



Detalles sobre la publicación, incluyendo instrucciones para autores e información para los usuarios en:
<http://espacialidades.cua.uam.mx>

Jorge Montejano (Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial)

Gustavo Manuel Cruz Bello (Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa)
Modelos de localización para *geomarketing*
pp. 95-120

Fecha de publicación en línea: 1 de mayo de 2018.

Para ligar este artículo: http://espacialidades.cua.uam.mx/vol08/2018/01/06_Montejano_y_Cruz.php

© **Jorge Montejano y Gustavo Manuel Cruz Bello (2018)**. Publicado en Espacialidades. Todos los derechos reservados. Permisos y comentarios, por favor escribir al correo electrónico:
revista.espacialidades@correo.cua.uam.mx

ESPACIALIDADES, REVISTA DE TEMAS CONTEMPORÁNEOS SOBRE LUGARES, POLÍTICA Y CULTURA.

Volumen 8, Núm. 01, enero-junio de 2018, es una publicación semestral de la Universidad Autónoma Metropolitana, a través de la Unidad Cuajimalpa, División de Ciencias Sociales y Humanidades, Departamento de Ciencias Sociales, editada en la Ciudad de México, México. Con dirección en [Av. Vasco de Quiroga 4871, Cuajimalpa, Lomas de Santa Fe, CP: 05300, Ciudad de México, México](http://Av.Vasco.deQuiroga4871,Cuajimalpa,LomasdeSantaFe,CP:05300,CiudaddeMéxico,México). Página electrónica de la revista: <http://espacialidades.cua.uam.mx/> y dirección electrónica: revista.espacialidades@correo.cua.uam.mx. Editora en jefe: Fernanda Vázquez Vela. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título número 04-2011- 061610480800-203, ISSN: 2007-560X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Dendrita Publicidad S. A. de C. V., [Lago Peypus, núm. 237, int. 107, Colonia Lago Norte, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11460, Ciudad de México](http://LagoPeypus,núm.237,int.107,ColoniaLagoNorte,DelegaciónMiguelHidalgo,C.P.11460,CiudaddeMéxico); Fecha de última modificación: mayo de 2018. Tamaño de archivo 700 KB.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del comité editorial.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa.

Directorio

RECTOR GENERAL: Dr. Eduardo Abel Peñalosa Castro

SECRETARIO GENERAL: Mtro. Norberto Manjarrez Álvarez

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa

RECTOR: Dr. Rodolfo René Suárez Molnar

SECRETARIO DE UNIDAD: Dr. Álvaro Julio Peláez Cedrés

División de Ciencias Sociales y Humanidades

DIRECTOR: Dr. Roger Mario Barbosa Cruz

JEFE DE DEPARTAMENTO: Dr. Gabriel Pérez Pérez

Revista Espacialidades

DIRECTORA: Dra. Fernanda Vázquez Vela

ASISTENTE EDITORIAL: Mtra. Verónica Zapata Rivera

ADMINISTRACIÓN DEL SITIO WEB: Luis Ramírez

EDICIÓN TEXTUAL Y CORRECCIÓN DE ESTILO: Mtro. Hugo Espinoza Rubio

FOTOGRAFÍA DE LA PORTADA: Agradecemos a Pedro Mera la donación de su fotografía: "Voluntarios en la Colonia del Valle", sobre el sismo del 19 de septiembre de 2017 ©pedromeraphoto, @Peterpunk1976

COMITÉ EDITORIAL: Dra. Montserrat Crespi-Valbona (Universitat de Barcelona, España), Dra. Verónica Crossa (El Colegio de México, México), Dra. Marta Domínguez Pérez (Universidad Complutense de Madrid, España), Dr. Marco Aurelio Jaso Sánchez (Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa, México), Dr. Georg Leidenberger (Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa, México), Dra. Graciela Martínez-Zalce (Universidad Nacional Autónoma de México, México), Dr. Alejandro Mercado (Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa, México), Dr. Jorge Montejano Escamilla (Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo", México), Dra. Rocío Rosales Ortega (Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México), Dr. Vicente Ugalde (El Colegio de México, México).

COMITÉ CIENTÍFICO: Dr. Tito Alegría (Colegio de la Frontera Norte), Dra. Miriam Alfie (Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa), Dr. Mario Casanueva (Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa), Dra. Claudia Cavallin (Universidad Simón Bolívar, Venezuela), Dr. Humberto Cavallin (Universidad de Puerto Rico), Dra. Flavia Freidenberg (Universidad de Salamanca, España), Dra. Clara Irazábal (Columbia University, Estados Unidos), Dr. Jorge Lanzaro (Universidad de la República, Uruguay), Dr. Jacques Lévy (École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Francia), Scott Mainwaring (University of Notre Dame, Estados Unidos), Miguel Marinas Herrera (Universidad Complutense, España), Edward Soja † (University of California, Estados Unidos), Michael Storper (London School of Economics, Reino Unido).

Modelos de localización para *geomarketing*

Geomarketing Localization Models

JORGE ALBERTO MONTEJANO ESCAMILLA*
GUSTAVO MANUEL CRUZ BELLO**

Resumen

Mediante una exhaustiva exploración del estado de la cuestión, el presente artículo muestra un panorama general actual sobre los diferentes modelos de localización de los que se sirve el *geomarketing* para lograr sus objetivos, al tiempo de ejemplificar su implementación mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG). La finalidad de este trabajo es mostrar al lector, ordenadamente, las diversas ideas, conceptos, y algoritmos imbricados en la práctica actual del *geomarketing*, al tiempo de promover su continuo desarrollo y aplicación.

Palabras clave: geomarketing, modelos, localización, ubicación-asignación.

Abstract

Based on a comprehensive literature revision, this review article shows a broad and general overview about different location models used within the geomarketing field to achieve its objectives, while exemplifying its process through the use of Geographic Information Systems (GIS). This work has two main goals: to offer the reader the ideas, concepts, and algorithms imbricated in the current practice of geomarketing in an orderly manner, and to promote its development and continuous application.

Key Words: Geomarketing, , Models, Location, Location-Allocation

Fecha de recepción: 8 de septiembre de 2017

Fecha de aceptación: 9 de enero de 2018

Introducción

Según datos del INEGI, más de ciento veinticinco mil negocios cierran cada año en nuestro país. Se argumenta que gran parte del fracaso en la apertura de nuevos negocios proviene de no contar con una estrategia adecuada relacionada con el *geomarketing*, y que tomaría en cuenta, por ejemplo, que cerca de 85 por ciento de las compras que los mexicanos hacemos están directamente relacionadas con la cercanía por donde se mueve el consumidor (Austria, 2013). El *geomarketing*, como campo innovador e integrador de la geografía y el marketing, supone reducir la incertidumbre sobre el éxito o fracaso de un negocio, principalmente, dadas determinadas características del mercado que se analizan desde una óptica espacial. Diversos autores coinciden en que la experiencia y el *know how* del propio negocio suponen la mayor parte de la probabilidad en el éxito de una nueva empresa comercial. Sin embargo —adverten—, al menos para empresas cuyo capital va aumentando considerablemente y que ya no se rigen por decisiones directivas unilaterales, sino mediante consejos de administración o juntas accionarias, no es lícito justificar la utilización de grandes montos económicos para cumplir con estrategias de ampliación o reestructuración de actividades comerciales sólo mediante la intuición.

* Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A.C (Centro Geo). C.e.: <jmontejano@centrogeo.edu.mx>.

** Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa. C.e.: <gcruz@correo.cua.uam.mx>.

La utilización del geomarketing para respaldar grandes inversiones de capital se hace cada vez más presente para justificar la toma de decisiones empresariales espaciales.¹ En México, en la actualidad existen pocas empresas especializadas en este servicio, por lo que este nicho se convierte en una gran oportunidad para investigadores del fenómeno de la localización de las actividades en el espacio y para los futuros consultores en la materia.

Este trabajo tiene como objetivos los siguientes: presentar un panorama general sobre los diferentes modelos de localización usados por el geomarketing, con base en una exhaustiva investigación del estado de la cuestión; ejemplificar su implementación con sistemas de información geográfica (SIG), además de promover su aplicación y desarrollo como campo científico emergente en México.

Primero, se desarrolla una visión general sobre lo que es el geomarketing en tanto campo de estudio y aplicación. Posteriormente, se realiza un breve recuento cronológico del desarrollo de la ciencia de la localización de actividades sobre el territorio, ciencia de la que han emanado modelos básicos para el geomarketing. Más adelante, se hace hincapié en algunos de los modelos más utilizados en el geomarketing orientados al ámbito comercial. Por último, el texto presenta —a manera ilustrativa— un par de ejemplos de aplicación de estos modelos a través de los SIG para un caso en concreto, y concluye con una reflexión final sobre la importancia del desarrollo y uso continuo de estos modelos.

Marco teórico conceptual

Geomarketing

La aplicación actual del geomarketing se remonta a los años noventa del siglo xx, cuando, al tiempo que se fortalecía la geografía económica, se pusieron a disposición pública grandes cantidades de datos socioeconómicos georreferidos y se expandió el uso de los SIG. Sin embargo, su origen lo podemos trazar en los trabajos de economía espacial desarrollados a principios del siglo xix por von Thünen (Chasco, 2003: 8), quien elaboró un modelo de localización en el que el costo del transporte explicaba cómo se localizaban diferentes cultivos agrícolas en torno a los mercados urbanos.

El geomarketing, aunque apoyado en diferentes disciplinas, tiene sus principales raíces en la mercadotecnia y la geografía (Chasco, 2003; Bocalandro y Krauthamer, 2007). El objetivo de la mercadotecnia es incrementar el intercambio de bienes y servicios, mediante el fortalecimiento de las conexiones entre la oferta y la demanda, lo cual se traduce en un mayor flujo de valor entre las organizaciones y sus clientes (Esteban *et al.*, 2008). Para lograr esto, la mercadotecnia —que busca caracterizar a los clientes para obtener el mayor beneficio para las empresas—, se apoyó en análisis geográficos para diseñar estrategias de mercado específicas de ciertas regiones, basadas en sus diferencias marcadas por su localización (Bocalandro y Krauthamer, 2007).

La fusión de ambas ciencias se refleja en diversas definiciones de geomarketing. Para Latour y Le Floch (2001), el geomarketing es un “sistema integrado por datos, programas informáticos de tratamiento, métodos estadísticos y representaciones gráficas destinado a producir una información útil para la toma de decisiones a través de instrumentos que combinan la cartografía digital, gráficos y tablas”.

Chasco considera que “podría definirse como el análisis geográfico de la realidad económico-social, a través de instrumentos cartográficos y herramientas de estadística espacial que, aplicado al mundo de la distribución comercial, permite responder a la pregunta ¿quién compra dónde?” (2003: 6). Para Baviera-Puig *et al.* (2013: 3), el geomarketing es la “disciplina que utiliza los SIG como instrumento para el análisis y la toma de decisiones en el ámbito comercial, con el objetivo de satisfacer las necesidades y deseos de los consumidores de manera rentable para la empresa”.

¹ Al respecto, se ha señalado que estos métodos sirven principalmente para orientar estrategias de pequeñas y medianas empresas, no de grandes conglomerados. Sin embargo, aun cuando existan muchos métodos de localización (principalmente dependiendo del giro empresarial, pues no es lo mismo una empresa de extracción de petróleo que de venta de zapatos), estos métodos parecen ser válidos para la fase del proceso de la venta del producto al consumidor (por ejemplo, la localización de una gasolinera).

Como se aprecia, en todas estas acepciones destaca la utilización de información, estadística y análisis espacial para responder a preguntas que coadyuven en la toma de decisiones de las empresas. En este proceso, el *geomarketing* busca de forma concreta apoyar principalmente en las siguientes líneas (Bocalandro y Krauthamer, 2007: 12), algunas de las cuales han sido duramente criticadas:²

- Segmentar y ubicar geográficamente a los clientes, acorde con la oferta de productos, con la finalidad de focalizar los esfuerzos de mercadeo y de localización de nuevas sucursales.
- Identificar puntos de venta, sucursales, distribuidores y competencia.
- Definir rutas óptimas (de distribución y de aprovisionamiento para la producción).
- Determinar los mejores sitios para ubicar nuevas sucursales o proponer la relocalización de las actuales.

