

# Diseño de herramientas de análisis espacio-temporales para el estudio de bases de datos históricas

M.J. García Rodríguez<sup>1</sup>, A. Urrutia Zambrana<sup>1</sup> y M.A. Bernabé Poveda<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Mercator  
Universidad Politécnica de Madrid  
C<sup>a</sup>. Valencia km7, 28.031 Madrid  
{mjosegr, adolfo.urrutia}@topografía.upm.es  
{ma.bernabe}@upm.com

## Resumen

Los SIG están siendo aplicados a diferentes campos en los que el modelado dinámico de los fenómenos exige la componente temporal y el contexto espacial en el que se desarrollan. La variable temporal implica considerar aspectos como las escalas de tiempo, la granularidad y el comportamiento cíclico de algunos eventos, que hacen que la tarea sea algo más compleja que el simple añadido a la base de datos de columnas con indicación del instante de inicio y de terminación.

El trabajo que presenta este artículo se elabora en el contexto del proyecto “DynCoopNet” (*Dynamic Complexity of Cooperation-Based Self-Organizing Networks in the First Global Age*) uno de cuyos objetivos es el diseño de un conjunto de herramientas de análisis de datos espacio-temporales integradas en un SIG que permitan a los investigadores, el reconocimiento de patrones o comportamientos de actividades a lo largo del tiempo. Para el diseño del prototipo y su implementación en un SIG, se ha utilizado una extensa base de datos, disponible en Internet, sobre las rutas del comercio transatlántico de esclavos durante los siglos XVI al XIX. Esa base de datos cuenta con unos 35.000 viajes aproximadamente, donde se especifican más de 270 aspectos relacionados con cada uno de ellos, lo que permite analizar espacial y temporalmente el comportamiento de esos navíos y realizar diferentes visualizaciones dinámicas de lo acontecido. Este diseño se considera un punto de partida para el desarrollo de otras herramientas geoinformáticas.

**Palabras clave:** SIG, análisis espacio-temporal, visualización, servidor de mapas.

## **1 Introducción**

Desde su creación, los SIG han sido utilizados para la resolución de problemas de planificación territorial, medioambientales y geográficos. Desde los años 90, los SIG han incrementado su uso en diversos campos y aplicaciones, apreciándose también su potencial para la evaluación de actividades humanas y relaciones sociales [1]. Los SIG facilitan la gestión, y la representación de datos espaciales, modelando comportamientos de actividades en un contexto espacial, que interactúan con atributos temporales. Por ello, han suscitado un gran interés en los historiadores, que disponen de grandes bases de datos de acontecimientos que ocurren en el territorio. Los tipos de formato en los que están almacenadas esas bases de datos son poco manejables y difíciles de analizar en los SIG [2]. Su uso, aplicado a los estudios históricos, supone una tarea compleja, debido a la inadecuada estructuración de las bases de datos usadas en el ámbito histórico y a la ausencia en el SIG de herramientas de descubrimiento y gestión de patrones temporales. La evaluación y detección de estos patrones temporales está siendo una tarea de investigación [3].

Diferentes estudios afirman que el SIG, debe incrementar sus capacidades y desarrollar herramientas que contemplen el análisis de la variable temporal [3] [4]. Esas opiniones se fundamentan en que los modelos tradicionales son estáticos, dependientes de la componente espacial. Sin embargo, una representación más acorde con el mundo real debe implicar la incorporación de modelos dinámicos, dependientes de las variables espacial y temporal.

## **2 Motivación y Objetivos**

En este trabajo se describe la implementación de una base de datos histórica en un SIG, y el diseño de un prototipo en un entorno Web que permita el análisis de datos espacio-temporales, a través de una herramienta fácil y sencilla de manejar para usuarios no especializados. Asimismo, pretende servir de punto de partida para incentivar aplicaciones futuras en el campo de las ciencias sociales y humanidades. La herramienta diseñada en este proyecto permite a los historiadores generar consultas y análisis a un conjunto de datos espacio-temporales, obteniendo una representación dinámica de los resultados. El objetivo es poder descubrir patrones de comportamiento, fenómenos dinámicos que esclarezcan o evidencien realidades históricas poco confirmadas.

