



## **Modelo de vulnerabilidad urbana en la ciudad de Ensenada, B.C.**

Pedraza-Díaz, Angélica <sup>a</sup>, Juan Manuel Rodríguez Esteves <sup>b</sup>

<sup>a</sup> El Colegio de la Frontera Norte, Tijuana, Baja California, Maestría en Administración Integral del Ambiente, [angelica.pedraza.diaz@gmail.com](mailto:angelica.pedraza.diaz@gmail.com)

<sup>b</sup> El Colegio de la Frontera Norte, Tijuana, Baja California, Departamento de Estudios Urbanos y del Medio Ambiente, [jesteves@colef.mx](mailto:jesteves@colef.mx)

### **RESUMEN**

Los centros urbanos son el hogar de una gran proporción de la población mundial, de diversas actividades económicas y de algunas infraestructuras físicas que actualmente se encuentran en riesgo de inundaciones, olas de calor, sequías y otros riesgos que pueden impactar los sistemas urbanos, por lo que es necesario realizar análisis de vulnerabilidad. Sin embargo, a pesar del creciente número de estudios que existen sobre la vulnerabilidad, ha habido poca investigación que se centra específicamente en la conceptualización de la vulnerabilidad urbana ante riesgos. El objetivo del trabajo fue determinar y analizar indicadores asociados a la vulnerabilidad urbana ante lluvias intensas para conocer la conformación de este tipo de vulnerabilidad en la ciudad de Ensenada, B.C.; las dimensiones que se tomaron en cuenta para el análisis son: económicas, demográficas, físicas y ambientales de la ciudad. De manera que, con el fin de obtener información sobre estas dimensiones y sobre la unidad de interés se obtuvo información de diferentes fuentes documentales, tales como Censos de Población y Vivienda realizados por INEGI, datos de diversas estaciones meteorológicas del municipio de Ensenada, planes y programas sobre riesgos, entre otras. Los principales resultados obtenidos con el modelo numérico de vulnerabilidad nos muestra que la población de Ensenada presenta una combinación de factores que pueden determinar el grado en el cual son capaces de hacer frente y recuperarse ante las inundaciones. Los resultados encontrados se aplicaron a un sistema de información geográfica (SIG); con el SIG obtenido se pudo hacer una comparación de las dimensiones analizadas y se llegó a concluir que la ciudad de Ensenada, B.C. presenta un bajo grado de vulnerabilidad urbana, siendo las características sociales aquellas que definen y definirán el grado de vulnerabilidad urbana ante lluvias y no así las características biofísicas.

### **1. INTRODUCCIÓN**

Las poblaciones humanas y sus desarrollos a menudo se encuentran en zonas que están expuestas a diferentes tipos de riesgos, lo que contribuye a que su vulnerabilidad incremente. En este sentido, los centros urbanos son el hogar de una gran proporción de la población mundial, de diversas actividades económicas y de algunas infraestructuras físicas que actualmente se encuentran en riesgo de inundaciones, olas de calor, sequías y otros riesgos que pueden impactar los sistemas urbanos. Sin embargo, a pesar del creciente número de estudios que existen sobre la vulnerabilidad, ha habido poca investigación que se centra específicamente en la conceptualización de la vulnerabilidad urbana ante riesgos (Romero-Lankao y Qin, 2011: 142).

El área de estudio que se selecciono fue la ciudad de Ensenada, B.C., ya que de la misma manera que la mayoría de los municipios y ciudades costeras que han sido urbanizadas alrededor del mundo, esta ciudad presenta una ocupación litoral no planificada; el centro de población es una zona urbana sujeta a diversos riesgos, y se encuentra asentada en un espacio donde se manifiestan fenómenos y procesos potencialmente peligrosos. La mayor parte de la mancha



urbana se extiende sobre planicies pluviales y se encuentran urbanizadas zonas que presentan intensa erosión costera, con ocurrencia de deslizamientos de tierra y cercanas a fallas geológicas.