Una de las líneas en la que más se ha trabajado es la de la segmentación o caracterización de los clientes actuales y potenciales, debido a que un activo estratégico de las empresas es su cartera de clientes. Así que la gestión adecuada para mantenerla o incrementarla permitirá a las empresas conseguir sus objetivos (Esteban *et al.*, 2008). En este modelo, la localización precisa de clientes actuales y potenciales permitirá a las empresas incrementar el intercambio de valor. Asimismo, para enfocar específicamente las actividades de mercadotecnia de un negocio, además de conocer la ubicación de sus clientes, se requiere agruparlos o segmentarlos, para lo cual se considerarán las variables más relevantes de acuerdo al giro del negocio. La variación de los elementos de un grupo debe ser más pequeña que la variación entre los miembros de distintos segmentos, de tal forma que se pueda entender y predecir el comportamiento de los clientes de un segmento (Alcaide *et al.*, 2012: 27).

La segmentación de los consumidores mediante el estudio de sus valores y los estilos de vida ha adquirido notable importancia en los estudios de *geomarketing* desde los ochenta (Cliquet, ed., 2006). Sin embargo, desde la aparición del modelo de zonas concéntricas de Burgess a inicios del siglo xx —el cual explica la distribución espacial de los grupos sociales en ciudades estadounidenses usando datos del estatus socioeconómico de los hogares (Graizbord, 2008; Harris *et al.*, 2005)—, se han empleado datos geodemográficos para diferenciar los estilos de vida de la población, vinculándolos con su ubicación en el territorio. Y a partir de los setenta, pero principalmente en los noventa, este tipo de análisis se ligó a los estudios de mercadotecnia (Longley y Mateos, 2005).

En la definición de los segmentos se emplea información geográfica, demográfica, psicosociológica y de comportamiento en el consumo. Los datos geográficos nos permiten establecer regiones donde los clientes tienen similares características demográficas de edad, escolaridad, religión, etc., que definen tipologías psicosociológicas (como clase social, estilos de vida) y el comportamiento de consumo (Alcaide *et al.*, 2012), con lo cual se enfocan espacialmente las estrategias de mercadeo o se seleccionan áreas candidatas para la apertura de nuevas sucursales (Doyle, 2001).

Otra línea prioritaria del *geomarketing* es la ubicación y caracterización de la competencia, donde el objetivo principal es encontrar las áreas en las que los competidores no son tan fuertes, de tal manera que se ubiquen nuevas tiendas en esas zonas, incrementando así la cuota de mercado (Douard, 2006). Esto se logra mapeando y visualizando las oficinas de la competencia, o realizando filtros para saber la cercanía o la densidad de la competencia a una distancia o tiempo determinados (Alcaide *et al.*, 2012).

El siguiente gran tema que retoma el *geomarketing* es la localización de sitios para abrir nuevas tiendas/comercios. Al inicio de los ejercicios de localización en los años setenta, se confiaba más en la intuición que en los nacientes modelos de localización-asignación. Los responsables de la toma de decisiones empleaban diversos métodos como a) las listas de comprobación, b) los análisis de similitud o c) las áreas de influencia (aun en la actualidad muchos lo siguen realizando de esta manera). En el primer método (a), se enlistan los factores más relevantes a considerar en la selección de los sitios

² Hacia 1995, Jon Goss hizo una severa crítica a la “revolución tecnológica” que permite recolectar datos espacializados y segmentados sobre hábitos de consumo. Dicho texto es importante considerarlo, dadas las implicaciones éticas involucradas en la práctica de la tecnología de la información geodemográfica.

apropiados para abrir una nueva sucursal. Estos factores se definen de acuerdo con el ámbito y modelo del negocio, aunque hay algunos generales, como la accesibilidad, el potencial de expansión, las condiciones económicas de la población o la presencia de competidores. Todos los factores son calificados con una escala ordinal para cada uno de los sitios alternativos. Las calificaciones obtenidas por cada opción para los distintos factores se suman, de tal modo que el sitio a elegir será el que alcance el valor más alto de la sumatoria.

En el caso de los análisis de similitud (b), se selecciona la sucursal con el mejor desempeño (en número de ventas o ganancias), y se buscan localizaciones con características muy similares a las de la sucursal líder, por ejemplo, ubicada en las cercanías de un gran centro comercial o de un conglomerado de pequeños comercios o alejada de competidores. Este método no busca explicar por qué ciertas tiendas son más exitosas que otras, sino identificar las características del entorno donde se encuentran éstas para ubicarse en zonas con contextos urbanos parecidos (Douard 2006), con lo cual se estimará la actividad económica de la nueva sucursal.

Por último, el método del área de influencia (c), se basa en el modelo de proximidad, el cual considera que, entre más cercano un negocio al domicilio de los clientes, a mayor número de ellos atraerá. Para hacerlo más real, en lugar de la distancia se toman en cuenta los tiempos de recorrido —ya sea caminando o en automóvil—, desde los hogares hasta el comercio. Los clientes se localizan en mapas y etiquetados de acuerdo a sus características de monto, frecuencia y tipo de compras (Alcaide *et al.*, 2012), datos que provendrían tanto de encuestas, como de la información interna recabada por la empresa misma. Toda esta gran línea del geomarketing depende, en gran medida, de un elemento esencial: la disponibilidad de predios y edificios susceptibles de ser transformados para abrir una nueva instalación, elemento cada vez más complicado de encontrar disponible en entornos urbanos altamente consolidados.

Geomarketing y sistemas de información geográfica (SIG)

Muchas empresas se han dado cuenta de que una herramienta fundamental para ser más competitivas es emplear datos internos que ellas mismas generan en sus procesos de toma de decisiones (Chasco, 2003), combinados con datos externos provenientes de diversas fuentes, como las dependencias de gobierno, centros de investigación y universidades o empresas privadas, que les permitan caracterizar su entorno: clientes, competencia, redes de transporte, vialidades, etc. En el caso de México, una fuente fundamental de datos externos para caracterizar el entorno económico y social de las empresas es el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), pues genera y distribuye los censos de población y vivienda, los censos económicos o el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), entre otros. Sin embargo, los datos internos son quizás los más valiosos, pues contienen información que no es compartida por las demás empresas, lo que le da un elemento estratégico. En particular, los datos internos se integran con datos de ventas totales, tipo, frecuencia y cantidad de compras por clientes específicos, nivel de satisfacción, canales de comunicación, dirección postal, etc. (Alcaide *et al.*, 2012: 21-23; Bocalandro y Krauthamer, 2007).

Ambos tipos de datos son la base sobre la que se sustentan los análisis que respaldan la toma de decisiones de las empresas, como los análisis de segmentación de clientes o los de definición de zonas óptimas para la ubicación de nuevas sucursales. Muchos de los datos (internos o externos) utilizados en el marketing, como los demográficos (edad, sexo, nivel económico u otros), los datos de preferencia, o las encuestas de mercado, están ligados a su localización (Doyle, 2001: 86). Es decir, todos están conformados por dos componentes: el espacial, ya que contienen las coordenadas geográficas para ubicarlos en la tierra, y los atributos no vinculados directamente a su localización espacial, los cuales describen las características de los objetos.

Por tal razón, los SIG —según Burrough y McDonnel (1998: 11)— son “un poderoso conjunto de herramientas para coleccionar, almacenar, consultar, transformar y desplegar datos espaciales del mundo real para un particular conjunto de propósitos”, facilitan los análisis para el marketing y permiten responder a través de operaciones espaciales o lógicas a las siguientes preguntas: ¿qué es?; ¿dónde está?; ¿cómo se relaciona con su entorno?, o ¿qué pasa si...? Específicamente, en términos de marketing, se responderán cuestiones de ubicación (de clientes, oficinas propias o de la competencia), de

influencia (qué zonas de la población cubre mi negocio) o de optimización —selección de los sitios más apropiados para la localización de nuevas sucursales o la mejor ruta de distribución— (García, 1997; Alcaide, 2012).

De esta forma, se genera y analiza, en un contexto geográfico, la información relevante para la toma de decisiones de un negocio, como las características (perfil) del cliente o las áreas para la expansión, aprovechando las zonas no cubiertas por el negocio ni por sus competidores (García, 1996-1997).

Mediante los SIG es posible analizar conjuntamente ambos tipos de datos: sobre la ubicación espacial de los objetos (por ejemplo, oficinas propias, clientes, lugares de abastecimiento, competidores, rutas de acceso, etc.) y los atributos de estos elementos. Los diferentes elementos espaciales que se incluyen en un sistema se representan mediante puntos, líneas o polígonos, que en el argot de las ciencias de la información geográfica se conoce como formato vectorial. Estos elementos están conectados mediante relaciones topológicas que permiten definir qué elemento está junto o más cercano a otro, lo cual es indispensable para realizar análisis espaciales y específicamente de marketing (Burrough y McDonnell, 1998).

El otro componente de las bases de datos del SIG son los atributos de los elementos puntuales, lineales o poligonales que no describen su ubicación espacial, pero que almacenan información importante. Por ejemplo, el polígono de una colonia puede contener datos sobre la población total, el rango de edades, el nivel de ingresos, la posesión de automóvil, etc., o un punto que represente un comercio puede tener como atributos asociados el horario de trabajo, la lista de productos y precios, el número de empleados, el tamaño del local, entre otros. Con base en la información espacial, se pueden realizar búsquedas de distribuidores ubicados a una cierta distancia o tiempo de recorrido de una tienda, se pueden encontrar las zonas de influencia de una tienda, o podemos desplegar las tiendas de la competencia (Doyle, 2001).

Actualmente existen en el mercado diferentes tipos de programas informáticos que abarcan módulos de análisis específicos para el desarrollo de las principales líneas del geomarketing; algunos son software propietario; otros, de uso gratuito con restricciones, y otros más con licencias de uso abierto. Entre el software propietario con módulos específicos para determinar áreas de mercado, optimizar ubicaciones o analizar la probabilidad de accesibilidad a un negocio dada su localización espacial, quizás el más popular sea el ArcGIS de la compañía ESRI, el cual contiene módulos de análisis de redes que incluyen modelos de localización-asignación, la posibilidad de visualizar áreas de mercado o la solución de rutas óptimas. Recientemente, se ha agregado un nuevo módulo denominado Business Analyst, el cual, además de correr modelos específicos de asignación-localización y modelos de interacción espacial, permite al usuario utilizar una gran base de datos comercial disponible sólo para Estados Unidos y Canadá, elemento que le da al sistema un gran valor agregado.

Otro software orientado específicamente al geomarketing es el denominado Regiograph, desarrollado por GFK, en Reino Unido. Sin embargo, existen numerosas empresas consultoras que ofrecen el servicio de geomarketing, como Arvato, PitneyBowes (Spectrum Spatial, MapInfo), Intergraph, Tactician, Geoconcept, Opti-time, entre otras.

Además del software propietario, algunas opciones permiten realizar determinados análisis de localizaciones óptimas, como el FlowMap, desarrollado hacia 1990 en la Universidad de Utrecht, Holanda, o Sextante (Sistema EXTremeño de ANálisis TErritorial), desarrollado en la Universidad de Extremadura, España. Este último es una librería de análisis geoespacial, compatible con QGIS, GRASS o gvSIG, el cual contiene módulos específicos para modelar localizaciones óptimas. Otra opción de acceso libre es Localiza!, definido como un sistema de ayuda a la decisión espacial para la localización de equipamientos sociales (y comerciales) desarrollado hacia 2008 en la Universidad de Alcalá de Henares.

Modelos de localización y sus antecedentes

Los análisis de localización de instalaciones dan soporte a la decisión sobre dónde ubicar en el espacio un conjunto de instalaciones (recursos), de tal modo que se minimice el costo y se satisfagan algunas demandas de los consumidores, considerando determinadas restricciones (Bruno *et al.*, 2014; Hale y Moberg, 2003). Los modelos de localización se emplean para distintas aplicaciones: desde identificar la ubicación óptima de una central de abasto, hasta determinar un sitio idóneo para depositar desechos tóxicos. En términos generales, un análisis de localización responde a la pregunta: ¿dónde poner las

cosas? Según Plastria (2002), de esta pregunta derivan dos cuestionamientos: ¿qué lugares están disponibles? y ¿sobre qué base los escogemos? La respuesta a la primera determina la localización espacial; la segunda, define el método a emplear.