### 3 Antecedentes

Diversos autores han intentado describir las ventajas de los SIG en estudios históricos; ahora pueden re-evaluar sus datos no sólo con las herramientas de su tradicional base de datos sino empleando nuevas herramientas incorporadas en los SIG [5]. Sin embargo, muchos de estos estudios reflejan que existe todavía una falta de utilización y aplicación por la comunidad de historiadores; una de las mayores desventajas que señalan es el alto coste que supone lanzar un proyecto SIG [6]. Otros subrayan que esto se debe a que los SIG emplean mejor un tipo de datos que otros [7]. En resumen, se definen tres problemas básicos: las fuentes son incompletas, imprecisas o ambiguas, los SIG no manejan el tiempo y los SIG tratan mejor datos cuantitativos que cualitativos [8].

La integración del tiempo en los SIG, no es un problema nuevo. Desde hace más de 20 años, la comunidad científica está dirigiendo sus investigaciones y estudios hacia este tema. Las dificultades encontradas para dar este paso, se deben principalmente a las diferencias en el desarrollo de los SIG y Sistemas de Gestión de Bases de Datos (SGBD) que han seguido caminos distintos y separados. Los SIG se han enfocado a la resolución de problemas de datos espaciales, encontrando muchas dificultades para la incorporación de la componente espacial y temporal de un objeto en una misma base de datos. Muchos de los problemas asociados están relacionados con la actualización de las bases de datos que deberían de manifestar los cambios de los fenómenos u objetos en función del tiempo.

Al principio de los 90, surgieron los primeros estudios basados en la integración de la componente temporal a los SGBD [9] [10]. Los investigadores de modelos espacio-temporales comenzaron a abordar estos temas desde una perspectiva técnica y conceptual, en base a la implementación de estos modelos en un SIG [11] [12]. Muchos modelos se han propuesto la incorporación de la variable temporal a las bases de datos espaciales. Sin embargo, la información temporal está generalmente asociada a capas individuales, como el Modelo 'Cubo espacio-temporales' [13], Modelo 'Snapshot' [14], u objetos espaciales individuales como el Modelo compuesto espacio-temporal [15]. Otros estudios han dirigido sus modelos en base a eventos: aproximación del evento orientado [16], eventos basados en datos espacio-temporales (ESTDM) [17] [18], procesos [19], la evolución de objetos o fenómenos [20] [21] [22] o actividades [23]. Los estudios más recientes están desarrollando avances en bases de datos espacio-temporales como el modelo

‘Entidades intencionadamente relacionadas’ (*en inglés: Intentionally-Linked Entities-ILE*) [24] que permite representar entidades complejas y establecer un contexto relacional.

Aunque se han hecho grandes esfuerzos conceptuales para la construcción de bases de datos y prototipos basados en datos espacio-temporales, y de su implementación para una determinada aplicación, aún no existe un modelo global que pueda ser utilizado para cualquier aplicación. De hecho, la gran pregunta que sigue sin responderse es: ¿cómo pueden los SIG entender el concepto de temporalidad y razonar la información relacionada con el tiempo? [3]. Algunas de las teorías intentan simular el entendimiento humano del tiempo y el razonamiento espacio-temporal [25] [26] [27]. Otras de las aproximaciones se basan en la teoría de lógica borrosa (*fuzzy set theory*) [28] que realizan la clasificación de fenómenos u objetos teniendo en cuenta la incertidumbre de los datos temporales. Algunos de los estudios que han aplicado esta teoría para modelar el tiempo en los SIG son [29] [30] [31] [32] [33] [34].

El razonamiento del tiempo implica el conocimiento de su estructura, su esencia, su ontología. La definición de las ontologías de los modelos espacio-temporales es una de las cuestiones más importantes al abordar la integración del tiempo en los SIG. La ontología espacio-temporal consta de tres componentes fundamentales: *el qué, el dónde y el cuándo* de los fenómenos geográficos [35], esto significa que cada uno de los datos tiene propiedades temáticas, espaciales y temporales. El marco ontológico permite comprender los procesos dinámicos y eventos ocurridos en una determinada localización y tiempo específico. Según esto, podemos preguntar al sistema sobre tres tipos de preguntas básicas:

- Cuándo + Dónde → Qué: ¿Qué fenómenos se encuentran en un tiempo t y en una localización x?
- Cuándo + Qué → Dónde: ¿Cuál es la localización del fenómeno p en el tiempo t?
- Dónde + Qué → Cuándo: ¿Cuándo el fenómeno p visita la localización x?

