

## Geometría Computacional y Bases de Datos Espacio-Temporales

Maria Gisela Dorzán, Edilma Olinda Gagliardi, María Teresa Taranilla

Departamento de Informática, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales  
Universidad Nacional de San Luis, Argentina  
{mgdorzan, oli, tarani}@unsl.edu.ar

Gregorio Hernández Peñalver

Departamento de Matemática Aplicada, Facultad de Informática  
Universidad Politécnica de Madrid, España  
gregorio@fi.upm.es

### CONTEXTO

El proyecto Tecnologías Avanzadas de Bases de Datos, N° 22/F614, de la Universidad Nacional de San Luis, tiene como objetivo principal el estudio de bases de datos avanzadas, o no convencionales, en donde se involucra el diseño y desarrollo de herramientas para administrar eficientemente sistemas de bases de datos no estructurados. Este proyecto posee tres líneas de investigación orientadas al desarrollo de nuevos modelos para buscar y administrar la información en almacenamientos de este tipo, donde los escenarios de exploración requieren modelos más generales tales como las bases de datos espacio-temporales, bases de datos de texto, espacios métricos, entre otros. En particular, la línea de investigación Geometría Computacional y Bases de Datos Espacio-Temporales, perteneciente a dicho proyecto, viene desarrollando actividades vinculadas al tratamiento de objetos de tipo geométrico, que son de utilidad en diversos campos de aplicación, por ejemplo, robótica, visión artificial, computación gráfica, sistemas de información geográfica, computación móvil, diseño asistido por computadora, entre otras, y que se relacionan en tales bases de datos.

Entre los problemas de estudio, podemos mencionar el diseño de índices apropiados para el almacenamiento y consulta de datos de tipo espacio-temporales, que poseen propiedades geométricas, y que son integrales y adecuados para resolver consultas espacio-temporales. Además, entre los problemas de índole geométrica, han surgido aquellos para los que no existen algoritmos eficientes que los solucionen, porque son del tipo NP-duro, o aún no han sido objeto de estudio, y para los cuales

proponemos encontrar soluciones aproximadas, mediante el uso de técnicas metaheurísticas.

Esta línea viene desarrollándose desde el año 2002, en forma conjunta con investigadores afines de proyectos locales y de la Universidad Politécnica de Madrid, en el marco de los convenios de cooperación institucional.

### RESUMEN

Respecto de las temáticas de investigación, hemos vinculado las disciplinas Bases de Datos, Geometría Computacional y Metaheurísticas, debido a que en diversas aplicaciones dentro del campo de las Ciencias de la Computación se requiere la construcción y manejo de diferentes objetos geométricos, con propiedades deseables. También, se requiere de repositorios no tradicionales, que conlleven a nuevos modelos de bases de datos para administrar y buscar información en ellos. Así, surge la necesidad de estudiar modelos como las bases de datos espacio-temporales. En particular, algunos de los problemas estudiados necesitan algoritmos eficientes para su resolución, pero dada su naturaleza NP-duro, utilizamos técnicas metaheurísticas para hallar soluciones aproximadas. En este trabajo, presentamos los tópicos más relevantes, actualmente en estudio, con las propuestas más recientes y/o de interés.

**Palabras clave:** Bases de datos, bases de datos espacio-temporales, geometría computacional, metaheurísticas.

## 1. INTRODUCCIÓN

Con la evolución de las tecnologías de información y comunicación, han surgido repositorios o almacenamientos no estructurados de información. Se consultan nuevos tipos de datos tales como datos geométricos, imágenes, audio y video, entre otros, siendo en algunos casos, que la información no necesariamente se estructura en claves y registros. Y en particular, algunas aplicaciones requieren guardar y consultar información histórica y actual, acerca de los cambios de forma y/o posición que tuvieron los objetos de estudio en diferentes escenarios a lo largo del tiempo, por lo que se requiere de modelos de bases de datos espacio-temporales para tales requerimientos. En este contexto, es necesario contar con herramientas teóricas, de base, que permitan modelar estos tipos de datos, realizar operaciones sobre ellos, definir lenguajes de consulta, analizar su expresividad, entre otras propiedades.

En el ámbito de la Geometría Computacional, se estudian problemas de tipo geométrico, respecto del diseño de algoritmos y/o estructuras geométricas adecuadas para su resolución. Por lo que, la geometría nos permite tener una visión diferente de los problemas, tal que cuando se aplican técnicas o estructuras geométricas en la resolución de los mismos, las soluciones pueden ser más apropiadas y/o viables de realizar.

Asimismo, en Geometría Computacional, surgen problemas de naturaleza NP-dura, o bien, para los cuales no se han encontrado hasta el momento algoritmos eficientes que los solucionen; incluso, puede ser que se desconozcan soluciones, pero que en cualquier caso puede existir la necesidad de encontrar respuestas a tales problemas, aunque las soluciones sean aproximadas o de naturaleza heurística.