El problema de la localización de instalaciones no es nuevo. Éste ha sido abordado por diferentes disciplinas y en distintos periodos. Sin embargo, desde los años sesenta, el número de artículos científicos y el desarrollo de modelos al respecto han crecido enormemente. Hale y Moberg (2003) observan que no existe consenso sobre cuáles han sido las teorías y modelos pioneros dentro de lo que ahora se denomina ciencia de la localización. La bibliografía especializada confirma este planteamiento, apreciándose signos contradictorios en la taxonomía de los modelos. Lo que parece claro es que los modelos de localización parten de la solución a problemas puramente matemáticos, como los formulados por Fermat, Torricelli y Cavalieri en el siglo xvii. Ejemplo de ello es la solución del siguiente problema acreditado a Fermat: “dados tres puntos en un plano, encontrar un cuarto punto de tal manera que la suma de sus distancias a los tres puntos dados sea el mínimo” (Bruno *et al.*, 2014: 84; Eiselt y Marianov, 2011: 6). Aun cuando no existe acuerdo entre los especialistas sobre la autoría del algoritmo que resolvió el problema, este cuestionamiento dio pie a toda una familia de modelos de localización, que se han enriquecido a lo largo del tiempo con otros modelos teóricos, de los cuales expondremos brevemente aquí sus principales aportes.³

Taxonomías y principales aportaciones de distintas teorías a los modelos de localización

En la literatura especializada existen muchas formas de clasificar las teorías y los modelos de localización de las actividades en el territorio. Una bastante comprensiva es la propuesta por Garrocho *et al.* (2003), quienes plantean cuatro enfoques conceptuales que intentan explicar el comportamiento entre oferentes y consumidores:

- a) El enfoque microeconómico (ME).
- b) La teoría del lugar central (TLC).
- c) La teoría de la interacción espacial (TIE).
- d) La teoría de la subasta del suelo urbano (TSSU).

Los modelos de localización de actividades insertos dentro del enfoque microeconómico (ME) se caracterizarían por partir del supuesto de que el objetivo del consumidor es maximizar sus utilidades; mientras que el de los empresarios es maximizar sus beneficios. Estos modelos son a-espaciales, es decir, “no pueden explicar el comportamiento territorial de los agentes económicos” (Garrocho *et al.*, 2003: 31).

Por su parte, los modelos insertos dentro del enfoque de la TLC —desarrollada principalmente por W. Christaller hacia 1933—, buscarían explicar el número, distribución espacial y el tamaño de los asentamientos, partiendo de la localización de las actividades terciarias. Estos mismos autores argumentan que, a diferencia del enfoque microeconómico, la TLC considera los precios reales de los bienes y servicios, dados por el precio de mercado más el costo de transporte.

El tercer macroenfoque conceptual contiene los modelos desarrollados a partir de la TIE, principalmente respaldados por el principio de la gravitación comercial planteado por William J. Reilly en 1931, quien —análogamente al Principio de la gravitación de Newton—, propuso que el flujo de consumidores entre distintas localidades está relacionado positivamente con la cantidad de habitantes de cada localidad y negativamente con el cuadrado de las distancias que las separa.

Una cuarta “familia” de modelos cae bajo el paraguas de la teoría de la subasta del suelo urbano (TSSU), la cual se fundamenta en el concepto de la renta del suelo y determina la localización de las actividades con base en la variación del precio y el uso del suelo.

³ Para una bibliografía extensiva sobre los orígenes y evolución de los modelos de localización, véase la nota a pie de página en Bosque y Moreno, eds. (2012: 73-75).

Garrocho y colaboradores (2003) sostienen que la mayor parte de las teorías y modelos se han desarrollado principalmente para explicar y optimizar la localización de industrias, viviendas y servicios públicos, dejando en segundo plano las actividades comerciales. Si bien es cierta esa afirmación, también lo es que buena parte de los conceptos teóricos formulados para los tres ámbitos principales de estudio han sido reutilizados para el desarrollo de los modelos de localización centrados en la actividad comercial. Enseguida se presenta una sucinta revisión cronológica de los principales modelos de localización y sus mayores aportaciones:

- 1) El alemán Johann Heinrich von Thünen (1826) fue uno de los pioneros en formalizar el estudio científico sobre la mejor manera de organizar la agricultura y el uso del suelo. Bajo un modelo muy simple de la realidad (llanura isotrópica, sistema único de transporte, costos proporcionales a la distancia, un único centro de ciudad y un *hinterland* agrícola) planteó que para cada tipo de cultivo —con diferente rentabilidad por unidad espacial— existía una curva diferente de renta-localización (*location rent curve*). Su principal aporte fue proponer que la renta varía con la distancia al mercado; ello explicaba por qué el suelo tenía diferentes usos (Dicken y Lloyd, 1990).
- 2) El dilema de Fermat es también conocido como el problema de Weber, economista que hacia 1909 transformó el dilema matemático en un problema industrial, en el que se busca una localización (punto P) para establecer una planta industrial de tal forma que se minimicen los costos de transporte, tanto de proveedores (materia prima) como de consumidores (demanda) que requieren diferentes cantidades de producto (pesos). En su modelo de localización industrial, sus principales aportes fueron la introducción del concepto de isodapana o línea que une puntos de igual coste y la formalización del problema espacial del p-mediano, problema que sería retomado más tarde e integrado en los modelos de localización-asignación.
- 3) Richard Hurd desarrolló hacia 1924 un tratado sobre los valores del suelo urbano, donde señala: “Puesto que el valor depende de la renta económica y la renta de la localización, y la localización de la comodidad de acceso, y ésta de la proximidad, bien podemos eliminar los pasos intermedios y decir que el valor del suelo depende de la proximidad” (Hurd citado en Carter, 1974: 263). Su conclusión y principal aportación es que, en las ciudades, la renta del suelo determina la superioridad de la localización, confirmando los hallazgos de von Thünen.
- 4) Paralelamente a Hurd, R.M. Haig desarrolló hacia 1926 sus trabajos de investigación en el ámbito del suelo urbano y la accesibilidad. Él concebía la renta de localización como un pago por la obtención de un ahorro en los costos de transporte (Haig citado en Graizbord, 2008: 57). De acuerdo con Carter (1974) y el propio Graizbord, la principal contribución es la introducción de la noción de la fricción espacial (impedancia). Esto es, a un transporte más eficiente, menores gastos de transporte y menor fricción del espacio.
- 5) El economista Harold Hotelling (1929) fue el primero en introducir el concepto de “competencia” dentro de los problemas de localización (Bruno *et al.*, 2014: 92). Descubrió que existen situaciones en las que la oferta tiende a aglomerarse en determinados puntos del espacio y no a repartirse homogéneamente. La pregunta a responder era ¿no sería más ventajoso que cada punto de venta estuviera separado entre sí, de tal modo que cada uno tuviera una cuota de mercado independiente? En su trabajo “Stability in Competition” manifestó que un competidor ‘A’ que se acerca a otro competidor ‘B’ mantendrá sus clientes habituales y, además, tendrá la posibilidad de captar algunos otros que hayan sido servidos por el competidor ‘B’. Del mismo modo, el competidor ‘B’ tendrá las mismas ventajas que ‘A’. Este concepto ha ayudado a entender muchas de las lógicas de localización que siguen las instalaciones comerciales.
- 6) Hacia 1931, William J. Reilly propuso en *Law of Retail Gravitation (Principio de la gravitación comercial)* un planteamiento teórico análogo a la ley de gravitación de Newton aplicada a la actividad comercial (Mackenzie y Bottum, 1989). Su modelo se basa en una hipótesis que postula que la magnitud de los flujos de consumidores entre localidades se relaciona positivamente con la población residente en cada localidad, y negativamente con el cuadrado de las distancias que los separaba. Dicha formulación, aun cuando ha sido criticada por su extrema simplicidad, ha servido de base para el ulterior desarrollo de los modelos gravitacionales o modelos de interacción espacial (MIE), los cuales fueron “introducidos en la Geografía desde la escuela de la física social sobre la analogía que parecía existir entre la interacción de los grupos humanos y la atracción de masas” (Salado, 2012: 53).

7) En 1933, W. Christaller desarrolló la teoría del lugar central (TLC). Como ya se ha señalado, explica la distribución en el espacio y el número y tamaño de asentamientos a partir de la localización de las actividades terciarias (a mayor tamaño de ciudades, mayor oferta de bienes de primer orden). A pesar de que sus supuestos y argumentos tienen un carácter regional, su principal aporte fue el desarrollo de dos conceptos básicos: el umbral (demanda mínima requerida para hacer viable la oferta de un bien o servicio) y el alcance (distancia máxima o coste de transporte máximo que un consumidor está dispuesto a pagar para adquirir un bien o servicio). La combinación entre umbral y alcance permite establecer dos límites: uno inferior, que delimitaría la demanda mínima para volver viable la oferta, y uno superior o área de mercado, el cual supone la cobertura de la demanda de un mercado específico (Garrocho *et al.*, 2003; Steif, 2013). Este último concepto es indistintamente utilizado actualmente en cualquier ejercicio de geomarketing.

8) Hacia 1939, August Lösch desarrolló el concepto general de equilibrio relativo a un sistema de localización de actividades económicas. Lösch refinó el concepto de la TLC en una concepción de “la naturaleza de las regiones económicas” (Fischer, 2011: 471). Al igual que su antecesor, modeló un área de mercado (basado en la agricultura), donde la demanda del producto depende del precio de éste y el coste de la distancia (precio real). Las diferencias espaciales en la localización también están determinadas por la presencia de la especialización y el efecto de las economías de escala (Carter, 1974). Walter Isard (1956: 48) considera que fue la primera vez que se realizó un intento por abarcar relaciones espaciales generales en un conjunto de ecuaciones, además de que, a diferencia de sus predecesores, como Weber (1909), Lösch presenta un análisis integrado que devendría en el principio del equilibrio general en el espacio (Fischer, 2011: 487).

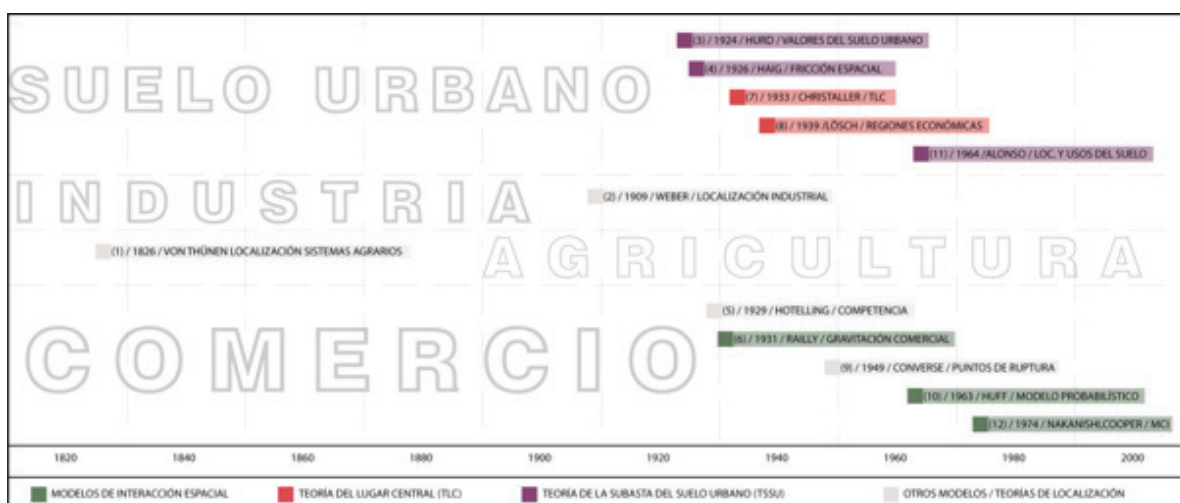
9) En el marco del desarrollo de los modelos de localización para actividades comerciales, otra aportación teórica que alimenta los modelos gravitacionales es el trabajo de Converse (1949), quien revisó las investigaciones de Reilly (1931). De esa labor emanó una definición de los puntos de ruptura (*breaking points*) (Anderson *et al.*, 2010), que determinan el umbral al cual están dispuestos los consumidores a acudir a un punto de oferta en presencia de otro mercado.