## **4 Integración de la base de datos del comercio de esclavos en un SIG**

La fuente de datos elegida para realizar la implementación en un SIG y diseñar el prototipo se basa en información sobre el comercio transatlántico de esclavos, de libre acceso y disposición en el sitio Web ([www.slavevoyages.org](http://www.slavevoyages.org)). Los datos están recopilados por un grupo internacional de investigadores asociados con la Universidad de Emory que resulta ser muy adecuado para el estudio que se pretende. Posee un registro de alrededor de 35.000 viajes de comercio de esclavos, realizados entre los años 1519 y 1867, donde se especifican más de 270 aspectos relacionados con cada viaje (el nombre de cada navío, los puertos a los que llegaron, la cantidad de esclavos embarcados y desembarcados, la duración del viaje, el destino que tenían los barcos, etc.) que permitirá analizar espacio-temporalmente el comportamiento de esos barcos y realizar diferentes representaciones visuales de lo acontecido.

El formato de la información localizada (Ms Excel<sup>TM</sup>) consta de una única tabla de 274 columnas y 35.000 filas, que resulta poco práctica para los propósitos fijados. Por este motivo es necesario proceder a la transformación de su estructura utilizando las reglas de normalización de las bases de datos. Para ello, se procede a una revisión exhaustiva de cada una de las columnas, para tratar de entender las relaciones implícitas entre ellas e identificar las entidades que formarían posteriormente las tablas de la base de datos. Estas entidades estaban expresadas de forma dispersa.

### **4.1 Herramienta de normalización para el traslado de datos**

La estructura resultante, que generó una base de datos con un mayor número de tablas, imponía el traslado de la información del repositorio original (la hoja de MsExcel<sup>TM</sup>) hacia el nuevo (una etapa indispensable para tener datos de pruebas con los cuales trabajar con el prototipo). La tarea requería un proceso complejo de transformación de datos que iba más allá del colocar la información original en la casilla correspondiente en el nuevo almacén.

Se trataba del diseño e implementación de una herramienta informática capaz de entender las reglas de normalización [36] de las bases de datos relacionales y aplicarlas a un conjunto de datos en particular, y al tiempo que se movía la

información de un lado a otro, era necesario revisar la coherencia e integridad de lo que estaba siendo trasladado.

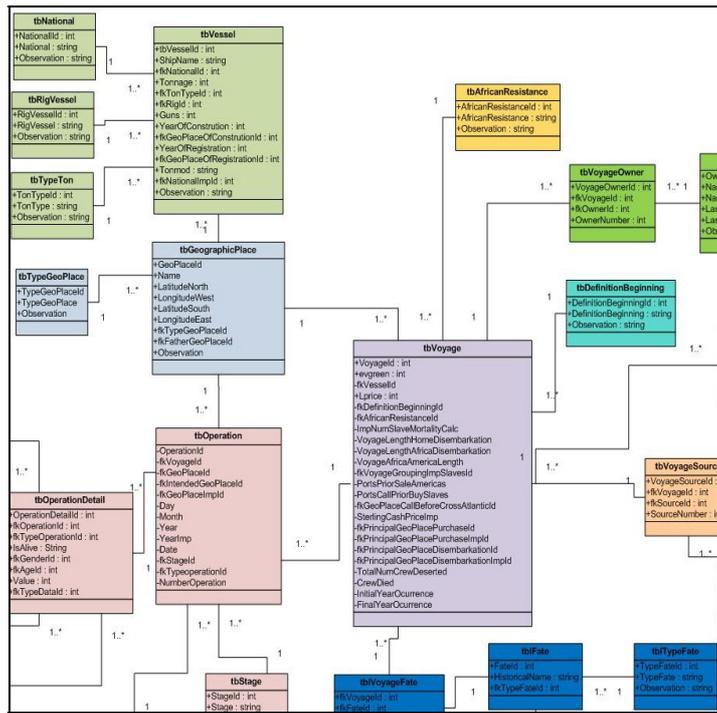
Hubo que evitar la introducción de información redundante acerca de los puertos, el nombre de los navíos, el nombre de los capitanes y el nombre del propietario, por mencionar algunos valores. Se requirió una depuración antes de comenzar a ser introducidos y un seguimiento detrás ser ingresados, con el objeto que en la nueva base de datos tampoco se tuvieran valores duplicados, tanto en su forma como en su significado.