Es importante este tipo de análisis en zonas como Ensenada, ya que su población aumenta año tras año, y por lo tanto el riesgo a desastre también aumenta. La ciudad presentó una población de aproximadamente 260,000 habitantes en el año 2009, y se espera que se presente una tasa de crecimiento poblacional anual del 2 por ciento para los siguientes 20 años, estimando un escenario tendencial de 363,260 habitantes para el 2015 y 470,227 habitantes para el 2030 (Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Ensenada a 2030, PDUCE-2030, 2010: 47).

Es por lo anterior que se planteó la siguiente pregunta de investigación ¿qué factores físicos, sociales, demográficos y económicos intervienen en la conformación de la vulnerabilidad urbana ante lluvias intensas en la ciudad de Ensenada, B.C., y así se parte de la siguiente hipótesis “La vulnerabilidad y resiliencia urbana están construidas socialmente por el tipo y la ubicación de los asentamientos humanos en la ciudad de Ensenada, B.C. o la ausencia de ellas”; por lo tanto el objetivo de este trabajo es presentar la evaluación de vulnerabilidad urbana que se realizó para la ciudad de Ensenada, B.C. tomando en cuenta la exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, ya que tales características en conjunto determinan el nivel de vulnerabilidad que existe ante los impactos negativos de los fenómenos naturales (Turner *et al.*, 2003; Wongbusarakum *et al.*, 2011:8), en este caso el fenómeno estudiado fueron las lluvias intensas.

Con los resultados obtenidos se realizó un índice de vulnerabilidad urbana (IVU), el cual nos muestran la conformación actual en la ciudad de Ensenada, B.C. a nivel de un Área Geoestadística Básica (AGEB); el IVU se compone de tres índices, el Índice de Vulnerabilidad Biofísica (IVBF), el Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) y el Índice de Capacidad Adaptativa (ICA), los cuales representan la exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa respectivamente.

## 2. MARCO TEÓRICO

Romero-Lankao y Qin (2011: 143), resaltan que los estudios sobre la vulnerabilidad urbana tienden a presentarla en términos negativos, como la posibilidad de ser dañado, es decir, como el grado en que un sistema (por ejemplo, ciudad, población, infraestructura y sector económico) es susceptible y no puede hacer frente a los efectos adversos de una sola o de varias situaciones de peligro o estrés (por ejemplo, la inestabilidad política, eventos hidrometeorológicos, riesgos geológicos, etc.).

El concepto de vulnerabilidad urbana capta una realidad compleja y dinámica, ya que además de referirse a la posibilidad de que un sistema se ve afectado negativamente por algo (un peligro o estrés), también es una propiedad relativa tanto de la sensibilidad y la capacidad de hacer frente al factor de estrés (Figura 1).

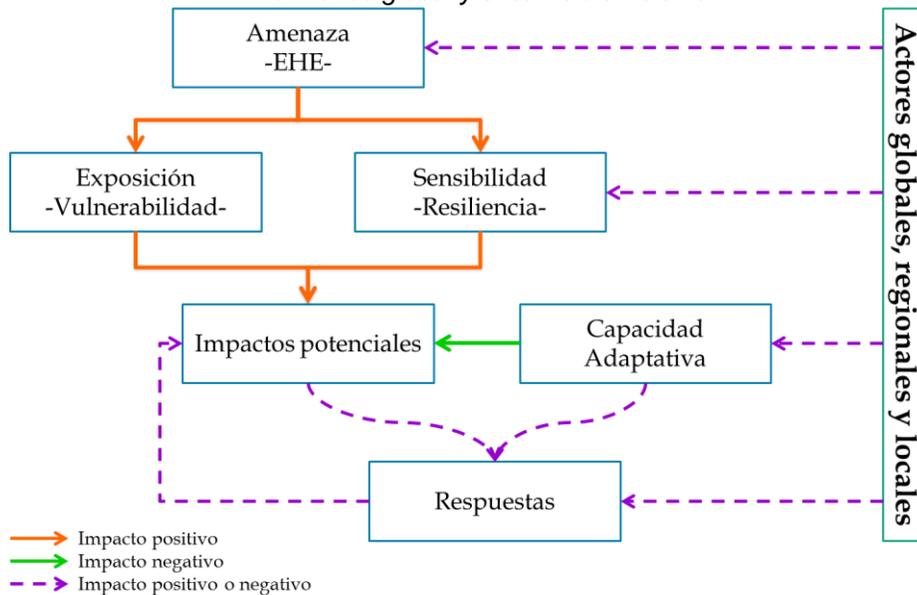
Estos mismos autores, Romero-Lankao y Qin (2011: 143) mencionan que la vulnerabilidad urbana no puede ser definida por el peligro por sí solo, ni puede ser representado estrictamente por las propiedades internas del sistema que se está subrayando, sino que debe ser visto como una interacción de estos factores y debe de incluir varias dimensiones, como los impactos, la exposición, la sensibilidad, capacidad de adaptación, y las respuestas reales.

