

## DISEÑO DE PRIMITIVAS GEOMÉTRICAS ESPACIO-TEMPORALES PARA DESCRIBIR FENÓMENOS DINÁMICOS

ANA MALDONADO IBÁÑEZ<sup>1</sup>, ANTONIO VÁZQUEZ HOEHNE<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Instituto Geográfico Nacional y <sup>1,2</sup>Universidad Politécnica de Madrid

Madrid, España

<sup>1</sup> [amaldonado@fomento.es](mailto:amaldonado@fomento.es) <sup>2</sup> [antonio.vazquez.hoehne@gmail.com](mailto:antonio.vazquez.hoehne@gmail.com)

### RESUMEN

Este artículo afronta la descripción geométrica de fenómenos dinámicos y las relaciones existentes entre ellos y con su contexto espacio-temporal. Para ello introduce el diseño de primitivas geométricas espacio-temporales que consisten en una serie de estructuras básicas tridimensionales, resultantes de la representación de las estructuras espaciales ya conocidas (arco, cara, nodo) sobre la dimensión temporal. Estas primitivas propuestas son formalizadas mediante funciones matemáticas de coordenadas espacio-temporales que permiten representar relaciones entre estos fenómenos. Puesto que estamos frente a fenómenos dinámicos, las relaciones así obtenidas también se caracterizarán por su dinamismo. El artículo mostrará tanto la metodología para la creación de dichas primitivas geométricas, como la aplicación de algunas relaciones dinámicas en diversos casos de estudio.

Palabras clave: primitivas espacio-temporales, fenómenos dinámicos, topología espacio-temporal, SIG temporal.

### DESIGN OF SPATIO-TEMPORAL GEOMETRIC PRIMITIVES DESCRIBING DYNAMIC PHENOMENA

### ABSTRACT

This paper offers a new dynamic phenomena description and the consequent topological relationships, by introducing a new design of spatio-temporal geometrical primitives. These geometrical primitives consist in a set of 3D basic structures, which are the result of the well-known spatial primitives (arc, surface and node) extrusion along the temporal dimension. The new primitives here purposed are formalized through spatio-temporal mathematical functions, allowing the inference of the relationships existing in these phenomena. Since we are facing dynamic phenomena, the relationships inferred in this way, will be characterized by dynamicity. The paper

shows the methodology for creating such geometric primitives, but also shows its application inferring some dynamic relationships in different cases of study.

Keywords: spatio-temporal primitives, dynamic phenomena, spatio-temporal topology, temporal GIS.

## 1. Introducción

La evidente evolución temporal que sufren los fenómenos espaciales existentes en la vida real hace que la combinación del espacio y tiempo en una misma representación sea uno de los desafíos en la integración del tiempo en los SIG (Langran, 1992; Peuquet, 1994; Worboys, 1994; Claramunt y Thériault, 1995,1996; Claramunt *et al.*, 1998). De este modo se han ido sucediendo a lo largo del tiempo distintos esfuerzos para integrar la componente temporal en modelados de fenómenos geográficos, apareciendo distintos modelos que se dividen principalmente en dos categorías. En primer lugar, aquéllos que representan el tiempo de una manera discreta y no contemplan conceptos de transición o fenómenos dinámicos, como el modelo "snapshot" de Armstrong (1988) o la composición espacio temporal de Langran y Chrisman (1988). Y en un segundo lugar aquellos modelos que están basados en eventos, que sí son capaces de describir este tipo de fenómenos, como el de Peuquet y Duam (1995).

Sin embargo ninguno de estos modelos proporciona las geometrías espacio-temporales que describan, simultáneamente, tanto la disposición espacial como la temporal de los fenómenos dinámicos. El presente artículo es el fruto de una investigación centrada en la búsqueda de este modelo conceptual que permita por un lado representar fenómenos dinámicos mediante geometrías espacio-temporales y, por otro, analizar las relaciones topológicas existentes entre dichos fenómenos.

El punto de partida de esta investigación ha sido observar la manera en que el contexto espacial y el contexto temporal representan los fenómenos y sus relaciones. Por un lado, en el contexto espacial los fenómenos se representan mediante las primitivas espaciales ya conocidas (nodo, arco, cara). Y a partir de las coordenadas de las geometrías de estas primitivas se infieren las relaciones topológicas espaciales entre ellos (interseca, contiene, toca, etc.). Por otro lado, en el contexto temporal también nos encontramos con estructuras básicas con coordenadas temporales (instante, intervalo) que proporcionan relaciones topológicas temporales sobre la ocurrencia de fenómenos (antes, durante, después, etc.).

En el contexto espacio-temporal encontramos las relaciones definidas en términos cualitativos por Claramunt y Jiang (2000), que combinan relaciones espaciales y temporales en un término semántico, ver [figura 1](#), o las propuestas por Muller (1998) para la representación teórica del movimiento de entidades. También en Parent *et al.* (1999) ofrecen una estructura conceptual para modelar la dimensión espacial y temporal de manera integrada permitiendo relaciones cualitativas. Sin embargo, a pesar de existir estas relaciones cualitativas espacio-temporales, en el contexto espacio-temporal no contamos con primitivas geométricas para representar geoméricamente los fenómenos espaciales que evolucionan con el tiempo.