En este punto de la investigación la implementación y puesta en marcha de la herramienta ha introducido una cantidad de viajes suficiente para el inicio de las pruebas del prototipo. La modularidad obtenida debido al diseño orientado a objetos [37], conllevará el beneficio de poseer cierto grado de reutilización de la herramienta al ser aplicada a casos similares.

#### **4.2. Modelo Conceptual en UML**

La estructura de la base de datos normalizada, aclaró cuáles eran las principales entidades estudiadas por los historiadores que habían creado la hoja de Ms Excel<sup>TM</sup>. Sin embargo, esto resulta ser el punto de partido de cualquier aplicación informática. Los siguientes pasos consistían en los Casos de Uso y el diseño del modelo de clases que proveerían la funcionalidad.

En la figura 1 se muestra un fragmento del modelo de la Base de datos que se generó después de la normalización de la hoja de Ms Excel<sup>TM</sup>. El modelo se encuentra en UML (*Unified Modeling Language*) como una forma de presentar un gráfico con simbología estándar.



Figural. Fragmento del modelo conceptual de la base de datos en UML. Los colores indican las diferentes partes en las que la base de datos puede ser analizada (navío, lugar geográfico, operaciones, resultado, propietario, capitán, viaje y fuente de datos). Este modelo es resultado de la normalización de la tabla Ms Excel<sup>TM</sup> descrita.

## 5. Diseño de herramientas de análisis espacio-temporal

### 5.1 Casos de Usos y Modelo de Clases

Como una actividad cuasi-paralela al análisis de la tabla que originalmente contenía los datos, se inició el modelado de los casos de uso. Estos deben reflejar los requerimientos que debe cumplir el prototipo, dejando especificados de forma escrita y gráfica las ideas que motivan la creación de esta aplicación.

La definición de cada uno de los módulos que se tienen que diseñar queda plasmada en el modelo de Casos de Usos UML (figura 2). Este está dividido en ocho secciones, cubriendo la parte de edición y consultas, con salida gráfica en ambos casos (Tabla 1).

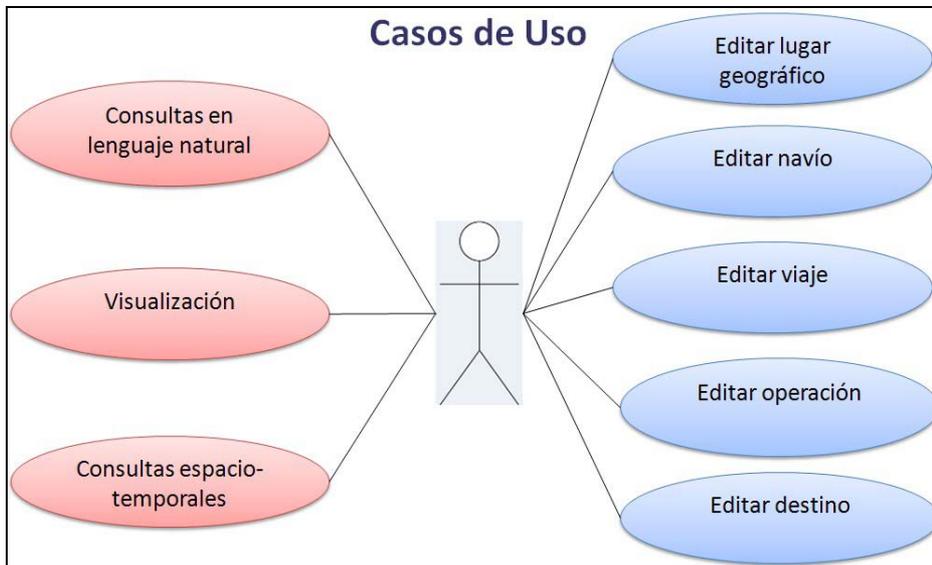
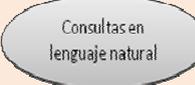


Figura 2. Diagrama de Casos de Usos que define los requerimientos de la herramienta diseñada.

Tabla 1. Descripción de Casos Usos.

Entidad	Descripción
	<b>Editar lugar geográfico:</b> Cada viaje está compuesto por una serie de puertos o regiones que son visitados en el transcurso del mismo. Con objeto de editar la información correspondiente a esas entidades se diseñó este módulo.
	<b>Editar Navío:</b> Permite la edición de las características de un navío (nombre, tipo, nacionalidad, tonelaje, año y lugar de construcción, etc.)

