



Taxonomía de las bases de datos espaciotemporales con objetos en movimiento. Revisión de tema

Databases spatiotemporal taxonomy with moving objects. Theme review

Fecha de recepción: 12 de junio de 2017

Fecha de aceptación: 28 de noviembre de 2017

Sergio Alejandro Rojas Barbosa¹

Cómo citar: Rojas B., S.A. (2018). Taxonomía de las bases de datos espaciotemporales con objetos en movimiento. Revisión de tema. *Revista Tecnura*, 22(55), 66-76. <https://doi.org/10.14483/22487638.12192>

Resumen

Contexto: En la última década, las bases de datos han evolucionado tanto que ya no solo se habla de bases de datos espaciales, sino también de bases de datos espacio-temporales. Esto quiere decir que el evento o registro cuenta con una variable espacial o de localización, y con una variable de temporalidad, que permite la actualización del registro almacenado anteriormente.

Método: En este trabajo se presenta una revisión bibliográfica sobre conceptos, modelos de datos espacio-temporales, específicamente los modelos de datos de objetos en movimiento.

Resultados: Se presentan consideraciones taxonómicas de las consultas en los modelos de datos de objetos en movimiento, de acuerdo a la perspectiva de la consulta (tiempo, localización, movimiento, objeto y patrones), así como también las diferentes propuestas de índices y estructuras.

Conclusiones: La implementación desordenada de las propuestas tanto de modelos, como de índices y estructuras puede conllevar a problemas de estandarización es por esto, que deben estar normalizadas bajo las normas y estándares de la OGC (Open Geospatial Consortium).

Palabras clave: bases de datos espaciotemporales, bases de datos de objetos en movimiento, modelos de datos, series de tiempo, trayectorias temporales.

Abstract

Context: In the last decade, databases have evolved so much that we no longer speak only of spatial databases, but also of spatial and temporal databases. This means that the event or record has a spatial or localization variable and a temporality variable, which allows updating the previously stored record.

Method: This paper presents a bibliographic review about concepts, spatio-temporal data models, specifically the models of data in movement.

Results: Taxonomic considerations of the queries are presented in the models of data in movement, according to the persistence of the query (time, location, movement, object and patterns), as well as the different proposals of indexes and structures.

Conclusions: The implementation of model proposals, such as indexes and structures, can lead to standardization problems. This is why it should be standardized under the standards and standards of the OGC (Open Geospatial Consortium).

Keywords: Spatio-temporal databases, data models, moving object databases, time series and time trajectories

¹ Ingeniero en telecomunicaciones, especialista en Sistemas de Información Geográfica, candidato a magíster en Ciencias de la Información y Comunicaciones, investigador de apoyo del Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica (CIAF). Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Bogotá, Colombia. Contacto: sergio.rojas@igac.gov.co

INTRODUCCIÓN

Los avances en la tecnología móvil aumentaron la necesidad de utilizar, cada vez más, eficientes sistemas de almacenamiento que se caracterizan por incorporar aspectos espaciales (semántica especial junto con funciones) en el modelo de datos y el sistema gestor para su adecuada manipulación en una base de datos espacial. Estos aspectos espaciales definen el marco de referencia para establecer la localización geográfica y la relación entre los objetos que la componen.

Los objetos espaciales que componen una base de datos espacial (geográfica) están representados por geometrías, como puntos, líneas, polígonos, sus colecciones, combinaciones y las relaciones espaciales entre ellos (relaciones topológicas) (Paredaens y Kuijpers, 1998; Paredaens, Van den Bussche y Van Gucht, 1994) como se evidencia en la figura 1. Las geometrías mencionadas se conocen también como datos vectoriales, que se representan en un modelo de datos vectorial y se caracterizan por su naturaleza georreferenciada y multidireccional.

Por un lado, la naturaleza georreferenciada alude a la posición relativa o absoluta del objeto espacial y, por el otro, la multidireccional define las

relaciones complejas no lineales, de acuerdo con la primera ley de la geografía: “Todo está relacionado con todo, pero las cosas más cercanas están más relacionadas que las cosas más lejanas” (Tobler, 1970); es decir, que la relación no puede ser unidireccional. Así como los datos vectoriales se representan a partir del modelo de datos vectorial, existe también el modelo de datos conformado por una grilla de un número finito de puntos o píxeles, también llamado modelo *raster*, obtenido a partir de información espectral de imágenes ortorrectificadas y georreferenciadas utilizadas comúnmente en agricultura de precisión (Camacho, Vargas y Arguello, 2016). Además de los anteriores modelos de datos espaciales, que son los más usados, diferentes autores han propuesto algunos nuevos, como el modelo de datos de triángulos irregulares TIN (*triangulated irregular network*) (Nguyen, 2010), el polinomial y el topológico (Kanellakis, Kuper y Revesz, 1995; Erwig *et al.*, 1998; Donoso, 2011).