Basado en lo anterior y en la definición general del término vulnerabilidad, para fines de esta investigación la vulnerabilidad urbana se concibe como una componente de base social que se define como el grado en que un sistema urbano es propenso a experimentar daños debido a la exposición a un peligro, es un concepto multidimensional que incluye el grado en el que el sistema natural o alguno de sus componentes es susceptible a amenazas significativas que influyen sobre él, y que es incapaz de resistir o recuperarse del daño asociado con la convergencia de los peligros presentes (Turner *et al.*, 2003: 572; Adger, 2006).

Del mismo modo, la vulnerabilidad urbana al cambio climático es el resultado determinado por la exposición a los riesgos climáticos, la sensibilidad de las infraestructuras urbanas, poblaciones o actividades, y el resultado o impacto potencial.



**Figura 1**  
Marco conceptual de la vulnerabilidad urbana al cambio climático global y el cambio ambiental



Fuente: Propia, modificado de Ionescu et al., (2009) y Romero-Lankao y Qin (2011: 143).

### 3. PARTE EXPERIMENTAL

La evaluación de vulnerabilidad urbana que se realizó comprende un modelo numérico basado en un conjunto de índices, de un diagnóstico técnico para conocer la conformación de vulnerabilidad urbana de la ciudad de Ensenada, B.C.; este modelo se basó en lo propuesto por Frazier et al., (2014), Magaña (2013). Y Cutter et al., (2003).

Se realizó un modelo de exposición ante los impactos negativos de las lluvias intensas, como los son las inundaciones, de la sensibilidad de los habitantes tomando en cuenta su sistema económico, demográfico y la infraestructura de las viviendas, y finalmente se realizó un análisis de la capacidad adaptativa usando al igual que para la sensibilidad datos sobre el sistema económico, demográfico y la infraestructura de las viviendas de la población en general.

En este análisis se tomó a la capacidad adaptativa como un sinónimo de la resiliencia, ya que es necesario integrar un índice que indique la capacidad de una comunidad para hacer frente a los impactos de los fenómenos naturales para conocer la conformación real de la vulnerabilidad urbana de la ciudad.

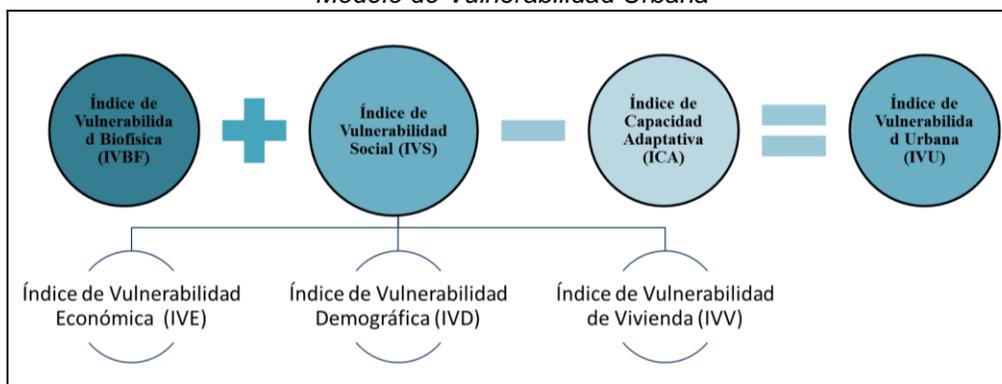
Como se observa en la Figura 2, el modelo se compone de tres índices: 1) Índice de Vulnerabilidad Biofísica (IVBF); 2) Índice de Vulnerabilidad Social (IVS, el cual a su vez se compone de tres subíndices) y; 3) Índice de Capacidad Adaptativa (ICA).