En particular, resulta de interés el estudio de estructuras geométricas y problemas relacionados a las mismas, mediante el análisis de propiedades que constituyen medidas de calidad que permiten estimar cuán “buena” es la misma. La construcción de estas estructuras óptimas es un problema que no necesariamente

admite soluciones exactas con algoritmos eficientes; en algunos casos está demostrado que son problemas NP-duros. Por ello, resulta un campo de interés, en el que se pueden lograr resultados significativos dado que es un área emergente en la comunidad científica, lo que le agrega mayor relevancia para abordar futuras investigaciones. El uso de algoritmos aproximados nos puede dar soluciones cercanas a las óptimas, los cuales pueden ser específicos para el problema tratado o formar parte de una estrategia general que se puede aplicar en la resolución de distintos problemas, como lo son las técnicas metaheurísticas.

Por lo expuesto, en esta línea nos dedicamos al estudio, diseño y desarrollo de índices espacio-temporales, aplicables a diversos escenarios de movimiento (redes, espacios libres de obstáculos, etc.), considerando la geometría como una disciplina marco en la cual se formalizan aspectos propios de los problemas involucrados. Además, en este contexto, nos planteamos el estudio de optimizaciones de estructuras tales como triangulaciones, pseudotriangulaciones y poligonizaciones. Entre las principales medidas de calidad consideramos el peso, la dilación, el número de apuñalamiento, entre otras. También, nos dedicamos al estudio de problemas de minimización de la suma de longitudes, minimización del camino más largo entre sus vértices, optimización del vector de ángulos de la triangulación, entre otros ejemplos.

## 2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

La Geometría Computacional estudia técnicas, algoritmos y estructuras de datos adecuadas para la resolución de problemas geométricos. Estos problemas se encuentran en diversas áreas de las Ciencias de la Computación, tales como Computación Gráfica, Planificación de Movimientos, Visión Computacional, Robótica, Recuperación de la Información, Bases de Datos Espacio-Temporales, entre otras. En particular, los problemas de interés en la línea de investigación son aquellos vinculados al diseño de índices espacio-temporales para resolver integralmente

consultas espacio-temporales y su vinculación con la problemática de objetos móviles; y al tratamiento de problemas geométricos de naturaleza NP-dura. En ambos casos, proponemos la búsqueda de soluciones para ellos, aunque éstas sean aproximadas. Con este fin, utilizamos las técnicas metaheurísticas, que proporcionan estrategias adecuadas para la resolución aproximada de múltiples problemas de optimización, en especial de aquellos para los que no existen algoritmos eficientes de resolución.

Entre los tópicos de estudio de la línea, destacamos los siguientes:

i) Estudio de triangulaciones de puntos que cumplan ciertas medidas de calidad como son el peso, la dilación y el número de apuñalamiento. Optimización de triangulaciones de peso, dilación y número de apuñalamiento mínimos utilizando técnicas metaheurísticas. Estudio de problemas de visibilidad o iluminación en un tipo particular de superficies poliédricas, los poliedros-terreno. Resolución aproximada mediante metaheurísticas a los problemas de iluminación en triangulaciones planas. [MR06] [FLM08] [CS89] [M04].

ii) Optimización de rutas de vigilancia entre obstáculos poligonales mediante la aplicación de técnicas metaheurísticas. Resolución aproximada de diferentes variantes de problemas de vigilancia en polígonos, aplicando metaheurísticas. Metaheurísticas para la optimización de poligonizaciones de puntos en el plano. [Fe00] [LHL93] [CNN93] [Zy06].

iii) Optimización de pseudotriangulaciones, que satisfagan propiedades como bajo peso, dilación pequeña, número de apuñalamiento pequeño, entre otras, mediante la aplicación de técnicas metaheurísticas. [PV96] [RSS06] [GL07].

iv) Indexación espacio-temporal sobre objetos en movimiento para diversos escenarios. Estudio de nuevas estrategias de ruteo en grafos geométricos para su aplicación a objetos móviles. Aplicaciones de la vida real con herramientas de Geometría Computacional

y Bases de Datos Espacio-Temporales. [DGG07] [GGSH07].