Todos estos tipos de modelos de datos geográficos se han empleado para representar y analizar eventos o elementos que ocurren en un determinado sitio, por ejemplo, sedimentos acumulados en el corredor vial Bogotá-Soacha (Zafra, Peña y Álvarez, 2013), emisiones de fuentes móviles en Bogotá (Carmona *et al.*, 2016),

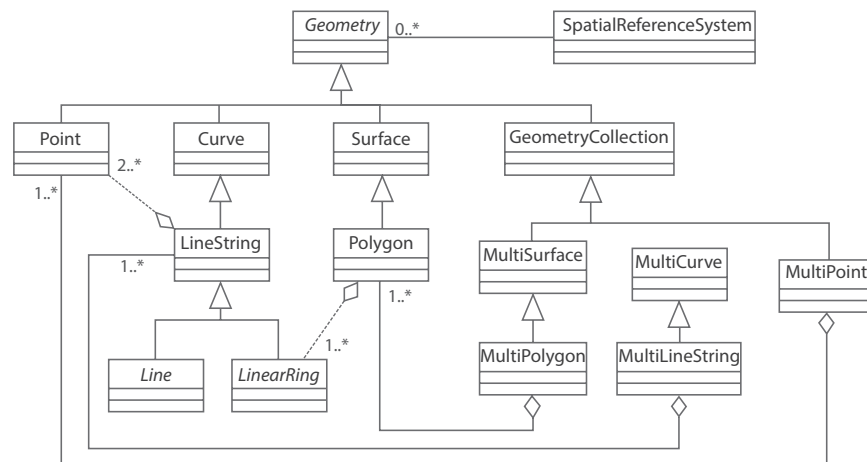


Figura 1. Tipos y jerarquía de datos vectoriales

Fuente: García (2012).

Tanto en el modelo de datos vectorial como en el raster se define la posición absoluta o relativa de la localización geográfica de los objetos espaciales, pero estos también presentan cambios en el tiempo, en aspectos como:

- Posición o localización espacial.
- Forma o geometría.
- Densidad.

Los modelos de datos espaciales básicos no permiten la representación de estos cambios y con el desarrollo de los servicios basados en localización (*location based services*, LBS) (Abul, Bonchi y Nanni, 2008; Djafri, Fernandes, Paton y Griffiths, 2002) como SECONDO (Behr y Güting, 2005; De Almeida, Güting y Behr, 2006; Güting, 2007), DOMINO (Wolfson, Xu, Chamberlain y Jiang, 1998), EDPC (Wu *et al.*, 2011) se requirió el diseño de una nueva base de datos para representar y que soporten consultas con localizaciones y tiempo (Behr, Teixeira de Almeida y Güting, 2006). Estas bases de datos espacio-temporales (Armstrong, 1988) no solo soportan aspectos de tiempo tradicional definido por el usuario, como el atributo de fecha (Ozsoyoglu y Snodgrass, 1995), sino también aspectos de tiempo que permiten cualquier actualización o cambio sin que se pierda el estado anterior y se almacene el nuevo mediante etiquetas de tiempo.

Los componentes de las bases de datos espacio-temporales son definidos con un conjunto finito de puntos en un espacio (Pfoser, Jensen y Theodoridis, 2000) que cambian en el tiempo (posición, geometría y densidad) ante determinados eventos (Shrestha, Miller, Zhu y Zhao, 2013). La información almacenada en las bases de datos espacio-temporales depende de ciertas características, a saber:

- Dominio espacial.
- Dominio temporal.
- Movimiento y cambio.

La última característica hace referencia, por un lado, al movimiento debido a las alteraciones en la

posición en el espacio a lo largo del tiempo; por el otro, el cambio se ocupa de cómo el objeto espacial sufre la transformación en su extensión.

Es así como existen, al igual que los modelos de bases de datos espaciales (Huibing *et al.*, 2012), los modelos espaciotemporales (Jianqiu Xu, 2012), como los que aparecen a continuación (Rojas, 2010; Rodríguez, Zambrana y Bernabé, 2009):

1. Modelo de datos *Snapshot*, (Martínez-Rosales y Levachkine, 2014; Gutiérrez, 2007; Armstrong, 1988).
2. Modelo de datos basado en *time-stamping* (Tao y Dimitris, 2001).
3. Modelo de datos espacio-temporales con objetos en movimiento.
4. Modelo espacio-temporal entidad/relación (Zapata y Durango, 2013).
5. Modelo de datos espacio-temporales orientado a objetos (Durango, 2014; Brodsky, Segal, Chen y Exarkhopoulo, 1999).
6. Modelo de datos espaciotemporales polinomiales (Rojas, 2010).
7. Modelo compuesto de espacio-tiempo STC (Nadi y Delavar, 2003)
8. Modelo de datos orientado a eventos ESTDM (Lohfink, Carnduff, Thomas y Ware, 2007).

Las bases de datos que parten del modelo de datos espaciotemporales con objetos en movimiento son de interés para el presente artículo, ya que solo representan cambios relacionados con los movimientos y cambios de los objetos, a diferencia de las demás bases espacio-temporales, donde la identidad de la componente geográfica también cambia en el tiempo (Correa, Ortiz y Gagliardi, 2004).