	<p><b>Editar Viaje:</b> Cada viaje es una entidad compuesta de diferentes características: el motivo del viaje, el año en que ocurrió, la duración entre sus diferentes etapas, etc. Este módulo permite crear el objeto “voyage” que unificará la información de todos ellos.</p>
	<p><b>Editar Operación:</b> El embarque de esclavos en cada uno de los puertos de África y el desembarco de estos en puertos americanos son la principal información de este módulo.</p>
	<p><b>Editar Destino:</b> El resultado final de un viaje, tanto si llegó con éxito al puerto de retorno como si fue capturado por piratas o hubo una revuelta tras la embarcación de los esclavos, es lo que se registra o consulta utilizando este módulo.</p>
	<p><b>Visualización:</b> Corresponde a la representación de los datos de forma dinámica en un mapa; de igual manera la introducción o consulta de datos se puede realizar a partir de este módulo.</p>
	<p><b>Consultas espacio-temporales:</b> Consultar directamente en un mapa sobre los acontecimientos que sucedieron en una región durante un período de tiempo es la función principal de este módulo.</p>
	<p><b>Consultas en lenguaje natural:</b> el objetivo es el de facilitar la escritura de consultas espacio-temporales complejas. Este módulo permite tanto la consulta en lenguaje SQL como la introducción de expresiones temporales en idioma español.</p> <p>Para evitar consultas en las que sean necesarios operadores de comparación y lógica booleana del tipo:</p> <pre>Select * From Table Where Fecha1 &lt;= 10/May/1809 AND Fecha1 &gt;= 20/Jul/1817</pre> <p>el módulo permitirá la sustitución de esos filtros por expresiones temporales en idioma español, que son mucho más asequibles a un buen número de usuarios:</p>

	<p><i>Select *</i>  <i>From Table</i>  <i>Where “Entre el 10 de mayo de 1809 y el 20 de julio de 1817”</i></p>
--	--

Tomando como base los requerimientos definidos en los casos de uso (figura 2), se continúa con el diseño de las clases que los satisfacen. Inicialmente se reutiliza el diseño de la base de datos, en la cual ya se encontraban definidas ciertas propiedades de las clases. Sin embargo, estas propiedades estaban enfocadas a la persistencia de los datos, por lo que para proveer el dinamismo que requería la futura visualización y las capacidades para realizar consultas espacio-temporales, se tuvo que incorporar nuevas propiedades y métodos.

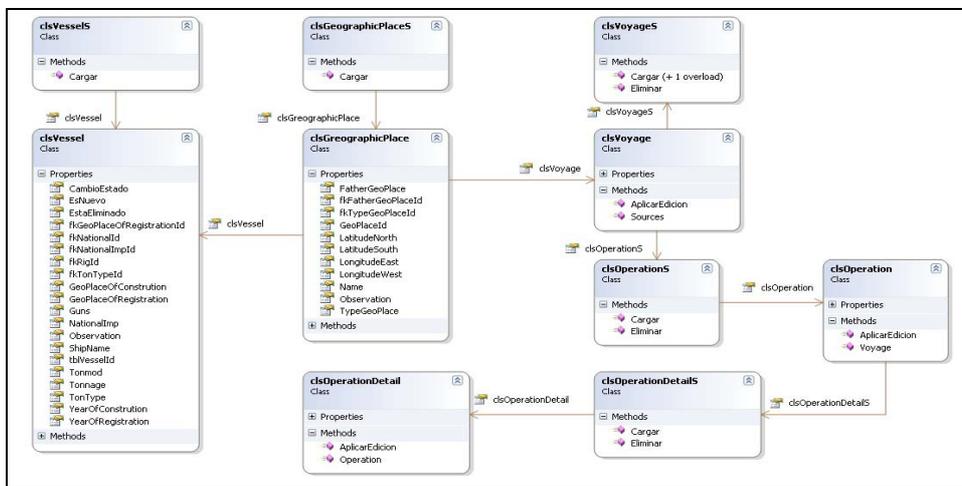


Figura 3. Fragmento del modelo de clases. Comparte una parte de las propiedades que ya se encontraban presentes en la base de datos, además de agregar nuevos atributos y funcionalidades para lograr las consultas espacio-temporales y la visualización de estas.