### 3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS

Entre los trabajos de investigación, podemos mencionar los siguientes:

Existen aplicaciones que requieren manejar objetos espacio-temporales, es decir, objetos cuya posición espacial o forma cambia en distintos instantes de tiempo. Por consiguiente, deberían considerarse métodos de acceso espacio-temporales, que sean capaces de soportar estos nuevos tipos de datos y de responder tipos de consultas apropiados, satisfaciendo de esta manera, las demandas de los usuarios. En general, TimeSlice, Intervalo, Eventos y Trayectoria son los tipos de consultas de interés. En la línea de investigación, estudiamos métodos de acceso espacio-temporal, que integralmente, permiten resolver estos cuatro tipos de consultas, sin aumentar la complejidad espacio-temporal, en diversos escenarios. Desarrollamos las estructuras de almacenamiento, los algoritmos de consulta y la evaluación experimental, mostrando el buen desempeño de los distintos índices en aplicaciones de diferentes magnitudes respecto de la población de objetos en movimiento. [DGG06] [DGGG06] [DG07].

Como antecedentes acerca de los problemas geométricos de complejidad NP-duros tratados con técnicas metaheurísticas, en el ámbito de la geometría computacional, que se resolvieron utilizando este tipo de métodos aproximados, podemos mencionar: Minimum Vertex Guard [CH04], Maximum Hidden Vertex Set, [BCHM08], Descomposición de Minkowski [GLHT07].

Como trabajo futuro, específicamente para problemas geométricos, tenemos encaminados los siguientes problemas de optimización de propiedades que pueden satisfacer algunas estructuras geométricas (triangulaciones, pseudotriangulaciones y poligonizaciones), tales como dilación, apuñalamiento, peso, grado, perímetro, entre otras. Por ello, consideraremos los siguientes problemas para

las clases de estructuras geométricas mencionadas: construcciones de peso bajo, de dilación pequeña, con número de apuñalamiento pequeño, de bajo grado de vértices y de perímetro o área mínima.

Por medio de la revisión, estudio y adecuación de técnicas metaheurísticas, proponemos realizar evaluaciones y validación mediante lotes de experimentación que abarquen un amplio espectro de instancias. Primeramente, se prevé la revisión de los algoritmos propuestos en la literatura para resolver de forma aproximada los problemas planteados. Se propone el estudio y análisis de adecuación algunas técnicas de computación evolutiva [BFM97]; y a posteriori, el estudio y análisis de adecuación de técnicas de basadas en el paradigma de Inteligencia Colectiva (Swarm Intelligence) [KE01], Optimización basada en Colonias de Hormigas (Ant Colony Optimization) [DS04], entre otras [MZFD04]. Para determinar la funcionalidad e impacto en la comunidad científica, los análisis incluirán el correspondiente tratamiento estadístico, y en caso de ser necesario, se realizarán comparaciones utilizando diferentes métricas para determinar la eficiencia, robustez e impacto de los resultados que se obtengan.

#### **4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS**

Se han llevado a cabo actividades de cooperación mutua e intercambio recíproco de información científica, tecnología, desarrollo de nuevos conocimientos, creación y aplicación de nuevas tecnologías y emprendimientos en todos los campos que desarrollan sus actividades, con investigadores de otras universidades. Entre las actividades desarrolladas, se mencionan las siguientes: i) Actividades de formación académica, tales como cursos de postgrado, jornadas de capacitación, reuniones, seminarios, talleres, encuentros, entre otras. ii) Actividades de divulgación científica tales como charlas, conferencias, seminarios, entre otras, y publicaciones en congresos y revistas, contando alrededor de cincuenta trabajos publicados con referato en el ámbito nacional

e internacional (Chile, Perú, España, Colombia). iii) Formación de Recursos Humanos: trabajos finales de Licenciatura en Ciencias de la Computación, tesis de Maestría en Ciencias de la Computación y tesis doctorales en desarrollo; iv) Direcciones de becas de investigación (CyT-FCFMyN-UNSL y CONICET); v) Pasantías de investigación y docencia.

Las actividades se subvencionaron con fondos provenientes de i) Programa de Cooperación Interuniversitaria de la Agencia Española de Cooperación Iberoamericana (AECI); ii) Fondo para Mejoramiento de la Calidad Universitaria (FOMECE); iii) Proyecto AL2002-1010-2.43 / AL2003-1010-2.55 / AL2004-1010-2.53 / AL2005-PF-004 / AL2006-PF-013 / AL07-PAC-027 Geometría Computacional; iv) Proyecto AL08-PAC-16 Geometría Computacional, Algoritmos Aproximados y Bases de Datos subvencionado por la Universidad Politécnica de Madrid; v) Proyecto Fondo para Mejoramiento de la calidad Institucional (FOMEI) de la Universidad Nacional de San Luis; vi) Proyecto Tecnologías avanzadas de Bases de Datos (22/F614) de la Universidad Nacional de San Luis; vii) Aportes del Departamento de Informática Facultad de Ciencias Físico, Matemáticas y Naturales de la Universidad Nacional de San Luis; viii) Subsidios de la Universidad Nacional de San Luis para traslados y pasantías de docentes, reglamentados por Ordenanzas N° 01/90-CS y N° 18/00-CS.