10) A principios de los sesenta, David L. Huff (1963) planteó un modelo de áreas de captación de mercado continuas y probabilísticas, más adecuado a entornos intraurbanos que el modelo de Reilly (1931), en el que se superan las premisas normativas, en tanto que ya no se asume que el comportamiento de un consumidor está solamente determinado por la cercanía a un centro de abasto, sino que está definido también por distintos atractivos o cualidades de los puntos de oferta (imagen, calidad, etc.) que reducirían los inconvenientes del coste producido por la distancia (Salado, 2012: 58). El modelo de Huff (que desarrollaremos más adelante) permite, además, tener un estimado de la demanda que acudiría a cada centro y los gastos que ahí se generarían (Berry, 1971: 171), muy similar a los *breaking points* de Converse (1949). El argumento principal que se esgrime como ventaja de este tipo de modelos (probabilísticos) frente a modelos determinísticos (el comportamiento del consumidor es completamente racional, seleccionando siempre la opción más cercana), es que el de Huff representa de mejor manera el comportamiento real de un consumidor urbano, mientras que para áreas rurales donde no existe un gran número de puntos de oferta el modelo de Reilly sigue funcionando adecuadamente. El modelo de Huff se considera entonces probabilístico y gravitacional.

11) Uno de los trabajos fundamentales en el desarrollo de la TSSU y que da sustento a la formalización de la *economía urbana* como campo de conocimiento diferenciado fue el trabajo de William Alonso (1964), quien creó una teoría general de la renta del suelo y la localización, apoyado por su tutor Walter Isard. Alonso parte de los trabajos teóricos de von Thünen en el sentido monocéntrico de su modelo (un solo mercado central). Entre sus aportaciones destaca que, por primera vez, se incorpora al análisis del suelo urbano la cantidad de tierra que cada usuario desea adquirir y el ingreso disponible que se destina para ese fin. Sin embargo, su principal contribución fue formalizar y hacer explícito el problema de la localización de la vivienda, entendido éste como la maximización de la utilidad sujeta a un presupuesto (Graizbord, 2008: 67). Además, desarrolló un modelo que le permitió encontrar diferentes curvas de renta (*bid rent curves*) para cuatro tipos de usos del suelo. Concluyó que las curvas (rectas) de mayor pendiente son las que se localizan en lugares más centrales.

12) La principal crítica al modelo de Huff es que sólo incluye dos variables: la distancia y la capacidad de atracción. Lo anterior plantea la interrogante sobre la posibilidad de aumentar las variables (de entorno, estructura urbana, etc.) que influyan en la probabilidad de que un consumidor j acuda a un punto de oferta *i*. Huff estaba consciente de ello y a mediados de los setenta señaló que estas variables, dada la característica no lineal de estos modelos, se estimarían solamente mediante técnicas econométricas (Cliquet, 2006: 40). Entonces, Nakanishi y Cooper (1974) utilizaron una aproximación de mínimos cuadrados para estimar los parámetros del modelo, de tal suerte que éste se enriqueciera; dicho modelo se conoce como *Multiplicative Competitive Interaction Model* (mci), en cual se integraron otras variables adicionales al tamaño de la tienda y a la distancia, como número de automóviles que posee una familia, imagen del personal que atiende en el comercio, etcétera.

Figura 1. Cronograma con la aparición y evolución de las principales teorías de la ciencia de la localización



FUENTE: elaboración propia.

Principales modelos de localización de actividades usados en *geomarketing*

Salado (2012: 52) —retomando a Handy y Niemeier (1987: 1177)— distingue tres tipos de familias de modelos utilizados en la localización óptima de instalaciones en términos de accesibilidad espacial, los cuales permiten establecer áreas de influencia: medidas de oportunidad acumulada (*cumulative opportunities measures*); modelos gravitacionales o modelos de interacción espacial (*gravity-based measures*) y medidas basadas en la teoría aleatoria de utilidad (*random utility theory based measures*). Aunque los tres incorporan tanto al transporte como a la actividad, ellos difieren en el grado de sofisticación.

Las medidas de oportunidad acumulada cuentan el número de oportunidades (puntos de oferta) alcanzadas dentro de una distancia determinada. Dado que todas las oportunidades son ponderadas de igual manera, sin importar las diferencias en el costo del transporte, estas medidas resaltan el número de potenciales destinos más que su distancia (Handy y Niemeier, 1987: 1177).

El segundo grupo, con mayor complejidad, son los modelos gravitacionales o los basados en la teoría de la interacción espacial (Garrocho *et al.*, 2003; Bosque y Moreno, eds., 2012). Este grupo determina el grado de accesibilidad con base en el tamaño de la oferta y el costo de transporte. A su vez, este grupo se divide en dos tipos de modelos: los determinísticos

y los probabilísticos (Alcaide *et al.*, 2012: 120). Mientras que los determinísticos o normativos asumen que el consumidor tiene un comportamiento perfectamente racional y que siempre tendrá el mismo comportamiento espacial (acudir a un punto de oferta sólo por su cercanía o por su precio), los modelos probabilísticos o causales “consideran que las ventas de un establecimiento se producen como consecuencia de la influencia de una serie de variables” (Alcaide *et al.*, 2012:129).

A este grupo (modelos gravitacionales) pertenece el modelo de Reilly (1931), el modelo de Huff (1963) y sus variaciones. Sin embargo, mientras que el de Reilly-Converse es de corte determinista, el de Huff entra en la categoría de modelos probabilísticos.

En el tercer grupo de medidas basadas en la teoría de utilidad aleatoria entra el modelo MCI de Nakanishi y Cooper (1974) y sus variaciones. Esta teoría “asume que las preferencias entre las alternativas del conjunto de opciones en el proceso de selección discreta se expresa como la suma de dos componentes” (Alcaide *et al.*, 2012: 132): los cuantificables por medio de la observación y los aleatorios (factores que no son observables). Así, los consumidores elegirán la alternativa que les brinde mayor utilidad bajo una ambiente de aleatoriedad. A diferencia de los modelos probabilísticos de utilidad determinística, donde a cada demanda j se le asigna un punto de consumo i , en los modelos probabilísticos de utilidad aleatoria para cada i se tiene un conjunto de n posibilidades de que se elija cada establecimiento. En palabras de Salado (2012: 59): “este último grupo de medidas de accesibilidad [...] evaluaría la utilidad relativa que el usuario obtendría acudiendo a una instalación determinada, frente a la utilidad del resto de posibles elecciones”.

Según Alcaide y colaboradores (2012: 132), los modelos de localización-asignación (o ubicación-asignación) entran en la categoría de la teoría de la utilidad aleatoria. Sin embargo, otros autores (Cliquet, 2006; Eiselt y Marianov, 2011) tienen un tratamiento distinto para esta familia de modelos que, a diferencia de los gravitatorios —que buscan la mejor localización para un nuevo establecimiento—, los de localización-asignación resuelven simultáneamente el problema de la localización óptima (conforme a una función objetivo), como la asignación de usuarios a los mismos (con las restricciones convenientes), y proporcionan una evaluación numérica de las alternativas. En sí, “determinan la localización óptima de los equipamientos y asignan la demanda (usuarios o consumidores a servir) a los puntos de oferta, de los que se deriva la definición de áreas de servicio o áreas de mercado” (Moreno, 2012: 74; Goodchild, 1984: 84).

Modelo de Huff

Es uno de los modelos más comunes entre académicos, analistas de gobierno y empresarios a pesar de sus cincuenta años de existencia. Su amplio uso se debe principalmente a que es “fácil de comprender, su instrumentación es relativamente sencilla y tiene un amplio abanico de aplicaciones” (Huff, 2003: 34). El modelo de Huff se utiliza para determinar la probabilidad de que un cliente (demanda) de un área en particular acuda a comprar a un punto específico de venta (oferta) (Anderson *et al.*, 2010; Salado, 2012: 58). Es un modelo de tipo gravitacional, pues utiliza las nociones de distancia y masa. Es considerado probabilístico porque calcula la probabilidad P_{ij} que un consumidor situado en un punto i realice sus compras en una tienda j considerando la siguiente fórmula:

$$P_{ij} = \frac{\frac{S_j}{T_{ij}^\beta}}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{S_j}{T_{ij}^\beta} \right)}$$

donde:

T_{ij} es el tiempo de viaje o distancia desde el origen de un punto de demanda hasta el destino de la oferta en particular

S_j es el tamaño de la tienda, medidos en metros cuadrados de área de venta

β es un valor empírico estimado que refleja el efecto de la distancia en el tiempo para distintos tipos de compras (fricción de la distancia).

Este modelo se basa teóricamente en el axioma de Luce (1959), el cual plantea que las personas seleccionan de manera probabilística los lugares a los que suelen acudir a abastecerse, con base en la utilidad que les proporciona un lugar con relación a todos los demás (Alcaide *et al.*, 2012: 130). Alcaide y colegas señalan que las críticas hechas al modelo original de Huff son similares a las del modelo de Reilly (1931), en el sentido de ser demasiado simples, por considerar solamente dos variables (tamaño y distancia) para explicar la atracción que ejercen los centros sobre los potenciales consumidores. Por su parte, Cliquet (2006) agrega, como limitaciones adicionales del modelo, la precondition de homogeneidad en el comportamiento tanto para consumidores como para tiendas, y las estimaciones empíricas poco satisfactorias para el coeficiente β .

Modelo MCI

El modelo de interacción competitiva (o MCI) se considera una evolución del modelo de Huff (1963) y se incluye dentro de la TIE y de la teoría de utilidad aleatoria (Cliquet, 2006; Baviera-Puig *et al.*, 2013). Como ya se señaló, fueron Nakanishi y Cooper (1974) quienes lo desarrollaron, con la finalidad de aumentar el número de variables independientes, además de la distancia y la masa utilizadas en el modelo de Huff. Se argumentó que la distancia no sería la única explicación sobre la atracción comercial. Algunos autores (Cliquet, 2006; Bosque y Moreno, eds., 2012; Alcaide *et al.*, 2012) esgrimen que, a pesar de ser muy potente el modelo, su implementación es difícil, dada la complejidad de medición e integración de las variables subjetivas. Sin embargo, una de sus fortalezas radica en que cuenta con la propiedad de la independencia de las alternativas irrelevantes (Independence of Irrelevant Alternatives, IIA), que significa que un nuevo establecimiento competirá “de igual manera con los establecimientos existentes en base a sus atributos” (Baviera-Puig *et al.*, 2013: 6).

Este modelo toma en cuenta la distancia entre los puntos de demanda y los puntos de oferta de la siguiente manera:⁴

$$P_{ij} = \frac{\prod_{k=1}^q (X_{kij} \beta_k)}{\sum_{j=1}^m \left[\prod_{k=1}^q (X_{kij} \beta_k) \right]}$$

donde:

⁴ Véase Baviera-Puig *et al.* (2016: 1206) para observar otra representación del modelo MCI, donde la distancia se hace explícita.

P_{ij} es la probabilidad de que un consumidor que viva en i escoja la tienda j

X_{kij} es la variable k ésima que describe al objeto j en una situación i

β_k es un parámetro de sensibilidad relativa a la variable k

m es el número de tiendas o alternativas para escoger

q es el número de variables (Cliquet, 2006: 144).⁵

Como se observa en la ecuación, el MCI toma en cuenta la localización sin que la distancia forme parte de la ecuación. La variable de la distancia se integraría en el modelo, pero sin ninguna certeza. “En otras palabras, la espacialidad del modelo está siempre implícita, ya que el indicador i representa las celdas de división geográfica, y puede hacerse explícita si la distancia entre la vivienda del consumidor y la tienda es incluida. Es por ello que con dificultad puede uno describir a los MCI como modelos gravitacionales” (Cliquet, 2006: 145).

