

Modelo de dependencia espacial aplicado al análisis de la distribución del consumo de alcohol en el campus CU, UNAM

Recibido: 31 de octubre de 2012. Aceptado en versión final: 28 de febrero de 2013.

Ana Rosa Rosales Tapia*

José Antonio Quintero Pérez*

Resumen. El objetivo de este trabajo es analizar la distribución del consumo de alcohol dentro del campus de Ciudad Universitaria (CU) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en un periodo de cuatro años, a través del estudio de sus relaciones espaciales.

Tomando como base a la Primera Ley de Tobler que explica que: “todo está relacionado con todo lo demás, pero las cosas cercanas están más relacionadas que lo lejano”, se puede decir que la distribución del consumo de alcohol que se extiende dentro de CU se encuentra determinada por la dependencia espacial de las áreas de consumo, y de las relaciones espaciales que éstas presentan con su entorno. Para lograr este objetivo se emplearon conceptos de Geografía

del Crimen, Dependencia y Análisis Espacial, así como del Modelado, que a través de los sistemas de información geográfica (SIG) proporcionan una herramienta que ayuda a tener un mejor entendimiento del espacio para luego integrar una solución al problema de estudio. Los resultados de la aplicación del modelo permitieron determinar las posibles áreas de consumo dentro de la zona en estudio, datos que son importantes para la implementación de mejores planes de vigilancia dentro del campus.

Palabras clave: Análisis espacial, distribución, relaciones espaciales, dependencia espacial, consumo de alcohol.

Spatial dependence model applied to the analysis of the distribution of alcohol consumption in the CU campus, UNAM

Abstract. The aim of this paper is to analyze the distribution of alcohol consumption occurred within the main campus (CU) of the National Autonomous University of Mexico (UNAM), in a period of four years, through the study of their spatial relationships. Based on Tobler's First Law which explains that “everything is related to everything else, but near things are more related than distant ones”, one can say that the distribution of alcohol consumption that extends into CU is determined by the spatial dependence of consumption areas, and spatial relationships that they have with their environment. To achieve this goal we used concepts of

Geography of Crime, Spatial Dependency, Spatial Analysis and Modeling which through geographical information systems, provide a tool to help gain a better understanding of space and then integrate a solution study problem. The results of applying the model allowed determining possible areas of consumption within the study area, data that is important for the implementation of improved monitoring plans within the campus.

Key words: Spatial analysis, distribution, spatial relationships, spatial dependency, alcohol consumption.

* Laboratorio de Análisis Geoespacial (LAGE), Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, 04520, Coyoacán, México, D. F. E-mail: anarosa@igg.unam.mx; quintero@igg.unam.mx

INTRODUCCIÓN

La aparición de la actividad delictiva en forma de robos, asaltos, homicidios, etc., es algo que se lleva a cabo todos los días en casi todos los confines de nuestro mundo (Hernando, 2006). Existe un gran debate sobre las causas de la delincuencia, además de que los organismos de control no son particularmente eficaces para prever dónde y cuándo se llevarán a cabo crímenes en el futuro (Murray *et al.*, 2001).

Mientras que la tecnología informática ha avanzado, ha habido un continuo interés en el uso y desarrollo de técnicas para ayudar a explicar la ocurrencia de actividades delictivas. Quizás una de las herramientas más influyentes hasta el momento han sido los SIG (Burrough, 1990), por su funcionalidad para mapear la delincuencia (Sutherland y Cressey, 1970). Esta tecnología ha facilitado la exploración de la distribución espacial de la delincuencia. Sin embargo, los SIG y la cartografía del crimen solo han tocado la superficie de su potencial aplicación para la investigación de las actividades delictivas. Hay una constante búsqueda de instrumentos más sofisticados basados en SIG para el estudio de la conducta humana en el espacio físico, es la capacidad de combinar información espacial con cualquier otro tipo de información (Fotheringham *et al.*, 2007), lo que hace a los SIG tan valiosos para los investigadores urbanos.

El uso de los SIG para el estudio de la actividad delictiva ha sido generalmente en el ámbito de la criminología ambiental,¹ que tiene que ver con las características físicas de las áreas y su impacto en la prevención o el fomento de la delincuencia. La relación entre la distribución física de un espacio, las relaciones espaciales a los distintos servicios, y la mezcla del uso de suelo, son vistos como factores importantes que pueden influir en el comportamiento criminal (Hernando, 1999).

Criminólogos ambientales han propuesto que ciertos delitos son más propensos a ser perpetrados

¹ El término ambientalista o ecológico en ciencias sociales se aplica al enfoque que explica el comportamiento humano como producto de su entorno social, normalmente en contraste con otras teorías que resaltan la herencia biológica (Johnston *et al.*, 2000).

por alguna situación con los accesos, exposición u oportunidad. Una limitación importante en la aplicación de los SIG ha sido su uso meramente descriptivo para representar la actividad de la delincuencia en lugar de enfocarse en la integración de datos o el desarrollo de herramientas analíticas sofisticadas (Murray *et al.*, 2001).

Si entendemos un ilícito como una acción no permitida legal o moralmente, o como una falla de un individuo, una violación a una obligación social (Pratt, 1966), y que según el Reglamento de la Comisión Especial de Seguridad del Consejo Universitario, así como el Estatuto General (UNAM, 1990, 1998):

el ocurrir a la Universidad en estado de ebriedad o bajo los efectos de algún estupefaciente, psicotrópico o inhalante, ingerir o usar, vender, proporcionar u ofrecer gratuitamente a otro, en los recintos universitarios bebidas alcohólicas y las sustancias consideradas por la ley como estupefacientes o psicotrópicos, o cualquier otra que produzca efectos similares en la conducta del individuo que los utiliza

se considera causa especialmente grave de responsabilidad, aplicable a todos los miembros de la Universidad, es decir, un ilícito.

En este trabajo se describe la metodología para alcanzar un modelo que permita conocer la distribución espacial de la ocurrencia del consumo de alcohol dentro del campus de CU. Esta metodología se logró a través del desarrollo de un modelo conceptual, apoyado en el análisis de las relaciones espaciales que intervienen en cada incidente estudiado, fundamentado por la Primera Ley de Tobler (Miller, 2004; Tobler, 1970 y 1999).