## 6. Diseño del interfaz de usuario en entorno Web

Con respecto al diseño del interfaz de usuario se ha proyectado un sistema que sea capaz de facilitar a los investigadores el poder crear preguntas sencillas en base a las posibles variaciones de una serie de parámetros, por ejemplo: *objeto, localización, tiempo, estado, cantidad y operadores lógicos* (Tabla 2).

Tabla 2. Ejemplo del esquema del interfaz de usuario basado en una variación de parámetros.

OBJECT	LOCATION	TIME	STATE	QUANTITY	OPERATOR
<i>¿Qué?</i>	<i>¿Dónde?</i>	<i>¿Cuándo?</i>	<i>¿Cómo?</i>	<i>¿Cuánto?</i>	OR
Navío	Aquí	Antes	Bueno	Un poco	AND
Esclavo	Cerca	Hoy	Malo	Mucho	NOT
Puerto	Lejos	Después	Regular	Bastante	XOR
Ruta	Alrededor	Siempre	Mejor	Mas	....
....	....	Nunca	Peor	Menos	
		Todavía	....	Todo	
		Entre		Nada	
		....		....	

En este proyecto nos encaminamos a desarrollar interfaces de usuario sencillas y manejables por investigadores con limitada experiencia en SIG, en las que se puedan crear una serie de preguntas coherentes en base a *¿Qué?, ¿Dónde?, ¿Cuándo?, ¿Cuánto?* y a los operadores lógicos OR, AND, NOT, XOR con todas las posibilidades que nos ofrece la base de datos implementada en el SIG. Así por ejemplo, podríamos preguntar *¿Cuántos barcos navegaron entre 1750 y 1800 en las proximidades de Cuba y cuál era la carga y estado de los esclavos transportados en cada uno de esos barcos?* Si nos fijamos en la tabla 1, estaríamos utilizando los siguientes parámetros: navío (*objeto*), Cuba (*localización*) entre 1750 y 1800 (*tiempo*), además se podría definir el estado de los esclavos en función un índice de mortalidad (*estado*) y resumir el numero de esclavos transportados en cada unos de los barcos (*cantidad*).

Apoyado en un modelado de clases de tipo iterativo incremental, en el que cada una de las etapas del diseño se reatualiza de cada implementación que se haga, se ha venido refinando ese modelo para poder responder consultas de forma alfanumérica y visual.

Las clases se encuentran detrás de cada una de las interfaces que se han diseñado, dando vida a la aplicación. Cada botón, cuadrícula, o entidad que representa el movimiento de un navío en el mapa, está controlado por un objeto que sirve de capa intermedia entre la interfaz gráfica, con la que se comunica el usuario, y la base de datos de donde se extrae o guarda la información (figura 4). Sin embargo, las clases no sólo se encargan de las tareas de introducción y edición de la información, sino que su otra funcionalidad es proporcionar las respuestas a las consultas espacio-temporales que son la base de esta pieza informática (figura 5). Los ejemplos que se muestran proceden de una simulación no operativa que se ha realizado para ilustrar gráficamente algunas de las ideas descritas.



*Figura 4. Prototipo del Interfaz de Usuario en entorno Web. Las consultas se realizan a través de los menús y los botones que están a su vez vinculados con las clases que proporcionan la funcionalidad requerida.*

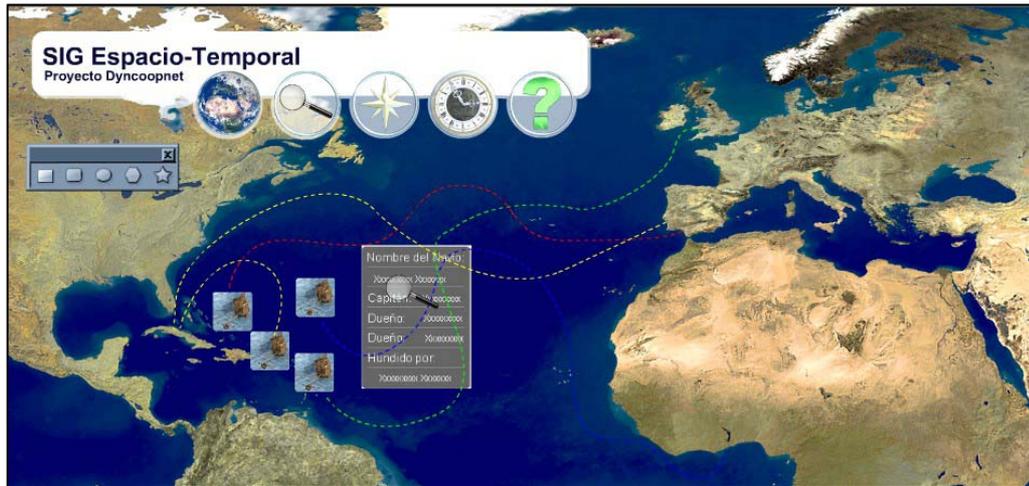


Figura 5. Visualización de una consulta espacio-temporal sobre los navíos capturados en Cuba durante el periodo 1750-1800