Modelos de localización-asignación (o ubicación-asignación)

Como ya se ha señalado, la principal diferencia entre los modelos gravitacionales y los modelos de localización-asignación radica en que, mientras los primeros se ocupan de encontrar la mejor localización para un equipamiento, los segundos abordan el problema de la localización simultánea de múltiples establecimientos, al tiempo que buscan optimizar la asignación de la demanda a los puntos de oferta. “El problema de localización-asignación es ubicar un conjunto de nuevas instalaciones, de tal modo que los costos de transporte desde las instalaciones a los consumidores sea minimizado, al tiempo que se ubica un número óptimo de instalaciones en el área de interés con el objetivo de satisfacer la demanda del consumidor” (Azarmand y Neishabouri, 2009: 83).

Estos modelos primeramente se utilizaron para localizaciones industriales, y posteriormente retomados para la localización comercial. Según Ghosh y McLaffery (citados por Cliquet, 2006: 149), los modelos de localización-asignación nacieron como respuesta al histórico dilema planteado por Weber (1909) acerca de dónde localizar el centro de producción, de tal manera que se minimizara la distancia entre éste y las fuentes de materias primas (*p-mediano*). Parece ser que el primero en acuñar el término location-allocation fue Leon Cooper en 1961. En “Location-Allocation Problems” Cooper (1963) presentó algunas ecuaciones y un método heurístico⁶ para resolver determinados problemas locacionales. Realizó un esfuerzo por generalizar el problema, planteándolo de la siguiente manera: “dados: la ubicación de cada destino, los requerimientos de cada destino, y un conjunto de costos de transporte, determinar: el número de fuentes, así como la ubicación y capacidad de cada fuente” (Cooper, 1963: 331).

⁵ Para conocer el desarrollo completo del modelo, véase Baviera-Puig *et al.* (2013: 9), o la fuente original en Nakanishi y Cooper (1974).

⁶ Los problemas de localización-asignación, debido a la complejidad de sus modelos matemáticos, se resolverían exactamente en problemas de tamaños pequeños. Sin embargo, para problemas con múltiples localizaciones, se utilizan métodos heurísticos o aproximativos para su resolución (Eiselt y Marianov, 2011: cap. 15).

Según Cliquet (2006), los principales componentes de los modelos de localización-asignación son

- Una función objetivo a ser optimizada, de acuerdo con los diferentes sitios posibles (problema de optimización).
- Áreas de demanda reducidas a un centroide, donde la demanda de bienes y servicios se concentra.
- Los posibles sitios de localización basados en la accesibilidad y la infraestructura.
- Una matriz de distancia o tiempo de acceso.
- La(s) regla(s) de asignación de la demanda a la oferta, o la manera en que los consumidores escogen de entre las ubicaciones de oferta propuestas.

Moreno (2012) clasifica estos modelos de localizaciones óptimas desde dos ángulos: 1) los modelos que buscan la ubicación óptima para instalaciones deseables (que se describen a continuación), y los que buscan la ubicación óptima para instalaciones no deseables (por ejemplo, un basurero o un cementerio radioactivo),⁷ y 2) la segunda clasificación se refiere al tipo de objetivo que busca el modelo: eficiencia, equidad espacial, cobertura espacial, etc. Otra aproximación es la de Bach (1980), quien clasificó los diferentes tipos de modelos en tres: los que buscan minimizar la fricción del espacio; los que buscan maximizar el uso de las instalaciones centrales, y los que buscan maximizar la oportunidad de acceso a las instalaciones.

Los modelos más usuales en *geomarketing* están enmarcados principalmente en dos objetivos: la búsqueda de la eficiencia y la búsqueda de la cobertura espacial. En este artículo, solamente presentamos algunos de los modelos más utilizados en el ámbito de la localización comercial.⁸

P-mediano o Minisum

El problema del *p-mediano*, busca encontrar las localizaciones óptimas más convenientes para los usuarios, minimizando la distancia media que tienen que recorrer (Alcaide *et al.*, 2012: 133): “dado un número de centros de servicio a instalar, averiguar de entre los desplazamientos posibles el conjunto que minimizaría el desplazamiento total de los usuarios, asignándolos al centro más próximo” (Moreno, 2012: 75). Hakimi (1964) fue el primero en tratar con este problema en particular: su tarea consistía en encontrar la ubicación exacta de un centro de transferencia en una red de telecomunicaciones, de tal manera que el total de la extensión de los cables (de la red telefónica) fuera el mínimo y, por ende, se redujeran costos de operación.

En su trabajo, hace una analogía con el problema de la localización óptima de una estación de policía u hospital, donde el problema se traduce en encontrar la ubicación óptima de la estación (o estaciones), de tal suerte que la distancia total hacia “P” sea la mínima. Este problema puede ser formulado para espacios continuos (donde es denominado *minusum*), o para espacios discretos —como una red de transporte formada por arcos y nodos—, denominándosele como *p-mediano*. Según Moreno (2012: 79), la diferencia radica en cómo se miden los costos de transporte.

Este tipo de modelos es pertinente cuando se busca minimizar el desplazamiento necesario para conectar la oferta con la demanda en un escenario de una limitación presupuestal. Por ejemplo, un negocio de pizzas con reparto a domicilio buscará ubicar sus instalaciones de modo que se minimice el desplazamiento total de los repartidores a los distintos domicilios (coste), asignándolos al centro más cercano, dado un presupuesto específico para la apertura de tiendas de la cadena.

⁷ Para problemas de localización de instalaciones no deseables, véase Emmanuel Melachrinoudis (citado en Eiselt y Marianov, 2011: 207).

⁸ Para mayores detalles de los modelos mencionados, se recomienda Bosque y Moreno (2012); para una historia de su evolución, Hale y Moberg (2003); mientras que para los modelos de maximización de la accesibilidad, véase Bach (1980).

El modelo matemático que soluciona este problema es el siguiente:

$$\text{minimizar } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_i t_{ij}^{\beta} x_{ij}$$

donde:

i es el índice de los puntos de demanda; j es índice de los sitios candidatos para ubicar instalaciones; d_i es la demanda en el lugar i ; t_{ij} es el coste de transporte entre el punto de demanda del punto i al punto de oferta j ; x_{ij} toma el valor de 1 si el punto de demanda i es servido por el punto de oferta j y 0 en otro caso; β es el coeficiente empírico de fricción de la distancia (generalmente toma valores entre 1 y 2) (Salado, 2012: 54).

Esta ecuación persigue minimizar el valor Z resultante de sumar, tanto para cada lugar de demanda i , como para todos los lugares candidatos j , el producto de la demanda d_i por el costo de transporte t_{ij} , desde cada punto de demanda al punto de oferta más próximo (Moreno, 2012: 76). La anterior es una función objetivo que debe desarrollarse mediante la generación de una matriz origen-destino. Este modelo ha sido reformulado y expresado por varios autores desde mediados de los setenta a la fecha. Es un tipo de problema que se resuelve mediante programación lineal, en el entendido de que para encontrar una solución óptima en tiempos razonables es necesario una aproximación por métodos heurísticos.

Maximizar la cobertura

Fue originalmente formulado por Church y ReVelle en 1974 (Snyder, 2011: 119). Este tipo de problema trata de ubicar las instalaciones de modo que se asignen a éstas el máximo número de puntos de demanda, cumpliendo al mismo tiempo con una restricción de un radio máximo de distancia o un tiempo de recorrido límite entre la demanda y el punto de oferta, asignando la demanda siempre al centro más próximo. El problema se formularía de la siguiente manera: “Maximizar la cobertura (población cubierta) dentro de una distancia deseada de servicio S localizando un número fijo de instalaciones” (Church y ReVelle, 1974: 102). Este problema también es conocido como *Maximal Covering Location Problem* (MCLP). Se utiliza sobre todo para instalar equipamientos públicos, aunque también tiene aplicación para instalaciones comerciales, por ejemplo, para una pizzería que reparte a domicilio funcionaría bien, ya que se buscaría cubrir la mayor parte de la demanda potencial en el menor tiempo posible. Existen distintas variaciones de este algoritmo (Moreno, 2012: 88), aunque su formulación general sería la siguiente:

$$\text{maximizar } F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m d_i t_{ij} x_{ij}$$

En el caso donde exista una restricción de un radio máximo establecido R , entonces $t_{ij} = 1$ si $t_{ij} \leq R$ y $t_{ij} = 0$ si $t_{ij} > R$. Así, cuando la restricción se rebasa, se anula la demanda de los lugares que estén más lejos del radio determinado.

Como variación de este modelo, cabe mencionar el desarrollado por Current y Storbeck (1988), denominado Maximización de la Cobertura Máxima Capacitada (o *Capacitated Maximal Covering Location Problem*, CMCLP), en el cual los puntos de demanda son asignados a las instalaciones (oferta) ubicadas dentro del radio determinado y donde dichas instalaciones no pueden exceder la capacidad demandada de esa instalación. Por ejemplo, la capacidad instalada de un cine está determinada por el número de asientos y el número de funciones por día; dicha capacidad no puede ser excedida por la demanda acumulada de los sitios de demanda. Es una variación muy útil porque permite aproximar el modelo a la realidad de la dinámica comercial.

Maximizar la demanda en un entorno de competencia

Goodchild (1984) propuso un modelo denominado *Interactive Location-Allocation in Continuous Space* (ILACS), en el que se plantea la maximización de la demanda captada por los servicios ofertados, asignando la demanda al centro más próximo, bajo la presencia de establecimientos competidores. A este modelo también se le denomina de captura máxima (*maxcap*), término acuñado por ReVelle en 1986 (Moreno, 2012: 93). En este modelo se distinguen tres tipos de tiendas: las existentes, las candidatas (tiendas nuevas a abrir, cuya ubicación debe ser optimizada) y las competidoras. Moreno plantea el enunciado del problema de la siguiente forma: “dada la existencia de un número de establecimientos en una localización conocida y fija, averiguar de entre los sitios posibles qué conjunto de ellos lograría capturar la máxima demanda para la nueva empresa entrante, en competencia con las ya existentes”. Este modelo y sus desarrollos posteriores han sentado las bases para generar otros que permitan aproximar el éxito o fracaso de la ampliación, por ejemplo, de una cadena comercial, frente a un mercado donde ya existe competencia.

Otros modelos

Además de los ya mencionados, existe un sinfín de modelos de localización-asignación en constante evolución y desarrollo, que buscan hacer más realista el comportamiento del consumidor dentro del modelo. Hay, por ejemplo, *modelos con demanda elástica*, en los que se intenta representar la sensibilidad de la conducta del consumidor frente al coste del desplazamiento; o modelos con *asignación probabilística de la demanda* a las instalaciones comerciales, retomando los conceptos básicos de Huff y buscando más realismo que el determinismo implícito en asignar la demanda al centro más próximo. Esto es, del mismo modo en que hubo un salto evolutivo en el modelo de Huff al modelo MCI, en los modelos de localización-asignación se busca transitar de modelos deterministas a modelos probabilísticos que incluyan como vectores de la ecuación las pautas en el comportamiento del consumidor.