Para el diseño del Índice de Vulnerabilidad Urbana (IVU), la recolección de datos primarios se basó en los niveles de agregación de información que indica la pirámide de la información o pirámide SCOPE, así, se colectaron datos económicos, demográficos y de infraestructura de la vivienda del Censo de Población y Vivienda de 2010 realizado en México por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Se utilizó esta base de datos, ya que en ella se presentaron la mayoría de las variables e indicadores elegidas para el análisis, también porque es una base de información de fácil acceso.



En cuanto a los datos de las variables de la dimensión biofísica, estos se colectaron de diversas fuentes de información, principalmente de mapas de uso de suelo y mapas hidrológicos y, de las estaciones meteorológicas de la ciudad de Ensenada, B.C., de ellas se tomaron datos de temperatura y lluvias de dos estaciones, el Ciprés y Presa Emilio López Zamora; también se utilizaron datos de temperatura máxima y precipitación del Sistema Meteorológico Nacional.

**Figura 2**  
*Modelo de Vulnerabilidad Urbana*



Fuente: Elaboración propia.

En este sentido, cada indicador e índice de vulnerabilidad se calculó para cada una de las unidades cartográficas, que en este caso son las AGEBs urbanas, teniendo como resultado 190 datos para cada indicador e índice. Estos datos se estandarizaron con el objetivo de poder comparar valores con unidades diferentes, como resultado de esta normalización se generaron categorías o clases. La técnica empleada para la normalización fue el método estadístico no paramétrico modificado de Nijkamp y Rietveld (1990). Este índice presenta una ponderación por cada clasificación de vulnerabilidad en una escala que varía del 0 al 1, en donde el cero representa una vulnerabilidad muy baja mientras que el uno simboliza una vulnerabilidad muy alta.

El modelo de vulnerabilidad urbana se implementó en un Sistema de Información Geográfica (SIG), utilizando la información base que se copilo para exponer el comportamiento del modelo en la zona urbana de la ciudad de Ensenada, B.C.; el software utilizado fue ArcGis 10.2.

#### 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Como se observa en la Tabla 1, la conformación de la vulnerabilidad biofísica en la ciudad de Ensenada, B.C. cae dentro de la clase muy baja, se tienen 186 AGEBs que caen en esta clasificación, mientras que dentro de la clasificación de baja solo se tiene 3 y solo una con un grado alto de vulnerabilidad biofísica.

En la misma Tabla 1, se ve que de las 190 áreas geoestadísticas base que forman la ciudad de Ensenada, B.C solo 3 de ellas presentan una vulnerabilidad social muy baja, se cree que el IVS es muy bajo en esta zona ya que los valores de los indicadores de vivienda y los referentes a población son bajos, lo que ocasiona que la vulnerabilidad social se reduzca. En cuanto a las zonas que tienen un grado bajo de vulnerabilidad social (38 AGEBs) se observa que se presentan en los límites de la ciudad siendo las zonas menos pobladas y con mayor escases de recursos.

Las áreas que presentan vulnerabilidad media (138 AGEBs) se localizan homogéneamente en los tres sectores que forman la mancha urbana de la ciudad de Ensenada, el sector Centro, Noreste y Chapultepec. Estas áreas representan las zonas donde se realizan las principales actividades de la ciudad y prácticamente toda la zona en donde se encuentra asentada la mayor



parte de la población. Finalmente, la vulnerabilidad alta y muy alta se encuentran representadas con 9 y 2 AGEBS respectivamente dentro de los tres sectores antes mencionados.

**Tabla 1**  
*Número de AGEBS por rango de clasificación de los índices de vulnerabilidad obtenidos para la ciudad de Ensenada, B.C.*

Clasificación	IVBF	IVS	ICA	IVU
	No. AGEBS	No. AGEBS	No. AGEBS	No. AGEBS
Muy baja	186	3	3	50
Baja	3	38	5	104
Media	0	138	15	31
Alta	0	9	74	2
Muy alta	1	2	93	3

*Fuente:* Elaboración propia con información obtenida de los mapas de vulnerabilidad generados.