Conjuntamente, nos proponemos continuar con las actividades integradoras y relacionadas al presente proyecto, proponiendo las siguientes actividades de formación académica, investigación, desarrollo y experimentación, diseño y desarrollo de índices espacio-temporales aplicables a diversos escenarios, y toda otras actividades académico-científicas vinculantes.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [BCHM08] Bajuelos A., Canales S., Hernández, G., Martins A. *Estimating the Maximum Hidden Vertex Set in Polygons*. CG&A, Perugia. 2008.
- [BFM97] Bäck T., Fogel D. y Michalewicz Z. *Handbook of Evolutionary Computation*. IOP Publishing Ltd and Oxford University Press. 1997.
- [CH04] Canales S., Hernández Peñalver, G. *Métodos Heurísticos en Problemas Geométricos: Visibilidad, Iluminación y Vigilancia*, Universidad Politécnica de Madrid. 2004.
- [CNN93] Carlsson, S. Nilsson B.J. Ntafos, S. *Optimum guard covers and m-Watchmen Routes for restricted Polygons*, International Journal of computational Geometry and Applications, 3(1) 85 105,1993.
- [CS89] Cole R. y Sharir M.. *Visibility problems for polyhedral terrains*. Journal of Symbolic Computation, 7, pp. 11–30. 1989.
- [DG07] Dorzán M. G., Gagliardi E. O. *Índice espacio-temporal D\*R-Tree: estudio experimental de su desempeño*. XIX Encuentro Chileno de Computación, Jornadas Chilenas de Computación 2007- UNAP, Iquique, Chile. 2007.
- [DGG06] Díaz, A.J.; Gagliardi, E. O.; Gutierrez, G.; *Algoritmo de reunión espacio-temporal usando MVR-Tree*. II Congreso sobre Ingeniería e Investigación Científica, Universidad Tecnológica del Perú (UTP), Lima, Perú. 2006.
- [DGG07] Díaz, A.J.; Gagliardi, E. O.; Gutierrez, G.; *Algoritmo de Reunión Espacio-Temporal usando estructura 3DR-tree podada*. XIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación 2007.
- [DGGG06] Dorzán M. G., Gagliardi E. O., Gómez Barroso J. G.; Gutiérrez Retamal G. A.. *Un nuevo índice eficiente para resolver diversas consultas espacio-temporales*. CLEI 2006, Santiago de Chile, 2006.
- [DS04] Dorigo M., Stützle T. *Ant Colony Optimization*. Massachusetts Institute of Technology. 2004.
- [Fe00] Fekete, S. P. *On simple polygonalizations with optimal area*. Discrete and Computational Geometry, 23, pp. 73-110. 2000.
- [FLM08] Fekete S., Lübbecke M. y Meijer H. *Minimizing the Stabbing Number of Matchings, Trees, and Triangulations*. Proceedings of the 15th ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms. 2008.
- [GGSH07] Gagliardi, E.O.; Giraudi, D. C.; Segura Guzmán, G. S.; Hernández Peñalver, *Estrategias de ruteo para redes móviles vinculadas a índices espacio-temporales*. XIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. 2007.
- [GL07] Gudmundsson, J., Levcopoulos, C.; *Minimum weight pseudo-triangulations*. Computational Geomtry. Theory and applications. Elsevier Vol. 38-pages 139-153, 2007.
- [GLHT07] Gagliardi E., Leguizamón M., Hernández Peñalver, G. Taranilla, M.T. *Algoritmo genético para la Descomposición de Minkowski de polígonos convexos*, XII Encuentro de Geometría Computacional, Valladolid, España. 2007.
- [LHL93] Liaw, B.C. ,Huang N.F., Lee, R.C.T. *The minimum cooperative guards problem on k-spiral polygons*, in Proc. of CCCG'93, pp. 97–101. 1993.
- [M04] Mulzer V. *Minimum Dilation Triangulation for the Regular n-gon*. 2004
- [MR06] Mulzer W., Rote G. *Minimum weight triangulation is NP-hard*. In Proceedings of the 22nd Annual ACM Symposium on Computational Geometry. 2006.
- [MF04] Michalewicz Z., Fogel D., *How to Solve It: Modern Heuristics*, 2nd Edition, Springer, 2004.
- [PV96] Pocchiola M.; Vegter G.. *Pseudo-triangulations: theory and applications*. Proceedings of the 12th Annual ACM Symposium on Computational Geometry: 291–300. 1996.
- [RSS06] Rote, Günter; Santos, Francisco; Streinu, Ileana. *Pseudo-triangulations - a survey*. 2006.
- [Zy06] Zylinski P., *Watched guards in art galleries*, Journal of Geometry 84.164–185. 2006.