Dependencia espacial y relaciones espaciales

Dependencia espacial se refiere a la relación entre los datos georreferenciados debido a la naturaleza de la variable bajo estudio y el tamaño, forma y configuración de las unidades espaciales. Cuanto menores son las unidades espaciales, mayor será la probabilidad de que las unidades cercanas sean espacialmente dependientes. Si las unidades son largas y estrechas, las posibilidades de dependencia

espacial con unidades cercanas serán mayores que si las unidades son más compactas (Quintero, 2009). La heterogeneidad espacial se produce cuando hay una falta de uniformidad espacial de los efectos de la dependencia espacial y/o de las relaciones entre las variables de estudio. Una estructura de dependencia que no es coherente en toda la zona en estudio carece de homogeneidad. En un sentido, entonces, la heterogeneidad espacial se puede considerar como un caso específico de dependencia espacial. Se representa una realización compleja de la naturaleza de la variable bajo estudio y los efectos del tamaño, forma y configuración de las unidades espaciales (Anselin y Rey, 2010).

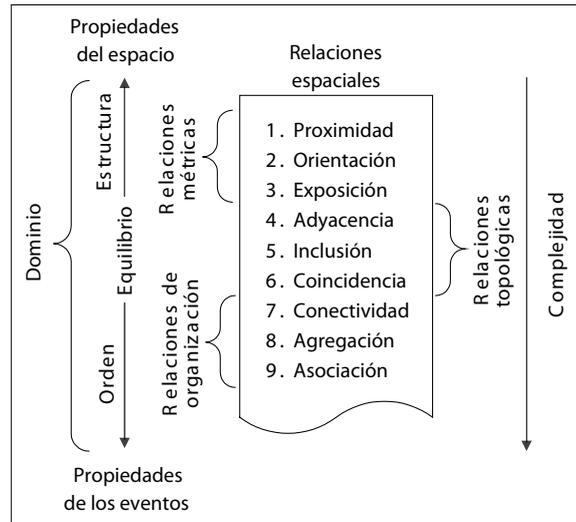
En otras palabras, la dependencia espacial de un objeto se puede definir como el simple hecho de estar presente, lo que implica que tiene un lugar y una forma, considerando sus relaciones, causas y consecuencias. Al ser así, puede encontrarse sujeto a la acción de un agente, existe una relación entre ambos, y ésta puede ser considerada como una amenaza. La dependencia espacial de dicho objeto con los elementos a su alrededor se analiza a partir de las relaciones espaciales existentes entre ellos.

Las relaciones espaciales son conceptos que surgen de la interacción entre el espacio y los eventos que en él ocurren, así como todas sus combinaciones. Existen innumerables relaciones espaciales, pero solo hoy existen nueve tipos y cada una tiene su propio conjunto de técnicas de análisis (Gastrell, 1983; Miller y Wents, 2003; Morales, 2007).

Estos tipos de relaciones se organizan con base en la mayor o menor dominancia, sea de las propiedades del espacio o de las propiedades de los eventos (Figura 1). En este contexto los tres grupos de relaciones espaciales son: relaciones métricas, relaciones topológicas y relaciones de organización.

MÉTODOS Y TÉCNICAS

Este modelo se basa en el estudio de las relaciones espaciales que se presentan durante la ocurrencia de la venta y/o consumo de alcohol dentro del campus universitario, por lo que su descripción es fundamental, además de útil para la identificación



Fuente: Morales, 2007.

Figura 1. Relaciones espaciales.

de patrones que favorecen la detección de áreas vulnerables a la ocurrencia de este ilícito.

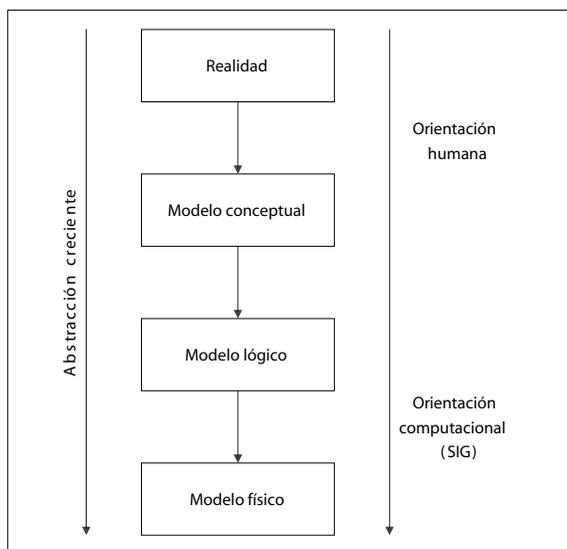
Cuando se planea utilizar un SIG, es necesario tener una idea clara de todo el proceso, aun cuando los detalles precisos de cada etapa dependen de los resultados de las etapas previas. Es imprescindible tener una visión general de todo el sistema y lo que se espera de éste. Podría ser frustrante que después de haber invertido gran cantidad de esfuerzo en el desarrollo del mismo, éste no cumpla con las expectativas planteadas, es por ello que, en general, al emplear técnicas de Análisis Espacial (AE) aplicadas a través de un SIG para la solución de un problema o del componente espacial de un problema, se requiere la construcción de un modelo de solución que implica ordenar los conceptos para llevarlos a la práctica en varias etapas metodológicas (niveles del modelo), (Longley *et al.*, 2005).

Al representar el mundo real en una computadora, mediante un SIG, es útil pensar en términos de cuatro diferentes niveles de abstracción (Figura 2). En primer lugar la realidad se compone de fenómenos del mundo real (edificios, calles, personas, etc.) e incluye todos los aspectos que pueden o no ser percibidos por los individuos, o que se consideren relevantes para una aplicación en particular.

En segundo lugar, el *modelo conceptual* tiene una orientación humana, a menudo parcialmente estructurado. Es un modelo de objetos o eventos seleccionados y los procesos que se creen relevantes para el dominio de un problema determinado. Se puede considerar como la parte más importante, ya que si no es posible llegar a una solución conceptual, entonces será imposible resolver el problema mediante un SIG.

En tercer lugar el *modelo lógico*, que es una representación orientada a la implementación de la realidad que se expresa, a menudo, en forma de diagramas y en listas. Permite transferir el modelo conceptual a cualquier sistema de información que se vaya a utilizar. Es un modelo de organización y procesamiento de la información.

Por último, el *modelo físico* retrata la implementación real en un SIG. Ajusta el modelo lógico a las características de un sistema de información particular y permite obtener resultados concretos. La solución final a un problema de análisis espacial puede requerir la revisión de los otros dos modelos, y son precisamente los resultados del modelo físico los que indican si es necesario modificar los modelos anteriores a fin de obtener resultados finales adecuados.



Fuente: Longley, 2005.