BASES DE DATOS ESPACIOTEMPORALES CON OBJETOS EN MOVIMIENTO

Las bases de datos espacio-temporales con objetos en movimiento capturan y etiquetan la posición de objetos que están moviéndose en el espacio a

través del tiempo (Trajcevski *et al.*, 2006). En estas bases ocurre que los objetos cambian sus ubicaciones o formas a través del tiempo, es decir, se modifica la posición geográfica del objeto (Praing y Schneider, 2007; Qi y Schneider, 2012).

Los movimientos se definen como un segmento de líneas conectadas, definidas comúnmente como trayectorias que, mediante métodos de regresión, permiten modelar los cambios de localización en variables (Abdessalem, Decreusefond y Moreira, 2006) de forma continua del objeto en movimiento (Ortiz, 2014).

Para representar en los sistemas estas trayectorias se emplea la abstracción *moving point*, o si se quiere registrar sus variaciones geométricas (tanto el crecimiento como la disminución del mismo) se emplea *moving region* (Rojas, 2010; Behr, Texeira de Almeida y Güting, 2006; Erwig, Güting, Schneider y Vazirgiannis, 1999; Olsen y Mckenney, 2013).

Taxonomía

Hay una diferencia crítica en la estructura de los objetos que se mueven y la estructura de objetos estáticos. Con los objetos estáticos, las estructuras de datos espaciales asumen que los objetos son constantes, mientras que los objetos en movimiento requieren actualizaciones frecuentes de sus

ubicaciones (Alamri, Taniar y Safar, 2014; Martínez-Rosales y Levachkine, 2014), como se observa en la figura 2.

De acuerdo con Alamri, Taniar y Safar (2014), los objetos en movimiento, debido a su propia naturaleza, muestran nuevas características, como dirección, velocidad y patrones de movimiento. Las consultas de objetos en movimiento comprenden cinco perspectivas (Viqueira y Lorentzos, 2007):

1. Localización: incluye consultas espaciales básicas comunes en las bases de datos espaciales (Join, Reverse Nearest Neighbor [RNN], K, vecinos más cercanos, rangos y otros) (Chunming, 2013).
2. Movimiento: que cubre las consultas de dirección, velocidad, distancia y desplazamiento. El movimiento puede ser observado mediante la vinculación de una referencia a un objeto en movimiento y medir su cambio de ubicación con respecto al otro marco de referencia. Los vectores de movimiento se clasifican como: velocidad, dirección, distancia y desplazamiento.
3. Objeto: incluye las consultas de tipo y de forma del objeto. La primera lo examinará desde una perspectiva de tipo único o tipos múltiples, y la forma podría consultar características de longitud y área.

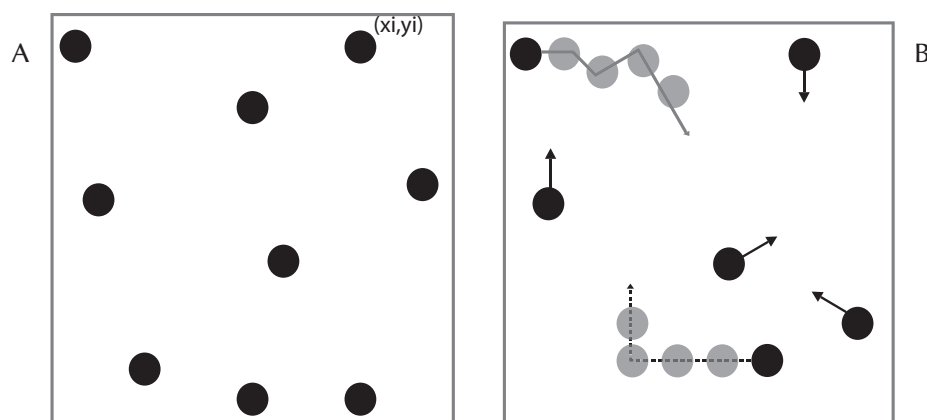


Figura 2. A. Objetos estáticos. B. Objetos en movimiento.

Fuente: Alamri, Taniar y Safar (2014).

4. Temporal: define la trayectoria y marcas de tiempo (*timestamped*), y se relaciona con consultas como: *inside*, *disjoint*, *meet*, *equal*, *contain*, superposición y consultas de periodos. Donde, las consultas pueden ser históricas (temporales), actuales o futuras (predicciones) para los objetos que se desplazan de un lugar a otro dada una trayectoria de acuerdo a la figura 4.
5. Patrones de movimiento: donde los objetos están utilizando el movimiento indefinido o patrones de movimiento predefinidos, que pueden ser los patrones de movimiento espacial y patrones de movimiento temporales. Las consultas se clasifican en tres patrones espaciales, espacio-temporales. De estos tres, este artículo solo detallará el de movimiento espaciotemporal.

