos a los que se les asigna un nombre propio. Posiblemente la palabra huracán proviene del maya "hunraken" (dios de las tormentas) o de la lengua de los antiguos taínos, quienes nombraban "urican" a los vientos fuertes. En Australia, por otro lado, se les nombra willy-willies y en Asia tifones. Curiosamente, Acapulco (del náhuatl) significa lugar donde los carrizos fueron destruidos.
- 5 El Fuerte de San Diego es la obra militar más completa del periodo novohispano, la muestra más significativa de arquitectura militar en México y el único ejemplo de plaza que responde a normas constructivas aplicadas a la defensa de lugares relativamente aislados y de mediana jerarquía estratégica, pero de gran importancia comercial. Su ubicación en el puerto de Acapulco se realizó aprovechando las elevaciones y los elementos topográficos favorables para dominar la extensión marítima y territorial de la bahía.
- 6 El VIII Censo General de Población y Vivienda 1960, documenta que, del total de la población censada para el municipio de Acapulco de Juárez en 1960 (84 720 habitantes), el 14 % tenía como lugar de nacimiento otra entidad de la república (11 801).
- 7 El Antropoceno es una propuesta de época geológica planteada por la comunidad científica debido al significativo impacto global que las actividades humanas han tenido sobre los ecosistemas terrestres.
- 8 Versión 7.3.6. (Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO; Image Landstat/Copernicus; Data LDEO-Columbia, NSF, NOAA).
- 9 El reporte "Estado de los arrecifes de coral del mundo: 2020" (GCRMN, 2021), identifica las costas de estos estados dentro de la región del Pacífico Tropical Oriental, indicando que el blanqueamiento del coral en esta zona es de aproximadamente el 50 %, con una tendencia alta de incremento.
- 10 Municipios con salida al mar y municipios inmediatamente colindantes tierra adentro.
- 11 El índice de marginación es una herramienta para evaluar y comprender las disparidades socioeconómicas en diferentes áreas geográficas. En México, los principales indicadores socioeconómicos utilizados para construir los índices incluyen datos sobre educación, vivienda e ingresos.
- 12 Fenómeno de origen climático relacionado con el calentamiento del océano Pacífico oriental ecuatorial, destacando efectos como aumento de las temperaturas globales, sequías o fuertes lluvias en algunas regiones, pérdida de bosques tropicales, condiciones favorables para la formación de incendios forestales, deshielo acelerado de los casquetes polares y blanqueamiento y mortandad en los corales.
- 13 En 2023, el huracán Hilary atravesó la península de Baja California hasta llegar al Valle de la Muerte (California) en Estados Unidos, provocando encharcamientos en el desierto. Durante 24 horas, la lluvia del huracán fue equivalente a lo que comúnmente llueve a lo largo de un año.
- 14 La troposfera es la capa de la atmósfera terrestre que está en contacto con la tierra, en este caso se refiere a la capa de vientos alisios o continentales que corren a una altura de entre 8 y 12 km/h.
- 15 Las coordenadas UTM son comúnmente utilizadas en la cartografía tipo Google Maps, es decir en la proyección plana de la Tierra basada en Mercator. La conversión de las coordenadas UTM mencionadas a coordenadas geográficas es latitud 16° 4' 9.25" y longitud 99° 42' 22.57".
- 16 La batimetría es el equivalente submarino de la altimetría, es el estudio de las profundidades marinas, de la tercera dimensión de los fondos lacustres o marinos.
- 17 Capa donde la temperatura del océano desciende de manera drástica.
- 18 Este choque o cambios en la batimetría y su relación con la transformación de Otis a categoría cinco puede ser coincidencia, siendo los expertos del clima quienes tienen la última palabra. Aquí se analiza únicamente la morfología de la profundidad del océano y las características generales de las variables que hicieron posible la intensificación del huracán.

ENLACE ALTERNATIVO

<https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/decumanus/article/view/6240> (html)