En cuanto al ICA, se observa en la Tabla 1 que solo se encontraron 3 AGEBS con valores muy bajos, las áreas con capacidad baja se localizan solo en 5 AGEBS. Con un grado medio de capacidad adaptativa se presentan 15 AGEBS, las cuales se ubican en los límites de la ciudad dentro de las 3 secciones que la forman. Los grados mayores de capacidad adaptativa, 74 AGEBS con alta y 93 con muy alta, son los de mayor presencia en la ciudad, siendo los AGEBS con un ICA muy alto los que se encuentran en la sección Centro y Noreste principalmente y la capacidad adaptativa con valores altos se identifican principalmente en la zona Chapultepec.

Teniendo en cuenta la clasificación anterior, la ciudad de Ensenada presenta bajos grados de vulnerabilidad urbana según el modelo de índices e indicadores (Tabla 1 y Figura 3). Estas zonas se presentan en la sección Centro, Chapultepec y Noreste de la ciudad debido a que en ellas existe un desarrollo de actividades económicas mayor que en los límites de la ciudad y también porque presentan más recursos de infraestructura, como pavimentación, luz eléctrica, agua potable, entre otras.

Podemos concluir que el grado de vulnerabilidad depende de los lugares donde se concentra la población y las actividades principales y no así de las características biofísicas de la ciudad, ya que no es un factor significativo la presencia de los cuerpos de agua para que la vulnerabilidad aumente o disminuya y tampoco la proximidad con la línea de costa es una característica que modifique la conformación de vulnerabilidad urbana.

Como se observa en la Figura 3, los valores altos de vulnerabilidad urbana se presentan en los límites de la ciudad por lo que se concluye que el grado de vulnerabilidad urbana depende de los lugares marginales donde existe una escases de recursos de infraestructura y económicos; estas zonas son aquellas que presentan características biofísicas que las hacen propensas a tener mayores impactos ante lluvias intensas, características sociales deficientes, como la calidad de vivienda donde habitan o recursos de infraestructura y recursos económicos escasos; y aunque presentan una capacidad adaptativa buena las características sociales y biofísicas son más significantes para definir la vulnerabilidad urbana.

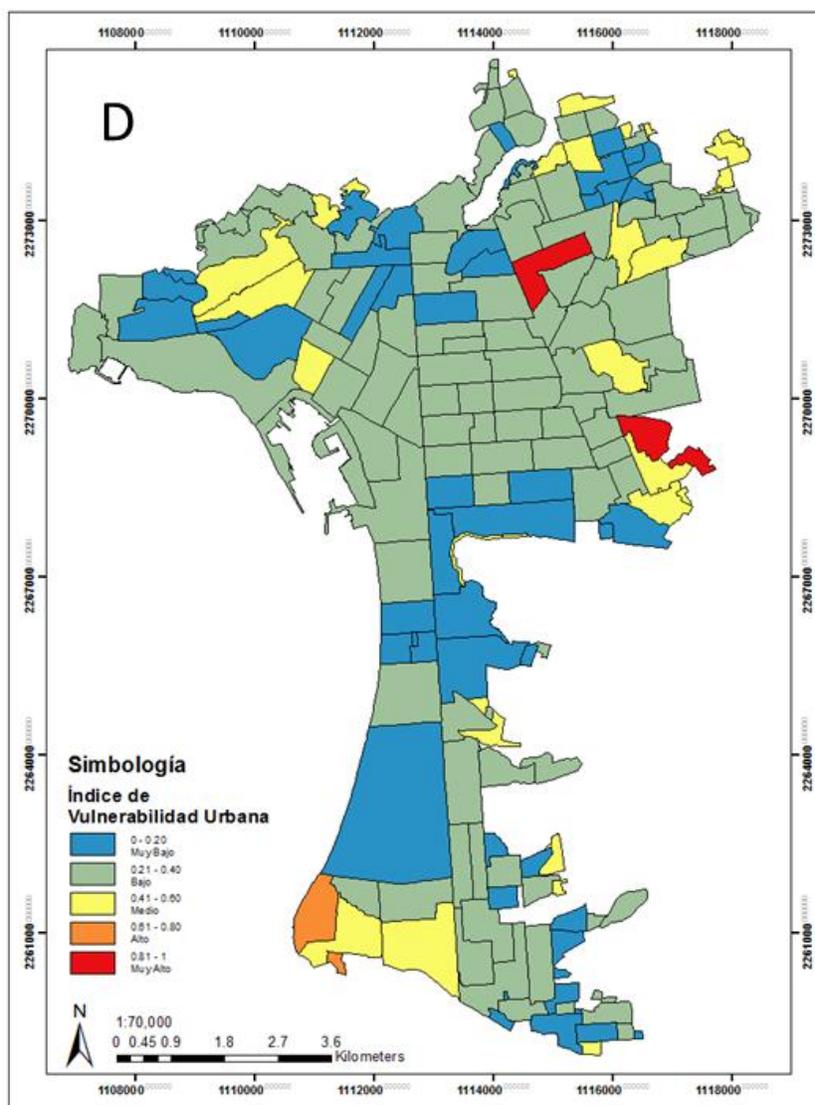
En cambio en las zonas donde la vulnerabilidad urbana es menor, los factores de la capacidad adaptativa son más significantes que las características sociales y biofísicas, y por lo tanto se encuentran mejor preparadas para hacer frente a sucesos provocados por las lluvias intensas.