Al considerar que los objetos se mueven en un espacio bidimensional (x, y) como el mostrado en la figura 2, y que pueden ser representados en el espacio tridimensional (x, y, t) (Erwig *et al.*, 1999), donde x y y son variables espaciales, y t representa la variable temporal. El espacio tridimensional está definido desde diferentes entornos, y el conocimiento del entorno o ambiente de movimiento de los objetos es esencial, ya que, dependiendo del tipo de ambiente, se debe ilustrar el tipo de consulta. Los diferentes entornos de movimiento

incluyen el espacio euclidiano que es un ambiente sin restricciones, la red de caminos espaciales que es un ambiente restringido a una red de caminos y celdas espaciales que es un ambiente restringido (Giraudi *et al.*, 2007) observados en la figura 3.

La diferencia básica entre las celdas espaciales, el espacio euclidiano y las redes de caminos espaciales es la dependencia de la representación geométrica de la propiedad espacial. Las consultas en el espacio euclidiano o en la red espacial de caminos tienen en cuenta los movimientos de los objetos entre pares de coordenadas, mientras que las consultas en las celdas espaciales se basan en notaciones de celdas, por ejemplo: ¿Cuáles son los objetos que se mueven en la celda C1? (Alamri, Taniar y Safar, 2014). De forma que, en un espacio geométrico, tanto la posición actual como las posiciones futuras son representadas como n -tuplas coordenadas, en forma de puntos, áreas y volúmenes.

En las consultas históricas temporales de trayectorias, el valor de un objeto será diferente en dos estados de bases de datos respectivas; por tanto, las consultas de tiempo se pueden clasificar como etiqueta de tiempo pasada, etiqueta de tiempo actual, etiqueta de tiempo futura y el intervalo (rango) de etiquetas de tiempo.

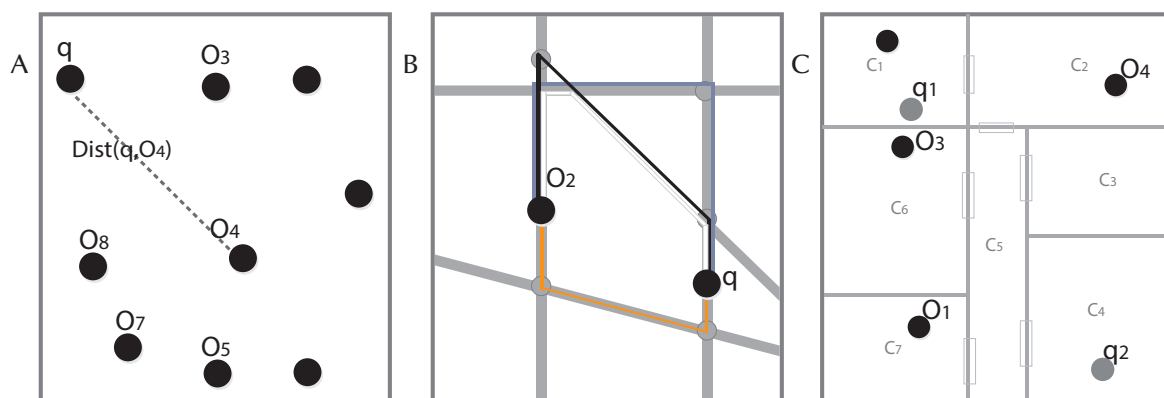


Figura 3. Entornos de movimiento de los objetos espaciales: A. Espacio euclidiano. B. Red espacial de caminos. C. Celdas espaciales

Fuente: Alamri, Taniar y Safar (2014).

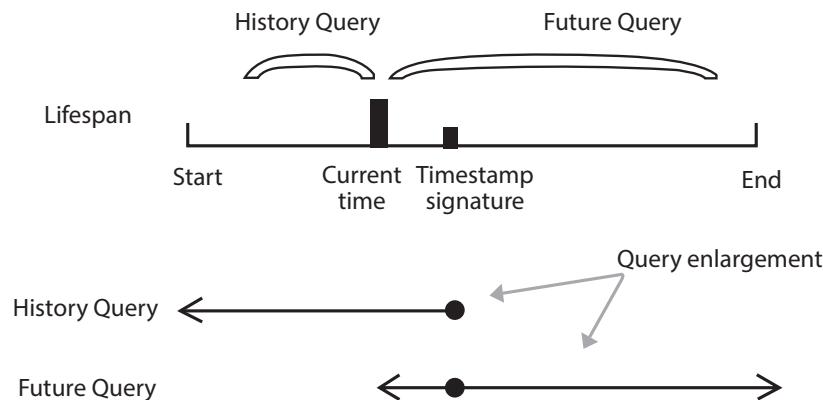


Figura 4. Etiquetas de tiempo

Fuente: Alamri, Taniar y Safar (2014).