Figura 2. Niveles de abstracción correspondientes a los modelos de datos de SIG.

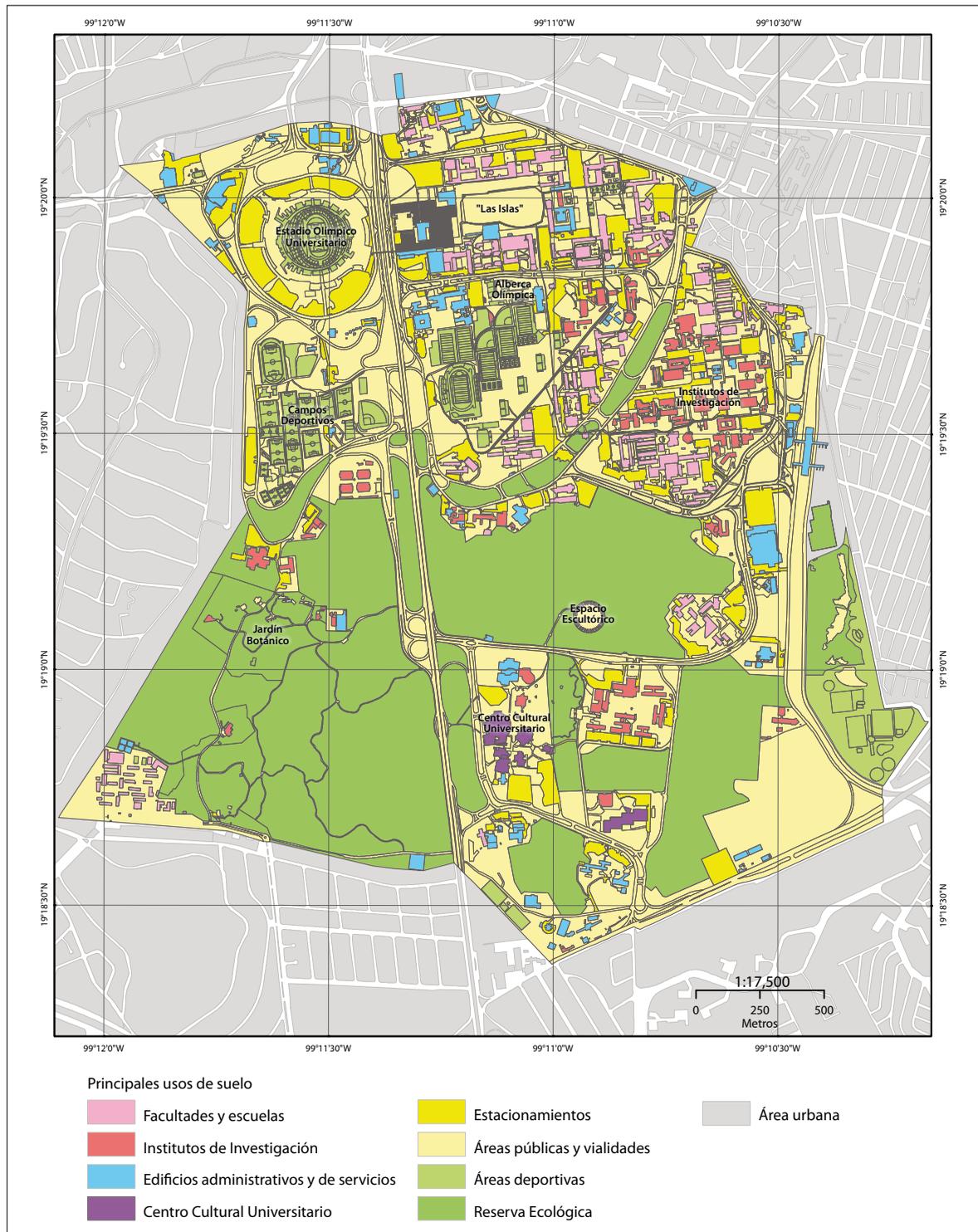
Obtención de la información

En este trabajo se utilizó el mapa de Ciudad Universitaria elaborado en el Instituto de Geografía de la UNAM con base en la digitalización a partir de un mosaico de fotografías aéreas digitales, con el apoyo de los planos de la Planta Física proporcionados por la Dirección General de Obras de la Universidad, así como de trabajo de campo para la verificación y actualización de la información. El mapa se encuentra en formato vectorial y al haber sido construido en un SIG, cuenta con la respectiva base de datos asociada con los atributos correspondientes a cada rasgo. Además del mapa base de CU (Rosales y Quintero, 2011), se cuenta con información vectorial de los accesos, paradas y rutas de transporte universitario, bases de auxilio UNAM y postes de emergencia, así como el área urbana circundante (Figura 3).

La UNAM cuenta con un sistema para el monitoreo de ilícitos dentro de sus instalaciones, el cual se denomina Sistema de Análisis de Incidentes e Ilícitos (SAIUNAM), gracias al cual se obtuvo una base de datos de un periodo de cuatro años (1998-2001), en los que se registraron 7 824 incidentes e ilícitos, repartidos en 96 categorías, que incluyen: robo, robo de vehículos, agresión física, consumo y venta de alcohol y de drogas, entre otros. Además se registra cualquier tipo de incidente ocurrido dentro del campus, como accidentes, extravío de objetos y personas, traslados a hospitales, fugas de agua y gas, incendios forestales, etc. Debido a que en esta base de datos no todos los registros son considerados como ilícitos, se realizó una revisión y depuración, de la cual se obtuvo un total de 3 416 registros correspondientes a 34 tipos de ilícitos, agrupados en diez categorías (Cuadro 1).

Una vez seleccionados los datos a utilizar, se georreferenció cada uno de los registros dentro del SIG a manera de rasgo puntual, asociándole a éstos la base de datos original, de tal forma que cada punto contenga los atributos correspondientes. Esta georreferenciación se llevó a cabo siguiendo la descripción detallada de la ubicación dentro del campus en donde se registró el ilícito, proporcionada por el SAIUNAM.

Las bases de datos que se utilizan en este proyecto son tablas en formato XLS que contienen los



Fuente: Rosales y Quintero, 2011.

Figura 3. Principales usos de suelo dentro del campus de CU.