## 7 Conclusiones y Futuros trabajos

1. La exploración de los datos a través del espacio y el tiempo es una tarea crucial para los historiadores, ya que este tipo de análisis conducen al entendimiento de la ocurrencia de los eventos y de los procesos pasados.
2. En la actualidad, muy pocos programas comerciales SIG han desarrollado funcionalidades para incorporar la componente temporal. Los avances se han dirigido mayoritariamente al diseño de bases de datos que soporten componentes temáticas, espaciales y temporales, siendo esto solo una primera etapa del proceso.
3. La gestión de estos datos así como los análisis que surgen a partir de ellos, como los cambios experimentados por un fenómeno a lo largo del tiempo, la interpolación y la evaluación de la incertidumbre, constituyen una etapa muy significativa para la investigación.
4. El hecho de poder descubrir patrones de comportamiento, flujos de actividades espacio-temporales, rutas, etc. y la predicción de su evolución futura, continúa siendo el motor de nuestra investigación. Con este estudio se espera proporcionar información útil para la creación de teorías más sólidas sobre la interacción de entidades dinámicas en diferentes escenarios y contextos espacio-temporales.

En un futuro cercano:

Se completará el desarrollo de las herramientas a través de su implementación en diversas plataformas SIG. Esto nos permitirá mejorar el diseño de la base de datos, el diagrama de clases, y la herramienta que permite el traspaso de información desde los repositorios donde los historiadores han almacenado sus datos hacia una base de datos que cumpla con la reglas de normalización [37].

## Referencias

- [1] Goodchild, M.F., Anselin, L., Appelbaum, R.P. and Harthorn, B.H.: Toward spatially integrated social science. *International Regional Science Review*, 23(2): 139–159 (2000).
- [2] Owens, J.B.: What Historians Want from GIS? *GIS Best Practices: Essays on Geography and GIS*. Redlands, California: ESRI, 2008, pp. 35-46 (2008).
- [3] Peuquet, D.J.: Making Space for Time: Issues in Space-Time Data Representation. *GeoInformatica* 5 (1), pp. 11-32 (2001).
- [4] Spaccapietra, S.: Editorial: Spatio-Temporal Data Models and Languages. *GeoInformatica*, 5 (1), pp. 5-9 (2001).
- [5] Knowles, A.K.: Introduction. *Social Science History*, 24: pp.451–470 (2000).
- [6] Knowles A.K.: Introducing Historical GIS. In Knowles A.K.(ed.) *Past Time, Past Place: GIS for History*, ESRI Press: Redlands, CA. (2002).
- [7] Pickles J.: Arguments, Debates, and Dialogues: the GIS-social Theory Debate and the Concern for Alternatives. In Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J. and Rhind D.W.(eds.) *Geographical Information Systems: Principals, Techniques, Management and Applications*, 2nd edition Chichester: JohnWiley, pp.49–60 (1999).
- [8] Gregory, I.N., Ell, P.S.: *Historical GIS. Technologies, Methodologies, and Scholarship*. Cambridge Studies in Historical Geography, pp.227 (2008).
- [9] Roddick, J.F. y Patrick, J.D.: Temporal semantics in information systems-A survey. *Information systems*, Vol. 17, pp. 249-267 (1992).
- [10] Tansel, A.U.: *Temporal databases: theory, design, and implementation*, Benjamin/Cummings series on database systems and applications. Benjamin/Cummings Pub. Co., Redwood City, Calif. (1993).
- [11] Langran G.: *Time in Geographic Information System*. Taylor & Francis, (1992).
- [12] Peuquet, D.J.: *Representations of Space and Time*. New York: Guilford Publications (2002)
- [13] Hägerstrand, T.: What about people in regional science? *Papers of the Regional Science Association*, 24, pp. 7-21 (1970).