Índices y estructuras de datos de objetos en movimiento

Este tipo de consultas debe contar con la indexación adecuada (Giraudi *et al.*, 2007; Correa, Ortiz y Gagliardi, 2004), por esto las estructuras de índices han evolucionado iniciando con el índice de estructura árbol: *R-tree* y el *B-tree*, que son los padres de los objetos en movimiento. El primero permite el acceso a la extensión espacial y el segundo aporta la extensión temporal (Marín y Rodríguez, 2010; Yim, Joo y Park, 2011), lo que genera el índice *RB-tree* que brinda una indexación espacio-temporal, pero que no soporta consultas sobre trayectorias. Por esto se han propuesto índices derivados de índices espacio-temporales considerando las cinco perspectivas de consultas objeto en movimiento mencionadas por Alamri, Taniar y Safar (2014).

Algunos índices más novedosos como *TPR-tree* (parámetros de tiempo *R-tree*), *DV-TPR*-tree* (dirección y velocidad *-tree*), *STAR-tree* (Lin, 2012), *TB-tree* (trayectoria pasada *-tree*) (Lange, Dürr y Rothermel, 2008), *REXP-tree* no solo permiten el acceso a los modelos de este tipo de datos, sino que también soporta procesamiento en múltiples dimensiones y permite indexar movimientos de trayectorias pasadas, actuales y futuras estimadas (Lin, 2012).

Se encuentran otras propuestas que van dirigidas directamente a aplicaciones sobre redes fijas (Correa, Ortiz y Gagliardi, 2004) como el índice *I+-MON-Tree* y el índice *Statistics and trace-based meta-index (STM-index)* que es diseñado para resolver intervalo de tiempo o intervalo de tiempo de las consultas y las consultas sobre la ubicación de un objeto en particular, en un instante de tiempo dado (Marín y Rodríguez, 2010; Giraudi *et al.*, 2007).

Mientras *Indoor-tree* registra movimientos dentro de las celdas espaciales (Alamri, Taniar y Safar, 2014). Otras propuestas de estructuras e índice incluyen la capacidad de procesar datos de objetos en movimientos considerando objetos vecinos también en movimiento como el *M2TPR-tree* (Chunming, 2013).

Por otro lado, también existen herramientas que permiten el modelaje de estos índices y tipos de objetos en movimiento, como el denominado *STXER* (Jin, Wan y Yue, 2008).

Patrones espacio-temporales

De acuerdo con Alamri, Taniar y Safar (2014), estos patrones abordan las características espaciales y temporales, en conjunto, de los objetos en movimiento; algunos de los patrones espacio-temporales son los incidentes, los constantes, los

secuenciales, los periódicos, los de agrupación y los de *cluster* en movimiento. Los patrones de movimientos incidentes entre objetos se pueden dividir en cuatro tipos:

1. Concurrencia: patrón que contiene un conjunto de entidades que tiene valores similares de atributos de movimiento para cierta duración de tiempo.
2. Coincidencia: un tipo específico de la incidencia que tiene en cuenta la similitud de las posiciones de los objetos en movimiento. Puede haber completa coincidencia, lo que significa que los mismos lugares se alcanzan al mismo tiempo, o coincidencia con rezago, que significa que las mismas ubicaciones se alcanzan después de un retardo de tiempo.
3. Oposición: arreglo multipolar de valores de parámetros de movimiento, como un grupo repentino de movimiento de objetos hacia dos direcciones opuestas.
4. Dispersión: movimiento no uniforme o concurrencia opuesta.

Los patrones constantes ocurren cuando el movimiento se compone de parámetros de los mismos valores o solo cuando cambia ligeramente para una duración determinada. Por ejemplo, un grupo de coches se están moviendo en una carretera recta a una velocidad específica, y la dirección y los parámetros derivados siguen siendo los mismos para una duración particular.

Además, los patrones secuenciales son una serie de lugares que han sido visitados como una lista ordenada. Este tipo de patrón indica un punto de inicio y uno final conocido en el espacio y tiempo. Por ejemplo: un grupo de turistas que visita un conjunto de lugares, como el zoológico, el museo y la galería, en secuencia particular en una duración de tiempo determinado.

Así mismo, los patrones periódicos muestran un patrón cíclico a través de un periodo de tiempo. Este tipo muestra una repetición regular del movimiento (periodicidad espacio-temporal) para una duración

determinada. Por ejemplo: los coches de seguridad patrullando regularmente y que monitorean lugares específicos en cada periodo de tiempo.

El patrón de agrupación consiste en un conjunto de objetos en movimiento agrupados en una particular localización. Por ejemplo, en la figura 5, un grupo de niños se reúnen para tomar el mismo bus.

Finalmente, los *cluster* de movimiento son un conjunto de objetos que quedan cerca uno del otro mientras se mueven en un camino similar por una duración específica; por ejemplo, las tropas en movimiento en un campo de batalla.