Cuadro 1. Tipos de ilícitos

Ilícito	Grupo	Total
Ingerir bebidas embriagantes	Delito relacionado con alcohol	934
Ventas de bebidas embriagantes		
Conducir en estado de ebriedad		
Robo de vehículo estacionado	Robo de vehículo	1023
Robo de accesorios de vehículo		
Robo de vehículos por asalto		
Robo de motocicletas		
Secuestro de camiones		
Alteración del orden	Alteración del orden	236
Robo por asalto	Robo	558
Tentativa de robo		
Robo de bienes patrimoniales universitarios		
Robo a particulares		
Daño en propiedad ajena		
Robo de objetos personales dentro de dependencias		
Robo de mercancía en tiendas		
Daño patrimonial	Daño patrimonial	345
Pintas en muros y paredes		
Delito por pandilla (vandalismo)		
Lesiones por agresión física	Agresión física	156
Riña simple		
Lesiones por riña		
Injurias		
Lesiones por arma blanca y otros		
Lesiones por disparo de arma de fuego		
Consumo de drogas	Delito relacionado con drogas	121
Posesión de droga		
Venta de droga		
Hostigamiento sexual	Delito sexual	30
Tentativa de violación		
Violación		
Homicidio	Homicidio	10
Hallazgo de cadáver		
Privación ilegal de la libertad	Secuestro	3

Fuente: SAIUNAM.

registros de los incidentes e ilícitos ocurridos dentro del campus. Por otra parte, las bases de datos asociadas a la información vectorial, correspondiente a la cartografía de Ciudad Universitaria, se presenta

en formato DBF, ambos formatos, compatibles con el SIG empleado.

La proyección utilizada en todas las capas de información tanto vectorial como raster, es la

Proyección Universal Transversa de Mercator. Se definió una escala de trabajo no mayor a 1:2 200, debido a la resolución de la información raster utilizada (mosaico de fotografía aérea digital), de la cual se obtuvo la información vectorial. Sin embargo, con la finalidad de tener una mejor representación, para este trabajo se utilizó una escala de impresión de 1:15 000.

Estos diez grupos de ilícitos quedaron distribuidos en la zona del campus, e incluso en zonas colindantes, para el análisis se discriminaron aquellos puntos que se localizaban fuera del campus, como en Av. de los Insurgentes, que si bien lo atraviesa, no pertenece a la Universidad. Por otra parte, con la finalidad de realizar el análisis de las relaciones espaciales, se consideraron todas las áreas del campus que de una u otra manera tienen acceso público. Como resultado se obtuvo un mapa en el que se ubican los diez principales grupos de ilícitos, sin embargo, para esta investigación se tomaron en cuenta únicamente los ilícitos relacionados con el alcohol (Figura 4).

Análisis exploratorio

Dada la existencia de varias capas² temáticas de información espacial, el análisis se puede enfocar en la investigación de las deducciones potenciales que se pueden hacer. Esto es esencialmente un análisis exploratorio de datos espaciales, ESDA, por sus siglas en inglés, que complementa en gran medida los propósitos y técnicas del SIG. Existen varios enfoques que se pueden utilizar para el ESDA, uno de ellos implica el uso del SIG para la investigación visual, es decir, mediante el mapeo sencillo y despliegue de éste en el SIG, existe la posibilidad de identificar relaciones importantes y significativas en la incidencia del delito en una capa de información o entre varias capas (Murray *et al.*, 2001).

Como se mencionó antes, los diez grupos de ilícitos se distribuyen en todo el campus, sin

embargo, son evidentes algunas agrupaciones principalmente en el área norte, el circuito escolar; donde se localiza un gran número de facultades, la Rectoría, y también una de las áreas abiertas más grandes y conocidas: "Las Islas". En las áreas abiertas se concentran los ilícitos relacionados con el alcohol, y sobre los circuitos los robos de vehículo.

En otros sectores del campus no hay concentraciones tan grandes, sin embargo, existen algunos puntos como en el Espacio Escultórico o en los alrededores de la Tienda UNAM y el metro Universidad, así como algunas áreas verdes y estacionamientos, en los que se presenta el ilícito.

Las áreas que aparecen con la menor cantidad de puntos son los tres principales núcleos de la Reserva Ecológica y las áreas de campos deportivos, probablemente por encontrarse cercados o por la lejanía a los accesos al campus y a las vías de comunicación.

Como conclusión del análisis ESDA, se reconocieron las zonas con mayor concentración de ilícitos, en las cuales los de mayor ocurrencia son aquéllos relacionados con el consumo de alcohol, en su mayoría en áreas abiertas. Por tal motivo, el análisis espacial se enfocó en este tipo de ilícito y las características de su distribución dentro del campus.

Desarrollo del modelo conceptual al lógico

La importancia de un modelo de solución radica en cumplir con las expectativas planteadas, y así llevar a cabo las etapas necesarias (actividades, tareas, acciones) y modificaciones al proceso con el fin de llegar a la explicación de un problema espacial, mediante un SIG.

Para la elaboración del modelo conceptual se deben seguir algunos pasos. El primero es la identificación del problema espacial, que consiste en conocer los componentes de éste, separar la parte espacial de la no espacial, definir qué tipo de problema se tiene, la extensión del área en estudio, realizar una búsqueda de las soluciones existentes, si es que las hay, así como elaborar una descripción documentada de dicho problema.

Los componentes de este problema son: quiénes participan, en dónde se lleva a cabo y si es posible saber, el por qué lo hacen. Estos datos proporcionan información para definir cuál es la distribución de

² Al modelar la realidad para su representación dentro de un SIG, es conveniente agrupar las entidades que tengan el mismo tipo de geometría, por puntos, líneas o polígonos. Una colección de entidades del mismo tipo geométrico se conoce como clase o capa (Chrisman, 1997).