Aplicación de modelos de localización en sistemas de información geográfica (SIG)

Modelo de Huff

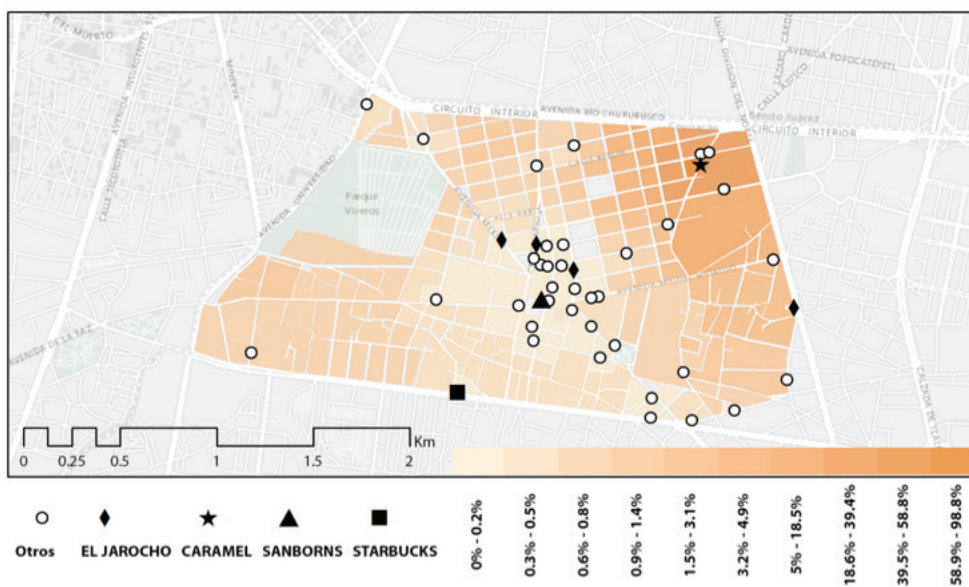
A continuación se presenta la implementación del modelo de Huff dentro de un ambiente SIG. Nuestro caso de estudio corresponde a la localización de cafeterías en el área central de Coyoacán, Ciudad de México. El polígono que delimita el sistema a analizar comprende las colonias centrales de dicha demarcación, cuyos límites perimetrales están conformados por grandes avenidas que dificultan el acceso exterior al sistema (figura 2).

En la implementación de este ejercicio se utilizó el *script* desarrollado por Drew Flater en 2010 para la compañía ESRI, denominado *Market Analysis Toolbox*. Esta rutina es una extensión del ArcGIS,⁹ utilizada para:

- 1) Delinear probabilidades de asistencia a una instalación determinada dada su capacidad de atracción y la distancia a los puntos de demanda.
- 2) Generar áreas de mercado y observar el impacto ellas dada una nueva instalación comercial propuesta.
- 3) Pronosticar el potencial de ventas dadas las características de los puntos de demanda.

⁹ Para utilizar esta rutina, conviene tener instalado ArcGIS 9.3 o superior, con licencias para realizar análisis espaciales y de redes. Para su instalación, referirse al manual incluido en el archivo de la rutina. Se recomienda familiarizarse con el script y la información que utiliza (aproximadamente media hora) para comprender cabalmente el ejercicio (en <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=f4769668fc3f486a992955ce55caca18>).

Figura 2. Mapa que muestra la probabilidad de acudir a la cafetería Caramel, desde cualquier manzana del centro de Coyoacán



FUENTE: elaboración propia, con información del INEGI (2012).

Obtención y preparación de los insumos del modelo

El primer paso es preparar la información geoespacial con la que se alimenta el modelo. De la base de datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) 2012 se extrajeron las instalaciones de interés (puntos de oferta): en este caso, las 46 cafeterías ubicadas dentro del polígono del centro de Coyoacán. Esta base de datos está conformada por puntos georreferenciados que contienen, entre otros campos, el nombre del establecimiento y el rango de número de empleados. Esos campos son los que utilizaremos en este ejercicio. Dado que el modelo se basa en la atracción que ejerce un punto de oferta sobre los puntos de demanda del sistema,¹⁰ se debe seleccionar o agregar un campo que determine el nivel de atracción de cada punto de demanda. En este caso utilizamos la mediana del rango de empleados como proxy de la capacidad de atracción.¹¹

Para los puntos de demanda, es decir, los que representan la población que potencialmente acudiría a los puntos de oferta a “comprar café”, se filtraron las manzanas y la información relevante de la población que contiene para el área central de Coyoacán. Esta información proviene del Sistema para la Consulta de Información Censal (Scince, 2010) del Distrito Federal, descargable gratuitamente en <www.inegi.gob.mx>. Para determinar el “potencial de ventas” de cada cafetería, necesitamos segmentar el tipo de población que vive en esas manzanas y que potencialmente pague por tomar café. Estudios recientes han argumentado que la población a utilizarse debe ser aquella mayor a quince años, pues en rara ocasión los niños toman café en México.¹²

¹⁰ Véase el apartado sobre el modelo de Huff, uno sencillo, pero que brinda al responsable de la toma de decisiones elementos iniciales para un análisis posterior más detallado.

¹¹ Esta atracción sería la superficie total de venta, la ganancia mensual, la capacidad, etcétera.

¹² Un estudio más detallado consideraría condiciones socioeconómicas, el precio del café en los puntos de oferta, el gusto por determinado tipo de café, entre otros aspectos.

Adicionalmente es obligatorio crear un “polígono” del área de estudio. Dicho polígono lo utiliza el *script* para realizar interpolaciones en el caso que se solicite generar superficies de probabilidad. El *script* requiere este polígono, aun cuando no deseemos generar estas superficies. En este caso, unimos las colonias que conforman nuestro sistema en un solo polígono, mediante la instrucción ‘dissolve’ de ArcGIS.

Introducción de datos en el modelo

Una vez instalada la herramienta, procedemos a ejecutarla e introducir en el cuadro de diálogo la información previamente preparada. En ‘*store locations*’ introducimos nuestra capa de puntos de demanda de cafeterías. En ‘*Store Attractiveness Field*’ seleccionamos el campo ‘empleados’ de la capa de puntos de cafeterías. En ‘*Study Area*’, seleccionamos el ‘polígono de área de estudio’ resultante de la unión de las colonias que conforman nuestro sistema (puede realizarse manualmente este polígono, dibujando el área que incluya tanto a la demanda —manzanas— como a la oferta —cafeterías—).

En la sección *Distance Calculation* podemos utilizar una red de calles previamente creada, o dejarla en blanco. Para este ejercicio se dejó en blanco, por lo que la distancia entre los puntos de demanda y los de oferta se calcula empleando la distancia euclidiana. *Search Radius Constraint* es el radio máximo para el que se calculará la probabilidad de asistencia a un punto de demanda. Si se deja en blanco, la distancia máxima será el límite del sistema. En el apartado *Huff Model Options* dejamos el coeficiente de fricción beta con valor a 2, pudiendo variar entre 1 y 3. A mayor valor, mayor decaimiento por la distancia. El campo *Generate Market Areas* debe modificarse después de la introducción de los datos en el apartado *Origin Locations and Sales Potential*. En este último campo seleccionamos la capa de ‘manzanas’, la cual fungirá como la de demanda del servicio. Para determinar el potencial de ventas, introduciremos en el campo *Sales Potential Field* el campo de ‘población’ proveniente de la capa manzanas. Este campo consigna la población residente en cada una de éstas, mayor a quince años y que plausiblemente determinará el potencial máximo de ventas. Regresamos al campo *Generate Market Areas* y seleccionamos la opción *Origins*. Al hacerlo, el *script* nos generará una base de datos con un campo que consigna el área de mercado de cada cafetería para cada manzana. Si se desea generar ‘superficies de áreas de probabilidad’ mediante técnicas de interpolación, se deberá escoger la opción *Generate Probability Surface*. Éste es un mapa en formato raster que asigna a cada pixel un valor probabilístico de asistencia a un punto de oferta, dependiendo de la distancia de cada punto de demanda y a la atracción de la oferta. Finalmente, en el apartado *Potential Store Modeling* agregamos una localización adicional (candidata) de una tienda de café para observar cómo se modificarían las áreas de mercado en presencia de un nuevo punto de oferta.

Resultados e interpretación

Una de las salidas generadas por el *script* del modelo de Huff es un campo de probabilidad de asistencia para cada punto de oferta, desde cada punto de demanda (figura 3). En este caso, sólo mostramos el resultado de una de las 46 cafeterías analizadas. Como se observa, la cafetería Caramel tiene la mayor probabilidad de asistencia próxima a su ubicación; mientras que, en general, ésta disminuye conforme aumenta la distancia. Sin embargo, debido a la fuerte presencia de competencia en el área central de Coyoacán, donde se ubica un Sanborns, tres cafeterías El Jarocho y otras menos importantes, la menor probabilidad no se localiza en las manzanas más distantes, sino que se ubica donde hay mayor competencia.

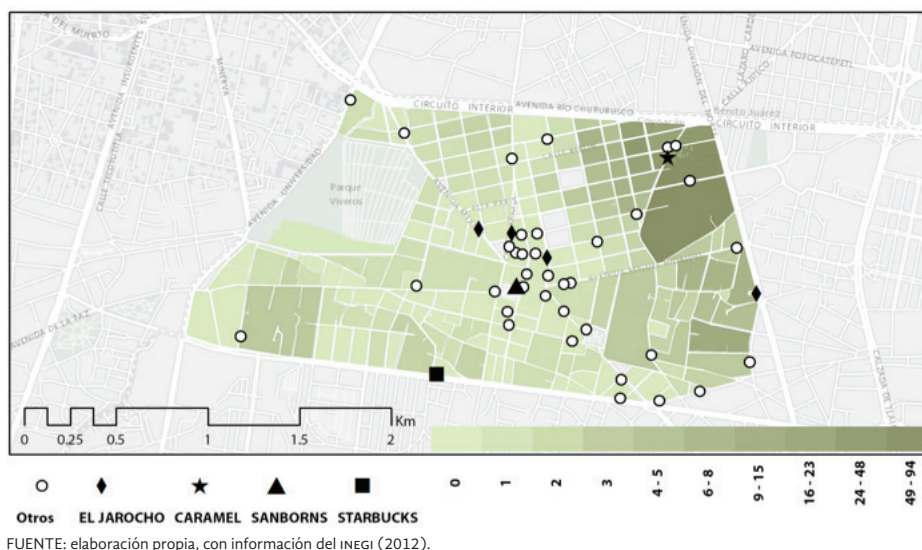
El hecho de que existan manzanas lejanas con mayor probabilidad de acudir a Caramel que las más cercanas, pero ubicadas en la zona de mayor competencia, es un indicador de la posibilidad de aumentar la cuota de mercado en una zona con poca oferta del servicio. La segunda salida del modelo se refiere al potencial de ventas generada para cada uno de los puntos de oferta. La figura 3 muestra este potencial para la misma cafetería Caramel, resultante de la multiplicación de la población que reside en cada manzana (con edad para tomar café), por la probabilidad de acudir a dicho punto de oferta.

En este caso, se aprecia claramente que existe una manzana (lado inferior izquierdo) que alberga mayor potencial que las manzanas centrales, atribuido tanto a la probabilidad como al número de posibles clientes. Dada la baja competencia

que muestra esa zona, se plantea una posible apertura de una nueva tienda Caramel que aumente su área de mercado (figuras 4a y 4b). La ampliación de dicha área está dada por un supuesto aumento del número de empleados de esa hipotética sucursal.

Como hemos visto, esta simple herramienta permite hacer conjeturas generales sobre el comportamiento del mercado con datos espacializados. A pesar de las críticas acerca de su simplismo, este modelo es muy útil como una primera aproximación al problema de la localización de nuevas instalaciones.

Figura 3. Mapa del potencial de ventas de la cafetería Caramel por número de clientes de cada manzana



Modelos de localización-asignación: problema del p-mediano

Para ejemplificar un modelo de localización-asignación, seleccionamos el *p-mediano*, pues es un tipo de problema aplicable tanto para servicios públicos como para la localización de instalaciones comerciales. Recordando el apartado sobre el *p-mediano* (o *minisum*), se expresaría de la siguiente manera: dadas diversas instalaciones a ubicar, averiguar —de entre los desplazamientos posibles— el conjunto que minimizaría el tiempo, desplazamiento o costo total de los usuarios, asignándolos al centro más próximo. En este problema, se asume lo siguiente: la demanda acudirá al centro de oferta más próximo; si se establece una restricción de distancia o tiempo máximo de desplazamiento, la demanda que quede fuera de ésta no se asignará a ningún punto de oferta; la demanda que quede dentro del radio de dos o más instalaciones se asignará en su totalidad a la instalación más cercana. En este problema no importa la capacidad de la oferta, pues lo que se busca es minimizar la distancia a recorrer.