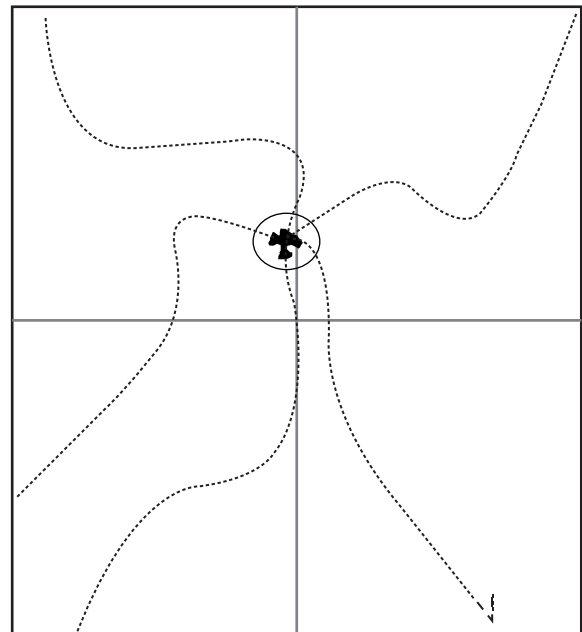


Figura 5. Patrón espacio temporal de agrupación

Fuente: Alamri, Taniar y Safar (2014).

CONCLUSIONES

Con el desarrollo de GPS y wifi, el correcto registro de los lugares se ha convertido en una fuente de generación de información; así mismo, este registro se emplea para el desarrollo de diferentes aplicaciones de seguridad, tráfico, servicios de taxi y ambientales que permiten ser consultadas en las bases de datos de los objetos en movimiento.

Debido a la gran cantidad de aplicaciones de servicios basados en localización que tienen las bases de datos de los objetos en movimiento, se considera que podrían usarse para, por ejemplo, seguir a las personas, lo cual afectaría la privacidad. Por esto últimamente se han iniciado investigaciones para que, aunque se usen aparatos digitales como iPad y *smartphones*, se pueda mantener la privacidad (Abul, Bonchi y Nanni, 2010).

REFERENCIAS

- Abdessalem, T., Decreusefond, L. y Moreira, J. (2006). Evaluation of probabilistic queries in moving objects databases. *Proceedings of the 5th ACM International Workshop on Data Engineering for Wireless and Mobile Access-MobiDE '06*, 11. <https://doi.org/10.1145/1140104.1140109>
- Abul, O., Bonchi, F. y Nanni, M. (2008). Never walk alone: Uncertainty for anonymity in moving objects databases. *Proceedings-International Conference on Data Engineering*, 0, 376–385. <https://doi.org/10.1109/ICDE.2008.4497446>
- Abul, O., Bonchi, F. y Nanni, M. (2010). Anonymization of moving objects databases by clustering and perturbation. *Information Systems*, 35(8), 884–910. <https://doi.org/10.1016/j.is.2010.05.003>
- Alamri, S., Taniar, D. y Safar, M. (2014). A taxonomy for moving object queries in spatial databases. *Future Generation Computer Systems*, 37, 232–242. <https://doi.org/10.1016/j.future.2014.02.007>
- Armstrong, M.P. (1988). Temporality in spatial databases. En *GIS/LIS 88 Proceedings: Accessing the World*. Volume II. (pp. 880-889) Falls Church, VA: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Behr, T. y Güting, R.H. (2005). Fuzzy spatial objects: An algebra implementation in SECONDO. *Proceedings-International Conference on Data Engineering*, 1137–1138. <https://doi.org/10.1109/ICDE.2005.70>
- Behr, T., Teixeira de Almeida, V. y Güting, R.H. (2006). Representation of periodic moving objects in databases. *Proceedings of the 14th Annual ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems-GIS '06*, 43. <https://doi.org/10.1145/1183471.1183480>
- Bodolay, M., y Escobar-Molano, M. L. (2000). A schema-less spatio-temporal database system. En *Proceedings of the 2000 ACM symposium on Applied computing-Volume 1* (pp. 366–373). Italy: ACM. <https://doi.org/10.1145/335603.335839>
- Brodsky, A., Segal, V.E., Chen, J. y Exarkhopoulo, P. A. (1999). The CCUBE constraint object-oriented database system. *ACM SIGMOD Record*, 28(2), 577–579. <https://doi.org/10.1145/304181.304582>
- Camacho V., A., Vargas G., C. A. y Argüello F., H. (2016). A comparative study of target detection algorithms in hyperspectral imagery applied to agricultural crops in Colombia. *Tecnura*, 20(49), 86-99. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.3.a07>
- Carmona A., L.G., Rincón P., M.A., Castillo R., A.M., Galvis R., B.R., Sáenz P., H.E., Manrique F., R.A. y Pachón Q., J.E. (2016). Conciliación de inventarios top-down y bottom-up de emisiones de fuentes móviles en Bogotá, Colombia. *Tecnura*, 20(49), 59-74. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.3.a04>
- Chunming, A. (2013). Studies on kNN Query of Moving Objects for Location Management in Spatial Database, *Proceedings 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC)*. IEEE Xplore Digital Library.
- Correa, M. L., Ortiz, N. J., y Gagliardi, E. O. (2006). I+MON-Tree: índice espacio-temporal para objetos en movimiento. En *XII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación* (pp. 321–331). Argentina.
- De Almeida, V.T., Güting, R.H. y Behr, T. (2006). Querying moving objects in SECONDO. *Proceedings-IEEE International Conference on Mobile Data Management*, 2006. <https://doi.org/10.1109/MDM.2006.133>
- Djafri, N., Fernandes, A.A.A., Paton, N.W. y Griffiths, T. (2002). Spatio-Temporal Evolution: Querying Patterns of Change in Databases. *Proceedings of the 10th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, 35–41. <https://doi.org/10.1145/585147.585156>