Como recomendación, es necesario realizar este ejercicio con datos anteriores del Censo del 2010 y tomando en cuenta otras fuentes de información, con el fin de conocer los cambios que se



han realizado en cuanto a vulnerabilidad y capacidad adaptativa, y comparar si son los mismas variables las que aumentan o disminuyen la vulnerabilidad urbana.

**Figura 3**  
*Modelo de vulnerabilidad urbana para la ciudad de Ensenada, B.C.*



*Fuente: Propia, con datos obtenidos de diferentes fuentes*

Del mismo modo, existen varias dimensiones que no son cubiertas por el IVU que son indispensables de tomar en cuenta para la reducción de la vulnerabilidad, se recomienda realizar un análisis de vulnerabilidad y resiliencia a escala AGEB integrando las dimensiones que no se han tomado en cuenta en esta evaluación.



Igualmente, es necesario para el IVU generar un indicador de percepción para así poder cuantificar el conocimiento que tienen las comunidades de las amenazas y sus consecuencias negativas que existen en su entorno.

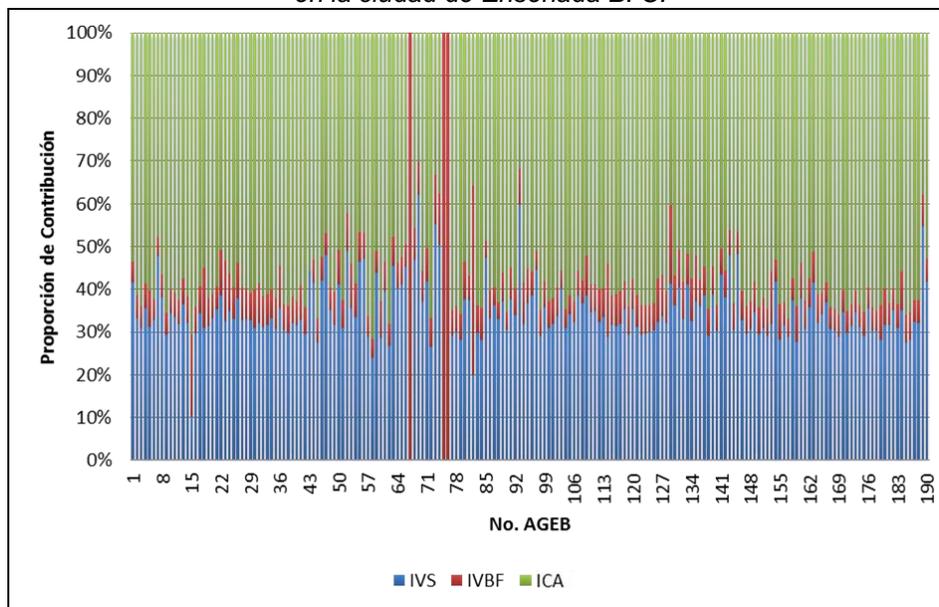
Contribución de cada índice para la construcción del IVU

Podemos observar en la Gráfica 1, que el índice que tuvo la mayor contribución en la construcción del IVU fue el ICA, seguido del IVS y el de menor contribución fueron las características biofísicas.