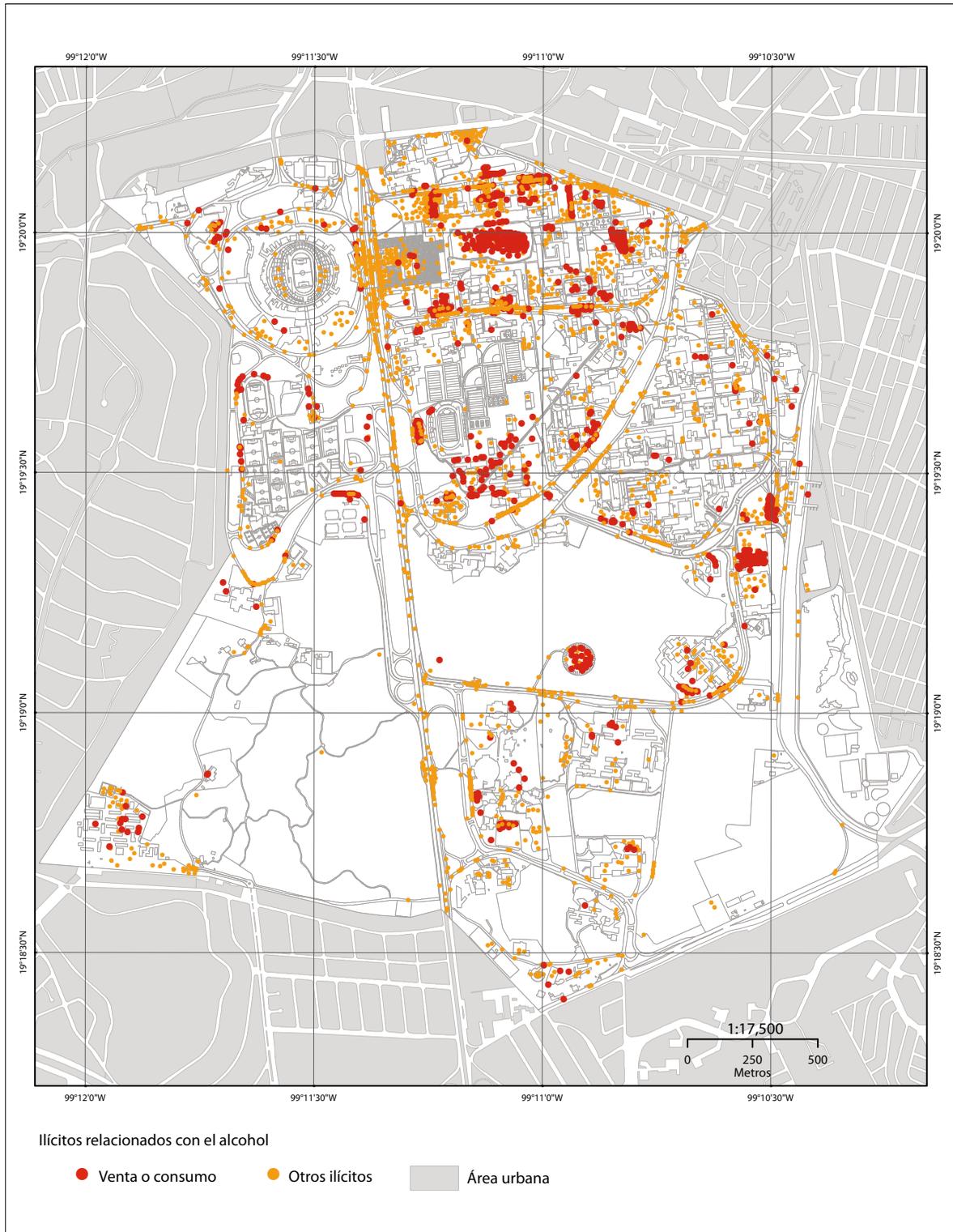


Figura 4. Ilícitos relacionados con el alcohol dentro de CU.

los ilícitos de acuerdo con las relaciones espaciales que se presentan y que los favorecen.

En la discriminación de los componentes espaciales de los no espaciales, se tiene la base de datos de los ilícitos, la cual no contaba con una referencia espacial, por lo que durante el procesamiento de la información se le asignó una georreferencia. El resto de las capas de información que se tienen (cartografía del campus, base de datos de las dependencias dentro del mismo, etc.) ya contaban con su referencia espacial.

La definición del área en estudio se determinó por la propia extensión del campus, y por la localización de las áreas de consumo de alcohol dentro del mismo. Debido a que el campus ocupa un área muy pequeña, se considera una escala local, como se mencionó con anterioridad, 1:2 200.

En la búsqueda y evaluación de soluciones se tiene el marco conceptual que presenta el estudio sobre la delincuencia desde el punto de vista espacial, fundamentando el análisis de dichas relaciones, para lo cual se crea un modelo explicativo de la distribución de las zonas de consumo de alcohol. Como resultado del modelo, se puede llegar al mapa de distribución del consumo dentro del campus.

En la descripción documentada del problema, se tiene como primer acercamiento la base de datos en la que se registran los ilícitos; tanto aquéllos relacionados con el consumo de alcohol, como de otros tipos, que si bien no son de interés para este trabajo, forman parte de la documentación existente y de un proyecto realizado dentro de la Universidad para el monitoreo de este tipo de incidentes, el SAIUNAM.

Una vez determinado el problema espacial, el siguiente paso para llegar al modelo conceptual es la identificación y definición de los eventos espaciales primarios y analíticos. Los eventos primarios son aquéllos que nos permiten obtener la información necesaria sobre el problema espacial, y los eventos analíticos, para llevar a cabo el análisis a partir de la información obtenida. Desde esta perspectiva, se tiene que los eventos espaciales primarios son los tipos de ilícitos relacionados con el alcohol dentro del campus: la compra, venta y consumo. Los eventos analíticos son el quién, el dónde y el cómo ocurren estos ilícitos, resaltando las relaciones espaciales que

existen entre estos, las cuales son necesarias para que se den las condiciones apropiadas para que se cometan los ilícitos que nos ocupan.

El paso siguiente en la construcción del modelo conceptual es la identificación de las características y problemas de información de los eventos, tanto primarios como analíticos, para los cuales se identifica la escala de la información de cada evento, cuáles son las fuentes de dicha información, los formatos en los que se obtienen y los problemas que pueda presentar (como inexistencia, calidad, actualidad, costo, distribución, etc.).

Al trabajar con este tipo de información, uno de los principales problemas que se presentan es la falta de referencia espacial; sin embargo, como parte del procesamiento se georreferenciaron las bases de datos referentes a los ilícitos. Otro problema muy común es la falta de actualización de la información, por lo que los datos de ilícitos se presentan solo para un periodo no mayor a cuatro años.

A continuación, se deben identificar y definir las relaciones espaciales entre los eventos primarios y analíticos por medio de la caracterización de las relaciones relevantes al problema, ¿cómo son éstas en función de dichos eventos? y ¿cuáles son sus formas de expresión? Especificar los procesos (la secuencia de las relaciones) y los subprocesos, conocer su estructura así como sus dependencias. Y finalmente evaluar el modelo conceptual, por medio de un diagrama y/o una fórmula (Figura 5).

Como parte esencial del análisis de la distribución de los ilícitos relacionados con el alcohol, se creó un modelo de dependencia espacial en el que se muestran las relaciones espaciales que favorecen la comisión de los ilícitos, el cual recoge ocho tipos de relaciones espaciales: *proximidad, orientación, exposición, adyacencia, inclusión, coincidencia, conectividad y agregación* (Figura 6).