- Donoso, V. (2011). *Sistema de información geográfica con Oracle Spatial*. Tesis de Licenciatura. Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Informática. Madrid.
- Durango, C.E. (2014). Asociación de datos espacio-temporales en bases de datos Oracle. *Ingeniería USBmed*, 5(2), 100–108.
- Erwig, M., Schneider, M., Güting, R.H., Hagen, F., Iv, P.I. y Hagen, D. (1998). Temporal Objects for Spatio-Temporal Data Models and a Comparison of Their Representations. *Int. Workshop on Advances in Database Technologies, LNCS 1552*, 1–12.
- Erwig, M., Güting, R.H., Schneider, M. y Vazirgiannis, M. (1999). Spatio-temporal data types: An approach to modeling and querying moving objects in databases. *GeoInformatica*, 3(3), 269–296. <https://doi.org/10.1023/A:1009805532638>
- García, M. (2012). *OGC y el Simple Feature Model*. Recuperado de http://geotalleres.readthedocs.io/es/latest/postgis-simple-feature-model/simple_feature_model.html
- Giraudi, D. C., Segura Guzmán, G. S., Gagliardi, E. O., Hernández Peñalver, G., y Gutiérrez Retamal, G. A. (2007). Aproximaciones en el estudio de Bases de Datos Espacio-Temporales y Ruteo sobre redes móviles. En *IX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación* (pp. 332–336). Argentina.
- Gutiérrez, G.A. (2007). Métodos de acceso y procesamiento de consultas espacio-temporales. [Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias]. Universidad de Chile. Santiago de Chile. Recuperado de <https://www.dcc.uchile.cl/~gnavarro/algoritmos/tesisGilberto.pdf>
- Güting, R.H. (2007). How to build your own moving objects database system. *Proceedings–IEEE International Conference on Mobile Data Management*, 1–2. <https://doi.org/10.1109/MDM.2007.9>
- Huibing, W., Xinming, T., Bing, L., Ping, Y., & Haifeng, C. (2005). MODELING SPATIAL-TEMPORAL DATA IN VERSION-DIFFERENCE MODEL. En *International Symposium on Spatiotemporal Modeling, Spatial Reasoning, Analysis, Data Mining and Data Fusion*. Beijing, China: Citeseer.
- Jin, P.J.P., Wan, S.W.S. y Yue, L.Y.L. (2008). Conceptual Modeling for Moving Objects Database Applications. *The Ninth International Conference on Mobile Data Management (Mdm 2008)*, 217–218. <https://doi.org/10.1109/MDM.2008.21>.
- Kanellakis, P. C., Kuper, G.M. y Revesz, P.Z. (1995). Constraint query lenguajes. *Journal of Computer and System Sciences*, 51(1), 26–52. <https://doi.org/10.1006/jcss.1995.1051>.
- Lange, R., Dürr, F. y Rothermel, K. (2008). Scalable Processing of Trajectory-based Queries in Space-partitioned Moving Objects Databases. *Proceedings of the 16th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*.
- Lin, H. Y. (2012). Using compressed index structures for processing moving objects in large spatio-temporal databases. *Journal of Systems and Software*, 85(1), 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2011.08.005>.
- Lohfink, A., Carnduff, T., Thomas, N., & Ware, M. (2007). An Object-oriented Approach to the Representation of Spatiotemporal Geographic Features. En *Proceedings of the 15th Annual ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems* (p. 35:1—35:8). New York, NY, USA: ACM. <http://doi.acm.org/10.1145/1341012.134105>
- Marín, M. y Rodríguez, M. A. (2010). A meta-index for querying distributed moving object database servers. *Information Systems*, 35(6), 637–661. <https://doi.org/10.1016/j.is.2009.11.001>.
- Martínez-Rosales, M. y Levachkine, S. (2014). Modelo conceptual de entornos geográficos dinámicos. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 15(2), 163–174. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(14\)72207-3](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(14)72207-3).
- Nadi, S. y Delavar, M. (2003). Spatio-temporal modeling of dynamic phenomena in GIS. *ScanGIS*, (January 2003), 215–225.
- Nguyen, V. T. (2010). Building TIN (triangular irregular network) problem in topology model. *2010 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, ICMLC*