Supongamos, para este caso, que la empresa de café Caramel tiene un presupuesto extraordinario para abrir una nueva tienda que amplíe su área de mercado en la misma zona del centro de Coyoacán. Para ello ha contratado a una empresa de bienes raíces que le ha seleccionado cuatro sitios factibles, con características adecuadas para albergar una nueva tienda.

La figura 4a (superior) muestra las áreas de mercado de las cuatro principales cadenas y del resto de competidores. La 4b (inferior) muestra para las cuatro principales cadenas las áreas de mercado modificadas por la introducción de una nueva sucursal de la cafetería Caramel, aumentando considerablemente el área de mercado de esta cadena.

Figuras 4a y 4b. Mapas de áreas de mercado



FUENTE: elaboración propia, con información del INEGI (2012).

De estos cuatro sitios, se seleccionará el que minimice la distancia a recorrer por parte de los usuarios para adquirir un café (no más de quinientos metros) y que maximice la demanda al nuevo punto de oferta. La empresa ha decidido que la nueva tienda responderá más a un público local, que se desplaza caminando por el barrio, que a visitantes de fuera, principalmente debido a la incertidumbre que genera la puesta en marcha de parquímetros en toda la zona y que reducirá potencialmente a los clientes que se desplazan en automóvil.

Para la resolución de este problema, se usó el módulo *Network Analyst* de ArcGIS 10.1, por lo que es necesario contar con la licencia de esta herramienta para correr los modelos de ubicación-asignación (véase <<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//004700000500000000>>). Dentro del módulo *Network Analyst* o Análisis de Red existen varios tipos y familias de análisis, una de las cuales es denominada *Location-Allocation* (Asignación-Ubicación), que integra distintos tipos de problemas de optimización y cuyos modelos hemos descrito brevemente en apartados previos. Una de las principales características de esta familia de análisis en el ArcGIS es que resuelve los problemas utilizando la distancia en “red” y no la distancia euclidiana o manhattan (Salado, 2012: 63; guía de ArcGIS), generando resultados más “apegados a la realidad”. Su *handicap* es que resulta necesario preparar una red de calles que sirva de base para que el algoritmo computacional mida las distancias entre los puntos de demanda y los de oferta.

Obtención y preparación de los insumos del modelo

Se utilizaron los mismos datos preparados para el modelo probabilístico de Huff, más una red de calles para la Ciudad de México, sobre la que se medirán las distancias. Hay varias maneras de preparar una red de calles,¹³ pudiendo redibujarse a partir de ortofotos, o transformando bases de datos colaborativas en una network dataset (ND), ésta consiste en un conjunto de datos de red, que consta principalmente de nodos (puntos que pueden ser intersecciones de calles, semáforos, edificios, barreras, etc.), arcos (líneas que representan calles o barreras) y polígonos (poco usados en análisis de redes). Cada elemento de la red tiene atributos asociados, por ejemplo, la altura en el espacio de dicho elemento, como en el caso de cruces de calles sin intersección (con puentes o túneles). Otros atributos de los elementos de la red son la longitud de los segmentos de calles, la velocidad promedio a la que transitan los diferentes modos de transporte, los sentidos, las restricciones para dar vueltas en “U”, entre otros aspectos.

Para este ejercicio se elaboró una ND partiendo de los datos colaborativos que se descargan gratuitamente de Open Street Maps (OSM).¹⁴ Para obtener los datos relativos a la Ciudad de México y prepararlos como una red, una posibilidad es acceder al sitio <<http://extract.bbbike.org/>> y seleccionar el área geográfica para la cual se desea obtener la información. Una vez delimitada el área de interés, en este caso el centro de Coyoacán, se procede a descargar la información, que obtiene en diversos formatos vectoriales. Para este ejercicio utilizamos el formato PBF, que debe convertirse al formato OSM (formato nativo del Open Street Maps) mediante un convertidor de archivos descargable en el sitio <<http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Osmconvert#Download>>.

Después de la conversión, se genera la ND a partir de ese archivo. Para ello instalamos previamente un gestor y editor gratuito del formato OSM dentro del ArcGIS, que nos permite transformar el OSM en una ND. Esta herramienta (toolbox) se descarga gratuitamente en <<http://esriosmeditor.codeplex.com/releases/view/98978>>. Para ejecutarla buscamos dentro de ArcToolbox la herramienta Open StreetMap Toolbox y corremos el *script* Create osm Network Dataset para generar nuestra red ND.¹⁵

Introducción de datos en el modelo

En el ArcGIS debemos activar la herramienta *Network Analyst*. Una vez activada, introduciremos las capas de información que utilizaremos para correr el modelo: la ND creada, los puntos de oferta de cafeterías y los puntos de demanda creados para el ejercicio anterior. Toda la información debe estar en el mismo tipo de proyección geográfica, por ejemplo, UTM 14N.

La información base para el modelo aparecerá en la ‘Tabla de contenidos’ (*Table of Contents*), pero ésta deberá introducirse al tipo de problema de ubicación-asignación que se elija. En el panel *Network Analyst*,¹⁶ introduciremos paulatinamente la información que alimentará el modelo. Lo primero es seleccionar un nuevo análisis de localización-asignación. Para ello desplegamos, dentro de la barra de herramientas ‘*Network Analyst*’, la pestaña homónima y seleccionamos una nueva ‘*Location-Allocation*’. Se abrirá una nueva ventana en la que aparecerán los tipos de datos que alimentarán el modelo: *Facilities* se refiere a los puntos de oferta, en este caso las cafeterías, que pueden ser de tipo Requerido (Required), Escogido (Chosen), o Candidato (Candidate). Las candidatas son instalaciones sobre las que el modelo escogerá las “óptimas”, de acuerdo al problema planteado; las “requeridas” son las instalaciones existentes; las escogidas son las instalaciones óptimas que devuelve el modelo. Primero introducimos las cafeterías existentes en *Facilities* asignándoles el tipo “Requeridas”, en este caso 46 puntos (cafeterías). Posteriormente, agregamos también las cuatro opciones que nos presentó “la compañía de bienes raíces” para abrir una nueva tienda.

¹³ Para mayor información sobre cómo preparar y usar redes de calles, véase el manual de ArcGIS

¹⁴ La calidad de la red creada (ND) dependerá, en gran medida, de la calidad de los datos de origen.

¹⁵ Para crear la red y determinar sus parámetros, véase la guía disponible en <<http://esriosmeditor.codeplex.com/wikipage?title=Create%20a%20Network%20Dataset%20from%20OSM%20Data>>, la cual brinda ayuda, paso a paso, para crear una ND a partir de datos OSM.

¹⁶ Revisar la guía de ayuda de ArcGIS referida para problemas de ubicación-asignación para introducir los datos espaciales al modelo.

Para lo anterior, en la ventana de la herramienta de *'Network Analyst'* seleccionamos *Create Network Location*, comando que nos permite crear nuevos puntos en la red y que, de manera predeterminada, les asigna la función de *Candidates*. En la ventana de *Network Analyst* aparecerán los cincuenta puntos (cafeterías establecidas más los puntos candidatos). En *Demand Points* debemos introducir los puntos de demanda que se refieren en nuestro caso a las manzanas. Como el análisis de redes utiliza puntos para determinar la localización de la demanda, debemos antes convertir nuestras manzanas a una capa de puntos, utilizando el comando *Feature to Point*.

De esta forma se crea una capa de puntos con los centroides de las manzanas, conservando la información sobre la población residente. El resultado de esta operación se agrega a *Demand Points*, asignando el valor de la población al campo de *Weight* (peso). Esto es muy importante, pues el algoritmo buscará asignar el total de la demanda (peso) a la instalación más cercana. Para finalizar la introducción de datos, debemos agregar las barreras u obstáculos de la red (ND). En la misma ventana *Network Analyst* asignamos a los *Barriers Points* los puntos de obstáculo provenientes de la red (generalmente denominados *_nd_barriers), y que constituyen elementos que impiden la libre circulación por la red, como plumas en calles cerradas y otros obstáculos detectados por la comunidad que alimenta los mapas colaborativos OSM. Del mismo modo, se introducen las barreras de línea, como una línea de bus confinada y que limitaría el acceso de un lado al otro de la calle, bajo un supuesto de análisis de la red en modo automotor.

En función de que en nuestro caso analizaremos la movilidad en la red bajo la perspectiva pedestre y dado que estamos utilizando como restricción la distancia y no el tiempo, los elementos de barrera no son tan relevantes para el cálculo. El resultado de los datos introducidos al modelo se presentan en la figura 5a.

El siguiente paso es configurar el tipo de análisis a realizar dentro de la familia *'location-allocation'*. En nuestro caso, escogemos *'P-median'* dentro de *'Location-Allocation Properties'*. En este nuevo cuadro de diálogo, debemos, además, determinar el radio o distancia para el cual estamos realizando el análisis. En la pestaña *'Advances Settings'* seleccionamos el tipo de problema a escoger (*minimize weighted impedance p-median*); determinamos para cuántas instalaciones el algoritmo realizará los cálculos (*Facilities to choose*; en este caso 47, debido a que tenemos 46 cafeterías ya instaladas y deseamos que de las cuatro candidatas el algoritmo escoja una en la que el total de la suma de las impedancias ponderadas, es decir, la demanda asignada a una instalación multiplicada por la impedancia hacia la instalación, sea minimizada); determinamos el radio o umbral al cual el algoritmo deja de ejecutar el cálculo (en este caso, 500 m, pues suponemos que es la máxima distancia que alguien está dispuesto a caminar para comprar una taza de café); y seleccionamos el tipo de decaimiento o fricción de la distancia (en este caso, *Impedance Transformation* la dejamos lineal, pues suponemos que no hay un decaimiento sustancial para esa reducida distancia).

Dentro de la barra *'Network Analyst'* debemos seleccionar el botón *'Solve'*, que ejecuta el comando para iniciar la rutina de cálculo del algoritmo en cuestión. Se pueden agregar capas vectoriales de manzanas para una mejor visualización del resultado, así como capas WFS que contengan el "mapa de fondo" que ayuda a ubicarnos espacialmente.

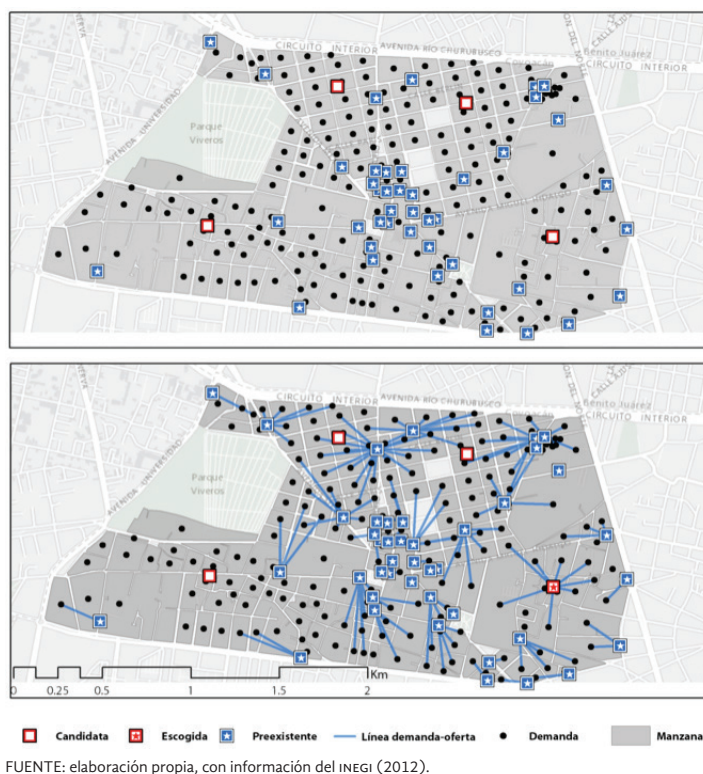
Resultados e interpretación

Como se aprecia en la figura 5b, el algoritmo, ante la preexistencia de un mercado de cafeterías, resolvió el problema determinando que la instalación ahora marcada con una estrella rellena (anteriormente candidata, véase la figura 5a) es la mejor opción para abrir una tienda nueva de Caramel bajo la óptica del P-mediano. Esto se verifica corriendo un nuevo modelo con los mismos datos, pero en lugar de restringir el análisis para 47 instalaciones, se corre para cincuenta (requeridas + candidatas). Así, el algoritmo calcula los valores para todas las instalaciones, permitiendo comparar los valores de la demanda ponderada asignada a cada instalación y la demanda ponderada multiplicada por la distancia. A mayor valor, mayor asignación de demanda, lo que significa un mayor potencial de ventas para más puntos de demanda localizados en distancias más cortas. Si este análisis se hiciera sólo tomando en cuenta los lugares candidatos, sin considerar la actual presencia de cafeterías en la zona (competencia), el resultado arrojaría como óptima una localización diferente.