Este modelo se basa en el estudio de las relaciones espaciales que se presentan durante la ocurrencia de los ilícitos relacionados con el consumo de alcohol, por lo que su descripción es fundamental, además de útil para la identificación de patrones, que pueden favorecer en la detección de áreas vulnerables.

El modelo considera en primer lugar a la agregación, tomando en cuenta los atributos del espacio

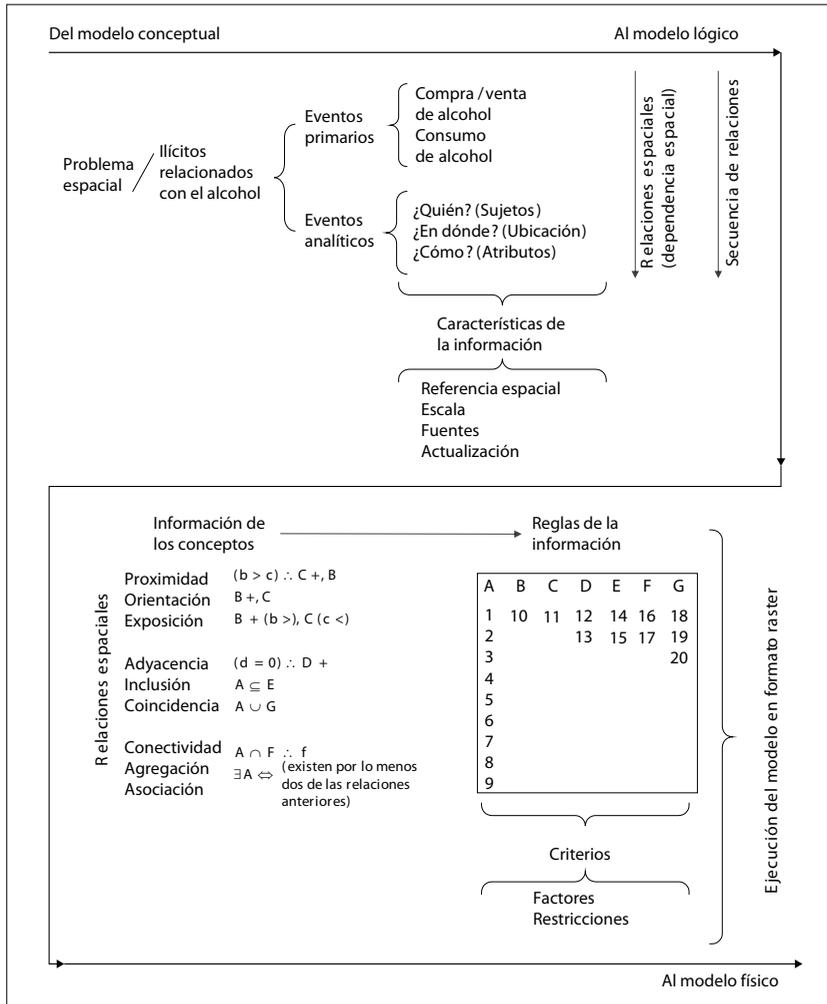


Figura 5. Construcción del modelo conceptual al modelo físico.

en el que se origina el evento ilícito. Esta agregación toma en cuenta otras relaciones de menor complejidad, como la exposición, la coincidencia y la conectividad. A su vez, la exposición utiliza la proximidad y la adyacencia, que a su vez, hace uso de la orientación, así como la coincidencia utiliza también la adyacencia y la inclusión. Finalmente, la conectividad se apoya en la proximidad.

La agregación consiste en la unión de varios elementos que originan un evento espacial, en este caso, el ilícito, y que sin la presencia de alguno de estos elementos, no sucedería. Dichos elementos son los atributos que tiene el espacio en el que se da el evento, definidos por las siguientes relaciones espaciales.

La exposición se refiere a la situación de un objeto con respecto a otros, es por esto que se considera

íntimamente ligada a la proximidad, adyacencia y a la orientación. Esta serie de relaciones nos proporciona datos acerca de la zona de ocurrencia del ilícito, si ésta es accesible o no, en términos de distancia y comunicación (o flujo), si es pública o se encuentra restringida, si tiene o no obstáculos o barreras a su alrededor, que no necesariamente signifique un límite o si se encuentra en contacto con algún otro elemento, que a su vez ayude a crear circunstancias de inclusión y coincidencia.

La coincidencia en el modelo describe cómo convergen diversos elementos en el mismo espacio-tiempo, lo que favorece la ocurrencia del evento que nos ocupa, y éste, relacionado con la adyacencia e inclusión, nos muestra como está contenido dentro de un espacio con características determinadas.

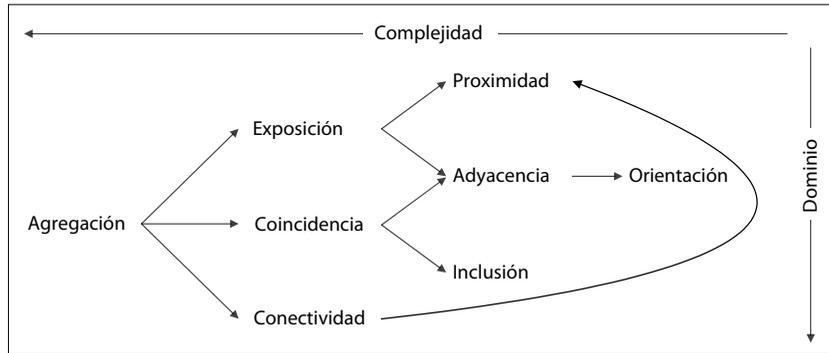


Figura 6. Dependencia espacial.

Por último, la conectividad, íntimamente relacionada a la proximidad, es el mecanismo que proporciona el flujo, en ambos sentidos, del espacio en el que se lleva a cabo el ilícito y el punto de venta de alcohol, aunque en algunos casos este flujo no es necesariamente con un punto cercano al área en estudio, sin embargo, es indispensable su existencia. Esta relación es esencial para que suceda el ilícito dentro del campus.

Ejecución del modelo físico

El modelo físico ajusta el modelo lógico a las características de un sistema de información en particular y permite obtener resultados concretos. La solución final a un problema de análisis espacial puede requerir la revisión de los otros dos modelos, y son precisamente los resultados del modelo físico los que indican si es necesario modificar los modelos anteriores a fin de obtener resultados finales adecuados. Esta etapa requiere de los siguientes pasos: *a)* definición de estándares para archivos; *b)* traducción de los operadores del modelo lógico en comandos de las herramientas a utilizar; *c)* ejecución del modelo físico, y *d)* evaluación de los resultados finales.