- 2010, 1(July), 14-21. <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2010.5581100>.
- Olsen, B. y Mckenney, M. (2013). Storm system database: A big data approach to moving object databases. *Proceedings-2013 4th International Conference on Computing for Geospatial Research and Application, COM. Geo 2013*, 142-143. <https://doi.org/10.1109/COMGEO.2013.30>.
- Ortiz, A. (2014). Memorias-Trayectorias en Bases de Datos de Objeto en Movimiento. *XVI Simposio Internacional SELPER 2014*. Sociedad Latinoamericana de Especialistas en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial. Colombia
- Ozsoyoglu, G. y Snodgrass, R.T. (1995). Temporal and real-time databases: a survey. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 7(4), 513-532. <https://doi.org/10.1109/69.404027>.
- Paredaens, J. y Kuijpers, B. (1998). Data models and query languages for spatial databases. *Data & Knowledge Engineering*, 25(1-2), 29-53. [https://doi.org/10.1016/S0169-023X\(98\)00052-4](https://doi.org/10.1016/S0169-023X(98)00052-4).
- Paredaens, J., Van den Bussche, J. y Van Gucht, D. (1994). Towards a theory of spatial database queries (extended abstract). *Proceedings of the Thirteenth ACM SIGACT-SIGMOD-SIGART Symposium on Principles of Database Systems-PODS '94*, 279-288. <https://doi.org/10.1145/182591.182640>.
- Pfoser, D., Jensen, C. y Theodoridis, Y. (2000). Novel approaches to the indexing of moving object trajectories. *Proceedings of VLDB*, 395-406.
- Praing, R. y Schneider, M. (2007). Modeling historical and future movements of spatio-temporal objects in moving objects databases. *Proceedings of the Sixteenth ACM Conference on Conference on Information and Knowledge Management-CIKM '07*, 183. <https://doi.org/10.1145/1321440.1321469>.
- Qi, L. y Schneider, M. (2012). MONET: Modeling and Querying Moving Objects in Spatial Networks. *Proceedings of the Third ACM SIGSPATIAL International Workshop on Geo-Streaming-IWGS '12*, (c), 48-57. <https://doi.org/10.1145/2442968.2442975>.
- Rodríguez G., M.J., Zambrana U., A. y Bernabé, M.A. (2009). Diseño de herramientas de análisis espacio-temporales para el estudio de bases de datos históricas. *Gtdee 2009*, 16. Recuperado de http://www.02.idee.es/resources/presentaciones/GTIDEE_Murcia_2009/ARTICULOS_JIDEE2009/Articulo-60.pdf.
- Rojas, A.M. (2010). Bases de datos espacio-temporales aplicadas al control de velocidades. Tesis de Licenciatura. Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Informática. Madrid.
- Shrestha, A., Miller, B., Zhu, Y. y Zhao, Y. (2013). Storygraph: Extracting patterns from spatio-temporal data. *Proceedings of the ACM SIGKDD Workshop on Interactive Data Exploration and Analytics-IDEA '13*, 95-103. <https://doi.org/10.1145/2501511.2501525>.
- Tao, Y., & Papadias, D. (2001). The mv3r-tree: A spatio-temporal access method for timestamp and interval queries. En *Proceedings of Very Large Data Bases Conference (VLDB)* (pp. 431-440). Rome.
- Tobler, W. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, 46, 234-240. Doi:10.2307/143141.
- Trajcevski, G., Cao, H., Scheuermann, P., Wolfson, O. y Vaccaro, D. (2006). On-line data reduction and the quality of history in moving objects databases. *ACM International Workshop on Data Engineering for Wireless and Mobile Access*, 19-26. <https://doi.org/10.1145/1140104.1140110>.
- Viqueira, J.R.R. y Lorentzos, N.A. (2007). SQL extension for spatio-temporal data. *VLDB Journal*, 16(2), 179-200. <https://doi.org/10.1007/s00778-005-0161-9>.
- Wolfson, O., Xu, B., Chamberlain, S. y Jiang, L. (1998). Moving objects databases: issues and solutions. *Proceedings. Tenth International Conference on Scientific and Statistical Database*

- Management* (Cat. No.98TB100243). <https://doi.org/10.1109/SSDM.1998.688116>.
- Wu, C.L., Zhang, Y., Li, Q., Guo, Z.T. y Gao, X. (2011). An environmental database and temporal and spatial distribution of Chinese paleo-anthropological sites. *Chinese Science Bulletin*, 56(31), 3281–3283. <https://doi.org/10.1007/s11434-011-4669-7>
- Yim, J., Joo, J. y Park, C. (2011). A Kalman filter updating method for the indoor moving object database. *Expert Systems with Applications*, 38(12), 15075–15083. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.05.037>.
- Zapata, C. y Durango, E. (2013). Representación Del Conocimiento En Datos Espacio–Preconceptuales Knowledge Representation in Spatio–Temporal Data for Gis: an Approach Based on Pre–Conceptual Schemas Répresentation De La Connaissance Sur Donneés Spatio-, 4(1), 47–55.
- Zafra M., C., Peña V., N. y Álvarez P., S. (2013). Contaminación por metales pesados en los sedimentos acumulados sobre el corredor vial Bogotá-Soacha. *Tecnura*, 17(37), 99–108. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2013.3.a09>.