En el primer ejercicio, supusimos que una nueva localización de Caramel en una zona donde había poca oferta de cafeterías sería una buena estrategia para ampliar el mercado (figura 4b). Sin embargo, un análisis posterior de asignación de los potenciales compradores, bajo un supuesto de minimización de la distancia a recorrer, arrojó otro resultado diferente. Esto implica que cada tipo de análisis en el geomarketing suma información de la cual se terminará tomando una decisión en función de objetivos específicos.

La figura 5a (superior) muestra el mapa después de la introducción de los datos al modelo. Se eliminaron de la visualización las restricciones de la red (barreras de línea y punto). Representa la localización de las 46 cafeterías existentes en la zona, y las cuatro locaciones candidatas para una nueva sucursal de Caramel. La 5b (inferior) muestra el resultado del modelo. Se aprecia la generación de líneas de oferta-demanda que contabilizan para la asignación de la demanda a los puntos de oferta, buscando la distancia más corta, sin rebasar para cada punto de oferta 500 m de distancia a cada punto de demanda. La ubicación escogida por el algoritmo p-mediano es la que más demanda (posibles compradores) aporta a la instalación, dadas las restricciones de distancia y a través del camino más corto sobre la red.

Figuras 5a y 5b. Mapas resultado



Consideraciones finales

Los sencillos ejemplos hasta aquí mostrados demuestran claramente el potencial de las herramientas informáticas de análisis de mercados espaciales para maximizar inversiones, pero, sobre todo, para respaldar decisiones de inversión en grandes empresas. Los modelos se complejizan exponencialmente —y se mejora la granularidad de la predicción— con base en la explotación de bases de datos internas y externas a la empresa. Aun cuando los modelos han evolucionado exponencialmente (de determinísticos a probabilísticos, y de gravitacionales a MCI), sólo pueden tomarse como guías y como amortiguadores ante la elevada incertidumbre que implica el comportamiento humano en materia de consumo, mas no como ciencia exacta. Sin embargo, parecería suficientemente robusto el cuerpo teórico y empírico para continuar indagando

e investigando diferentes maneras de aproximarnos a los problemas que representan la localización óptima de instalaciones y equipamientos (deseables y no deseables), así como la asignación de unidades en el espacio. La ciencia de la localización ha avanzado bastante a partir de problemas específicos por resolver, además de que la necesidad de innovar y maximizar los recursos siempre será una constante en la mayoría de los proyectos territoriales. En este sentido, podríamos extrapolar la necesidad de mejorar los modelos de localización espacial, probablemente con base en estas teorías de localización, para —por ejemplo— ubicar la vivienda social o mejorar el equilibrio de usos de suelo en entornos urbanos.

Fuentes

- Alcaide, J.C., R. Calero y R. Hernández (2012). *Geomarketing: marketing territorial para vender y fidelizar más*. Madrid: ESIC.
- Alonso, W. (1964). *Location and Land Use. Toward A General Theory of Land Rent*. Cambridge: Harvard University Press.
- Anderson, S.J., J.X. Volker y M.D. Phillips (2010). “Converse’s Breaking-Point Model Revised”, *Journal of Management and Marketing Research*, núm. 3.
- Austria, Xóchitl (2013). “Geomarketing para hacer localizable tu marca”, *Alto Nivel*, 25 de febrero, en <<http://www.altonivel.com.mx/34244-geomarketing-claves-para-localizar-a-tu-marca.html>>.
- Azarmand, Z. y E. Neishabouri (2009). “Location Allocation Problem”, en R. Zanjirani y M. Hekmatfar, eds., *Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies*. Berlín: Physica-Verlag, pp. 93-110.
- Bach, L. (1980). “Locational Models for Systems of Private and Public Facilities Based on Concepts of Accessibility and Access Opportunity”, *Environment and Planning A*, vol. 12, núm. 3: 301-320.
- Baviera-Puig, A., J. Buitrago-Vera y C. Escriba-Perez (2016). “Geomarketing Models in Supermarket Location Strategies”, *Journal of Business Economics and Management*, vol. 17, núm. 6: 1205-1221.
- Baviera-Puig, A., J. Buitrago-Vera y J.E. Rodríguez-Barrio (2013). “Un modelo de geomarketing para la localización de supermercados: diseño y aplicación práctica”. Catedra “Fundación Ramón Areces” de Distribución Comercial, en <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/60788/Docfradis%202013_01%20DEFINITIVO.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- Berry, B.J.L. (1971). *Geografía de los centros de mercado y distribución al por menor*. Barcelona: Vicens-Vives.
- Bocalandro, N. y D. Krauthamer (2007). “Geomarketing: aplicaciones de sistemas de información geográficos e inteligencia de negocios”, en <http://www.academica.mx/sites/default/files/adjuntos/35272/8._geomarketing_aplicaciones_e_inteligencia_de_negocios_1.pdf>.
- Bosque, J. y A. Moreno, eds. (2012). *Sistemas de información geográfica y localización óptima de instalaciones y equipamientos*. México: AlfaOmega/Ra-Ma.
- Bruno, G., A. Genovese y G. Improta (2014). “A Historical Perspective on Location Problems”, *BSHM Bulletin: Journal of the British Society for the History of Mathematics*, vol. 29, núm. 2: 1-16.
- Burrough, P.A. y R.A. McDonnel (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Nueva York: Oxford University Press.

- Carter, H. (1974). *El estudio de la geografía urbana*. Madrid: Instituto de Estudios de Administración Local.
- Chasco, C. (2003). "El geomarketing y la distribución comercial", *Investigación y Marketing*, núm. 79: 6-13.
- Church, Richard y Charles ReVelle (1974). "The Maximal Covering Location Problem", *Papers of the Regional Science Association*, vol. 32, núm. 1 (diciembre): 101-118.
- Cliquet, G., ed. (2006). *Geomarketing: Methods and Strategies in Spatial Marketing*. Newport Beach, Cal.: ISTE.
- Converse, P.D. (1949). "New Laws of Retail Gravitation", *Journal of Marketing*, vol. 14, núm. 3: 379-384.
- Cooper, L. (1963). "Location-Allocation Problems", *Operations Research*, vol. 11, núm. 3: 331-343.
- Current, J. y J. Storbeck (1988). "Capacitated Covering Models", *Environment and Planning B*, núm. 15: 153-164.
- Dicken, P. y P.E. Lloyd (1990). *Location in Space: Theoretical Perspectives in Economic Geography*. Nueva York: Harper and Row.
- Douard, J.P. (2006). "Geomarketing and Consumer Behavior", en G. Cliquet, ed., *Geomarketing: Methods and Strategies in Spatial Marketing*. Newport Beach, Cal.: ISTE, pp. 91-113.
- Doyle, S. (2001). "Software Review: How Is Geography Supporting Marketing in Today's Commercial Organizations?", *Journal of Database Marketing*, vol. 9, núm. 1: 85-89.
- Eiselt, H.A. y V. Marianov (2011). *Foundations of Location Analysis*, vol. 155. Nueva York: Springer.
- Esteban, A. et al. (2008). *Principios de marketing*. Madrid: ESIC.
- Fischer, K. (2011). "Central Places: The Theories of von Thünen, Christaller, and Lösch", en H.A. Eiselt y V. Marianov, eds., *Foundations of Location Analysis*. Nueva York: Springer, pp. 471-505.
- García, J.P. (1996-1997). "Geomarketing. Los sistemas de información geográfica aplicados a la planificación comercial", *Distribución y Consumo* (diciembre-enero): 99-107.
- Garrocho, C., T. Chávez y J.A. Álvarez (2003). *La dimensión espacial de la competencia comercial*. Zinacantepec: El Colegio Mexiquense.
- Goodchild, M.F. (1984). "I lacs: A Location Allocation Model for Retail Site Selection", *Journal of Retailing*, núm. 60: 84-100.
- Goss, J. (1995). "'We Know Who You Are and We Know Where You Live': The Instrumental Rationality of Geodemographic Systems", *Economic Geography*: 171-198.
- Graizbord, B. (2008). *Geografía del transporte en el área metropolitana de la Ciudad de México*. México: El Colegio de México.
- Hakimi, S.L. (1964). "Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph", *Operations Research*, vol. 12, núm. 3 (mayo-junio): 450-459.
- Hale, T. S. y C.R. Moberg (2003). "Location Science Research: A Review", *Annals of Operations Research*, vol. 123, núms. 1-4: 21-35.

- Handy, S.L. y D.A. Niemeier (1997). "Measuring Accessibility: An Exploration of Issues and Alternatives", *Environment and Planning A*, vol. 29, núm. 7: 1175-1194.
- Harris, R., P. Sleight y R. Webber (2005). *Geodemographics, GIS and Neighbourhood Targeting*. Chichester, West Sussex: John Wiley and Sons.
- Hotelling, H. (1929). "Stability in Competition", *The Economic Journal*, vol. 39, núm. 153: 41-57.
- Huff, D.L. (1963). "A Probabilistic Analysis of Shopping Center Trade Areas", *Land Economics*, vol. 39, núm. 1: 81-90.
- Huff, D.L. (2003). "Parameter Estimation in the Huff Model", *ArcUser* (octubre-diciembre): 34-36.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2012). "Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) 06/2012", en <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010). "Censo de población y vivienda 2010. Sistema para la Consulta de Información Censal (Scince versión 05/2012) del Distrito Federal", en <http://www.inegi.org.mx/est/scince/scince2010.aspx>.
- Isard, W. (1956). *Location and Space-economy. A General Theory Relating to Industrial Location, Market Areas, Land Use, Trade, and Urban Structure*. Cambridge: MIT Press/Wiley and Sons.
- Latour, P. y J. Le Floch (2001). *Géomárketing: principes, méthodes et applications*. París: Éditions d'Organisation.
- Longley P.A. y P. Mateos (2005). "Un nuevo y prominente papel de los SIG y el geomarketing en la provisión de servicios públicos", *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, núm. 5: 1-5.
- Luce, R. D. (1959). *Individual Choice Behavior: A Theoretical Analysis*. Nueva York: Wiley and Sons.
- MacKenzie, B. y M. Bottum (1989). "Retail Gravity Model", *The Appraisal Journal*, vol. 57, núm. 2: 166-172.
- Moreno Jiménez, A. (2012). "Modelos de localización óptima de instalaciones y equipamientos", en J. Bosque y A. Moreno, eds., *Sistemas de información geográfica y localización óptima de instalaciones y equipamientos*. México: AlfaOmega/Ra-Ma, pp. 73-122.
- Nakanishi, M. y L.G. Cooper (1974). "Parameter Estimation for a Multiplicative Competitive Interaction Model: Least Squares Approach", *Journal of Marketing Research*, vol. 11, núm. 3 (agosto): 303-311.
- Plastria, F. (2002). "Continuous Covering Location Problems", en Z. Drezner y H.W. Hamacher, eds., *Facility Location: Application and Theory*. Berlín: Springer, pp. 37-80.
- Salado, M. J. (2012). "Localización de equipamientos colectivos, accesibilidad y bienestar social", en J. Bosque y A. Moreno, eds., *Sistemas de información geográfica y localización óptima de instalaciones y equipamientos*. México: AlfaOmega/Ra-Ma, pp. 41-66.
- Steif, K. (2013). "Why Do Certain Retail Stores Cluster Together?", *Planetizen*, en <http://www.planetizen.com/node/65765>.