Una vez elaborados las fórmulas y diagramas correspondientes a la solución del problema como parte del modelo lógico, se procedió a la definición de los estándares de los archivos a utilizar dentro del SIG. La información básica necesaria para el modelo se encontraba en su mayoría en formato vectorial, por lo que se realizó la conversión a formato raster, para el posterior uso de operadores matemáticos y generación de nuevas capas de información.

Con las capas de información en formato raster se aplicaron los operadores matemáticos, principalmente aritméticos, que permiten la adición (+), sustracción (-), multiplicación (*) y división (/) de dos capas raster, números o una combinación de ambos dentro del SIG.

RESULTADOS

El modelo mostrado se aplicó a todo el campus para determinar las áreas con mayor susceptibilidad a la comisión de ilícitos relacionados con el alcohol y conocer así su distribución. Por sus características heterogéneas, en las que se presentan áreas densamente ocupadas por facultades o institutos, otras cubiertas por reserva ecológica o por campos deportivos, se realiza una ponderación distinta de los valores de proximidad, exposición y conectividad para cada caso específico. Sin embargo, finalmente se obtuvo un solo mapa del campus completo, por medio de una interpolación de los valores de susceptibilidad o agregación, de acuerdo con el modelo descrito.

El mapa final (Figura 7) muestra en tonos rojos las zonas con una agregación de eventos mayor que propician la ocurrencia del consumo de alcohol. Una de las zonas más extensas que muestra gran agregación es el área verde conocida como "Las Islas", que es un área muy cercana a las facultades, y éstas son la fuente más importante de los sujetos que cometen la infracción, a pesar de esto no son áreas que se vean expuestas a la observación desde los edificios más cercanos, o incluso desde las casetas de vigilancia. Por la misma razón, la

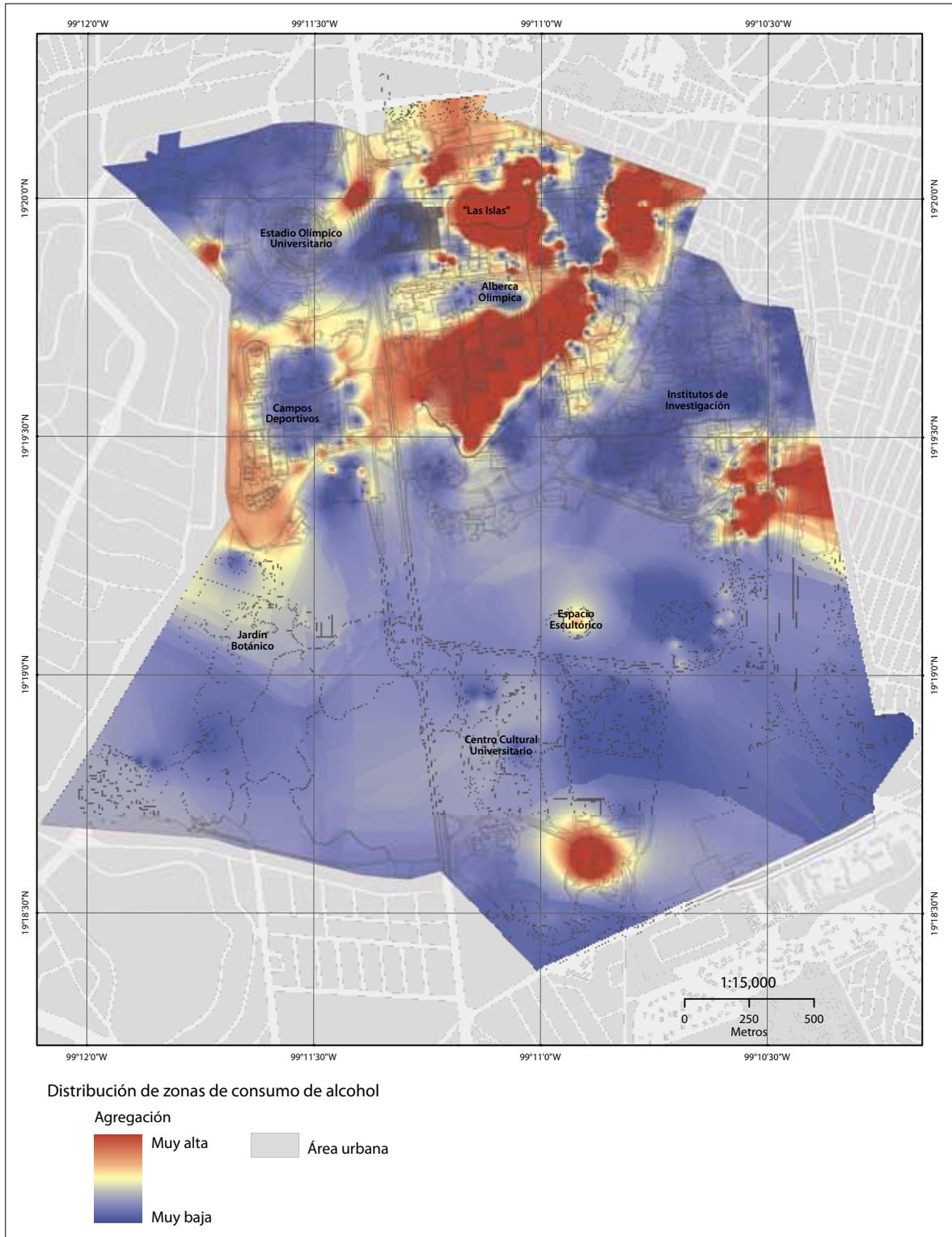


Figura 7. Zonas de consumo de alcohol dentro de CU.

distancia a las áreas de consumo (su proximidad), la orientación de los edificios no es una variable determinante, y en los casos en que se presenta adyacencia, los edificios pueden no estar orientados hacia el área de interés, por lo que al contrario de evitar que se cometa el ilícito, al funcionar como una barrera que evita la exposición hacia los cuerpos de vigilancia, pueden llegar a favorecerlo.

Con respecto a la coincidencia, es evidente, que las zonas con mayor susceptibilidad son aquéllas que representan áreas abiertas, ya sean verdes, o campos deportivos, lo que nos indica un uso de suelo distinto al de facultades, institutos o administración. Por esta razón, la vigilancia en estas zonas tan extensas es escasa.