Basado en esto se puede deducir que los factores biofísicos no son para todos los casos causantes del aumento de vulnerabilidad. En este sentido, en la ciudad de Ensenada B.C. aun cuando exista una predisposición natural del lugar a la ocurrencia de desastre, las características sociales son aquellas que definen y definirán el grado de vulnerabilidad urbana ante lluvias y la probabilidad de presentar daños ante inundaciones.

También se observa que la capacidad adaptativa es mucho mayor que los factores de exposición y sensibilidad. Recordemos que la vulnerabilidad no solo se define para un sistema, también puede ser entendida como las características de una persona o grupo desde el punto de vista de su capacidad para anticipar, sobrevivir, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza natural, por lo tanto el modelo de índices nos muestra que la población de Ensenada presenta una combinación de factores que pueden determinan el grado en el cual son capaces de hacer frente y recuperarse ante los impactos negativos ocasionados por un fenómeno natural, en este caso, las inundaciones.

**Gráfica 1**  
Comparación de la contribución de IVBF, IVS e ICA  
en la ciudad de Ensenada B. C.



Fuente: Propia, construcción con los resultados de los índices de vulnerabilidad.

Con los resultados obtenidos se pudo responder la pregunta de investigación planteada al inicio del proyecto, y se aprueba la hipótesis planteada, ya que se observó que las características biofísicas no son siempre las que provocan o aumentan la vulnerabilidad de una zona y por lo tanto



umentan el riesgo a desastre, sino que el factor antropogénico es aquel que influye en mayor proporción los eventos de desastre.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Adger, W.N., "Vulnerability", *Global Environmental Change*, Vol.16, febrero 2006, pp. 268–281.
2. Cutter, S.L., B. J. Boruff, W.L. Shirley, "Social Vulnerability to Environmental Hazards", *Social Science Quarterly*, Junio 2003, Wiley, Vol 84, 2, pp. 242. 261
3. Frazier, I., Kesby, M., Evely, A., Latham, I., Wagatora, D., "A three-tiered approach to participatory vulnerability assessment in the Solomon Islands", *Global Environmental Change*, 2010, Vol. 20, pp. 713–728.
4. Ionescu C, Klein RJT, Hinkel J, Kumar KSK, Klein R, "Towards a formal framework of vulnerability to climate change", *Environ Model Assess*, 2009, Vol. 14, pp.1-16.
5. Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada, Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Ensenada 2007-2030, 2008, pp. 117
6. Magaña, Victor, 2013, "Guía metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad ante Cambio Climático", México, D.F., Abril 2013, INECC-PNUD, 62pp.
7. Nijkamp, P. y Rietveld, P., "Multicriteria evaluation in Physical Planning", Amsterdam, 1990, pp 219.
8. Romero-Lankao, Patricia y Hua Qin, "Conceptualizing urban vulnerability to global climate and environmental change", *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Mayo 2011, Vol. 3, 3, pp 142-149.
9. Turner II., B.L., Kasperson, R.E., Matson, P.A., McCarthy, J.J., Corell, R.W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J.X., Luers, A., Martello, M.L., Polsky, C., Pulsipher, A., Schiller, A., "A framework for vulnerability analysis in sustainability science", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2003, Vol.100,pp. 8074–8079.
10. Wongbusarakum, S. and C. Loper, "Indicators to assess community-level social vulnerability to climate change: An addendum to SocMon and SEM-Pasifika regional socioeconomic monitoring guidelines", en *The Nature Conservancy and the NOAA Coral Reef Conservation Program*, Abril 2011, 41pp.