- [14] Armstrong, M. P.: Temporality in spatial databases. Proceedings, GIS/LIS'88, San Antonino, Texas, USA, Vol. 2, pp. 880 -889 (1988).
- [15] Langran, G. y Chrisman, N.: A framework for temporal geographical information systems. *Cartographica*, Vol. 25, No. 3, pp. 1-14 (1988).
- [16] Claramunt, C. y Theriault, M.: Managing time in GIS: an event oriented approach. In: *Recent Advances on Temporal Databases*, Eds.: Clifford, J. and A., Tuzhilin, Zurich: Springer-Verlag, Switzerland, pp. 23-42 (1995).
- [17] Peuquet, D.J. y Duan, N.: An event-based spatiotemporal data model (ESTDM) for temporal analysis of geographical data. *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 9, pp.7-24 (1995).
- [18] Chen, J. y Jiang, J.: An event-based approach to spatio-temporal data modeling in land subdivision systems. *Geoinformatica*. 2, pp. 387-402, (1998).
- [19] Yuan, M.: Temporal GIS and spatio-temporal modeling. Proceedings, Third International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling, NCGIA, CDROM. Santa Fe, New Mexico, USA (1996).
- [20] Usery, E.L.: A feature-based geographic information system model. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 62, pp. 833-838 (1996).
- [21] Wachowicz, M.: Object-oriented design for temporal GIS. London: Taylor & Francis (1999).
- [22] Hornsby, K. y Egenhofer, M.J.: Identity-based change: A foundation for spatiotemporal knowledge representation. *International Journal of Geographic Information Science*, 14, pp. 207-224 (2000).
- [23] Wang, D. and Cheng, T.: A spatio-temporal data model for activity-based transport demand modeling. *International Journal of Geographic Information Science*, 15, pp. 561-585 (2001).
- [24] Kantabutra, V.: A new type of database system: Intentionally-Linked Entities—a detailed suggestion for a direct way to implement the entity-relationship data model. *CSREA: EEE 2007*, pp. 258-263 (2007).
- [25] Allen, J.F.: Toward a general theory of action and time. *Artificial Intelligence*, 23 (2), pp. 123-154 (1984).
- [26] Galton, AP.: *Temporal logics and their application*. San Diego. Ed. Academic Press (1987).
- [27] Frank, AU.: Different types of “Times” in GIS. In Egenhofer MJ, Golledge RG (eds) *Spatial and Temporal reasoning in Geographic Information Systems*, New York-Oxford: Oxford University Press, pp. 40-62 (1998).
- [28] Zadeh, L.: Fuzzy sets. *Information and Control*, 8: 338-353 (1965).
- [29] Wang, F., Hall, G.B., Subaryono: Fuzzy information representation and processing in conventional GIS software: database design and applications. *Int. J. Geographical Information Systems* 4, pp. 261–283 (1990).

- [30] Pfoser D. y Tryfona N.: Fuzziness and Uncertainty in Spatiotemporal Applications. Chorochronos project report (2000).
- [31] Dragicevic, S. y Marceau, D.J.: A fuzzy logic approach for modeling time in GIS', *International Journal of Geographic Information Science*, vol. 14, no. 3, pp. 225-245 (2000).
- [32] Guesgen, H.W. y Albrecht, J.: Imprecise reasoning in geographic information systems. *Fuzzy Sets and Systems*, 113:1, pp 121-131 (2000).
- [33] Dragicevic, S.: Fuzzy sets for representing spatial and temporal dimensions in GIS databases. In *Spatio-temporal databases: Flexible querying and reasoning*, edited by De Caluwe R., De Tre G., Bordogna G., (Berlin: Springer), pp.11-28 (2004).
- [34] Raubal, M.: Representing Concepts in Time. *Spatial Cognition VI*, LNAI 5248, pp. 328–343(2008).
- [35] Peuquet, D.J.: It's About Time: A Conceptual Framework for the Representation of Temporal Dynamics in Geographic Information Systems. *An. Assoc. Amer. Geog.* 84, pp. 441-461 (1994).
- [36] Churcher C.: *Beginning Database Design*. Apress, Chapter 8, pag 146-155 (2009).
- [37] Booch, G., Maksimchuk, R. A., Engle, M.W., Young, B.J., Ph.D.,J. Conallen, Kelli A. Houston: *Object-Oriented Analysis and Design with Applications Third Edition*, Pearson Education, Inc, ISBN 0-201-89551-X, pp. 54-56 (2007).