Las zonas con valores medios de agregación son aquéllas que rodean a las áreas con valores más altos. Esto se debe principalmente a los valores de proximidad y de exposición. Se encuentran más alejadas de las áreas abiertas y más cercanas a edificios, y por tanto más expuestas; además de tener valores medios de conectividad, esto indica que no son las áreas más propicias para el consumo de alcohol, sin embargo, sí existe. Ejemplos de estas áreas son los estacionamientos de las facultades, o los circuitos que las rodean.

Por otra parte, las zonas que aparecen en tonos de azul presentan los valores de agregación más bajos. Esto se debe a un par de razones, principalmente, los tonos más oscuros se localizan cercanos a institutos, en donde la proximidad es baja, y existe en casi toda la zona de adyacencia, además de que el uso de suelo no es el indicado, aunque sus niveles de conectividad son medios. El otro motivo es que se localizan en áreas de reserva ecológica, donde la proximidad es baja, y aunque son zonas muy poco expuestas, también son de difícil acceso, y muestran una conectividad baja. Ahora bien, a pesar de ser áreas verdes, la reserva ecológica tiene un valor distinto en uso de suelo, al que pudieran tener "Las Islas", debido a que si bien son áreas abiertas, su acceso es restringido y complicado.

Finalmente, se identificaron las zonas de consumo de alcohol dentro del campus de CU: la zona de "Las Islas" y las áreas abiertas alrededor de la Facultad de Medicina, por su cercanía a las facultades, los campos deportivos (frontones) por encontrarse

poco expuestos a la vigilancia; los alrededores de la Tienda UNAM, por presentar una muy fuerte conectividad con el punto de venta de alcohol; el Espacio Escultórico, así como los campos de entrenamiento, por su fácil acceso y poca exposición.

CONCLUSIONES

Cuando se utiliza un SIG para el AE, es fundamental elaborar un modelo de solución, desarrollando sus tres niveles (conceptual, lógico y físico) a partir de los cuales se tendrá una visión general del sistema completo, además de saber si éste cumple con las expectativas planteadas.

En este trabajo, la elaboración del modelo de solución marcó la pauta para llevar a cabo la comprobación del modelo de dependencia espacial, para la determinación de la distribución de ilícitos.

El modelo de dependencia espacial empleado, mostró su efectividad a partir de la ubicación de zonas de consumo de alcohol distribuidas dentro del campus de Ciudad Universitaria, ya que comprobó la hipótesis inicial. La distribución del ilícito se encuentra determinado por la dependencia espacial de los eventos y las relaciones que existen entre ellos.

Se identificaron las zonas con los valores más altos de susceptibilidad (agregación de eventos), las cuales no son homogéneas, sino que hay zonas bien definidas, a las cuales deben prestar mayor atención las autoridades universitarias.

La principal limitación del modelo es la falta del análisis de la dinámica socioeconómica del área en estudio, así como de la población que interviene en el problema, que sin bien no es parte del objetivo, además de la dificultad que representa el estudio de un campus universitario, en el cual estas dinámicas no son evidentes ya que la población es flotante diariamente. Sin embargo, este enfoque del AE, a través de las relaciones espaciales para la detección de áreas susceptibles a la delincuencia, puede ser aplicado para distintos tipos de ilícitos, dentro de un área urbana, complementándolo con información social y económica pertinente, así como con otras características geográficas, que enriquezcan la investigación.

REFERENCIAS

- Anselin, L. and S. Rey (2010), *Perspectives on spatial data analysis*, Springer, New York.
- Burrough, P. A. (1990), *Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment*, Oxford University Press, New York.
- Chrisman, N. (1997), *Exploring Geographic Information Systems*, John Wiley & Sons Inc, New York.
- Fotheringham, S., C. Brundston and M. Charlton (2007), *Quantitative Geography*, SAGE Publications, London.
- Gatrell, A. C. (1983), *Distance and space: a geographical perspective*, Clarendon Press, Oxford.
- Hernando, F. (1999), "La escuela cartográfica de Criminología Británica: antecedente de la Geografía del Crimen", *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, vol. 19, Madrid, pp. 11-22.
- Hernando, F. (2006), "Geografía y violencia urbana", *Tratado de Geografía Humana*, UAM-Iztapalapa-Anthropos, Madrid.
- Johnston, R. J., D. Gregory y D. M. (eds.; 2000), *Diccionario Akal de Geografía Humana*, Ediciones Akal, Madrid.
- Longley, P. A., M. F. Goodchild, D. J. Maguire and D. W. Rhind (2005), *Geographical Information Systems and Science*, John Wiley & Sons, Ltd. R.U.
- Miller, H. J. and E. Wentz (2003), "Geographic representation and spatial analysis in geographic information systems", *Annals of the Association of American Geographers*, no. 93, pp. 574-94.
- Miller, H. (2004), "Tobler's first law and spatial analysis", *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 94, no. 2, Oxford, pp. 284-289.
- Morales Manilla, J. L. (2007), *The definition of a minimum set of spatial relationships*, tesis de Doctorado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.
- Murray, A., I. McGuffog, J. Western and P. Mullins (2001), "Exploratory spatial data analysis techniques for examining urban crime", *The British Journal of Criminology*, vol. 41, UK, pp. 309-329.
- Pratt, H. (ed.; 1966), *Dictionary of Sociology*, Philosophical Library, New York.
- Quintero Pérez, J. A. (2009), "Definición y origen de los sistemas de información geográfica", en Quintero Pérez, J. A. (coord.), *Conceptos de Geomática y estudios de caso en México*, Geografía para el siglo XXI, Serie Libros de Investigación, núm. 5, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 115-148.
- Rosales Tapia, A. R. y J. A. Quintero Pérez (2011), "Mapa de Ciudad Universitaria, Universidad Nacional Autónoma de México", escala 1:5 350, como poster y en: <http://132.248.26.6/website/cu/>.
- Sutherland, E. H. and D. R. Cressey (1970), *Principles of Criminology*, Lippincott, Philadelphia.
- Tobler, W. R. (1970), "A computer movie simulating urban growth in the Detroit region", *Economic Geography*, no. 46, pp. 234-40.
- Tobler, W. R. (1999), ESRI User Conference.
- UNAM (1990), *Reglamento de la Comisión Especial de Seguridad del Consejo Universitario*, UNAM, México.
- UNAM (1998), Título Sexto, de las responsabilidades y sanciones, *Estatuto General de la UNAM*, UNAM, México.