Por ello este artículo propone el diseño de primitivas geométricas espacio-temporales que permitan calcular relaciones entre fenómenos que varían en el tiempo. Estas primitivas geométricas espacio-temporales permiten representar en una misma forma geométrica tanto las coordenadas espaciales como las temporales de la evolución de un fenómeno dinámico. Consisten en una serie de estructuras básicas tridimensionales, que resultan de la representación de las estructuras espaciales ya conocidas (arco, cara, nodo) sobre la dimensión temporal. Estas primitivas propuestas son formalizadas mediante funciones matemáticas espacio-temporales, que permiten inferir relaciones entre estos fenómenos. Estas relaciones inferidas, puesto que estamos frente a fenómenos dinámicos, también se caracterizarán por su dinamismo, es decir, también variarán a lo largo del tiempo tras la aparición de los eventos que hacen variar dichos fenómenos.

### 1.1. Estado de la cuestión en representación de fenómenos dinámicos: "Feature Series"

En la búsqueda de métodos afines al nuestro para la representación de la evolución temporal de fenómenos se han encontrado aquéllos que se basan en el concepto de series temporales (más conocido como "Time Series"), particularmente aplicado a la representación de fenómenos espaciales, por lo se ha considerado adecuado introducir este concepto haciendo hincapié en las novedades aquí aportadas. Un ejemplo de representación de fenómenos espaciales basada en estas series temporales es el empleado en un modelo de un SIG histórico para representar el transcurso de la evolución de las unidades administrativas en China, desde la formación del primer Imperio Chino hasta la caída de la última dinastía (Berman, 2003). O también el mostrado en Keery y Binley (2007), donde aplican las *Time Series* para representar la variabilidad espacio-temporal de las fluctuaciones en las crecidas de agua de un río.

Estudios realizados en el Centro de Investigación de Recursos Acuáticos, en la Universidad de Texas en Austin, han proporcionado tres tipos de estructuras básicas dentro de estas series temporales que integran información espacial y temporal para representar datos geotemporales en los SIG: *Attribute Series*, *Feature Series*, and *Raster Series*, mostradas en la [figura 2](#) (Goodall, 2005). De estas estructuras la más afín a la representación combinada espacio-temporal aquí propuesta es la relativa a *Feature Series*, la cual está diseñada para almacenar y representar fenómenos que cambian su forma o localización a través del tiempo. Algunos ejemplos de aplicación de este tipo de estructura son: la delimitación de sucesivas zonas cubiertas por agua durante un periodo de inundación, el seguimiento de una partícula móvil que viaja por un entorno, o la modelización hidrológica de flujos (Goodall *et al.*, 2004).

Encontramos en diversos trabajos varias definiciones del concepto de *Feature Series*, como en el de Arctur y Zeiler (2004), que lo definen como una secuencia de registros donde la geometría de la forma del fenómeno representado varía o se mueve a lo largo del tiempo, poniendo un ejemplo de aplicación a la representación de polígonos de inundación que varían según varía la posición de una tormenta a lo largo del tiempo sobre un paisaje. Encontramos también la definición propuesta en Vassilopoulos (2009), en el que definen este concepto como una colección de fenómenos indexados en el tiempo.

Llegado a este punto podemos anticipar en qué consistirá la principal diferencia de la representación propuesta con las mencionadas más arriba: mientras que la *Features Series* representan un mismo fenómeno dinámico mediante una colección de entidades geométricas sucesivas asociadas a cada momento, en este trabajo proponemos representarlo mediante una sola entidad geométrica que sea capaz de reflejar la evolución temporal. Como muestra la [figura 3](#) ambas representaciones están relacionadas dado que las *Feature Series* se corresponden con secciones horizontales (planos de ecuación  $t=t_i$ ) aplicadas a la "geometría espacio-temporal" aquí propuesta.

Según lo expuesto, esta representación diseñada permitiría disminuir el almacenamiento de fenómenos dinámicos, ya que cada fenómeno se almacena con una sola forma geométrica, lo que además conllevaría una simplificación en las operaciones realizadas para calcular interacciones entre varios fenómenos dinámicos (Siabato y Colaiacomo, 2007).

Otra de las ventajas ofrecidas es que el tiempo deja de ser una magnitud discreta, convirtiéndose en una magnitud continua, y la información espacial de un fenómeno deja de registrarse en un número finito de momentos, registrándose durante todo el tiempo de existencia del fenómeno.

## 1.2. Estructura del artículo propuesto

El presente artículo contiene, tras este primer apartado de introducción, un segundo apartado que muestra la metodología seguida para diseñar las primitivas geométricas espacio-temporales y cómo son aplicadas en la obtención de relaciones dinámicas. En el tercer apartado se muestran varios casos de uso de estas primitivas y de relaciones entre ellas y, finalmente, en el cuarto apartado se exponen las conclusiones obtenidas tras la investigación realizada.

## 2. Descripción del método introducido

### 2.1. Diseño de primitivas geométricas espacio-temporales

Este trabajo combina la topología espacial y la topología temporal en un mismo mecanismo para permitir inferir relaciones espacio-temporales de varios fenómenos geográficos. Por tanto, de igual manera que la topología espacial necesita de una serie de primitivas espaciales, o la topología temporal necesita de una serie de primitivas temporales, para combinar ambas topologías introducimos las primitivas geométricas espacio-temporales.

Las primitivas espacio-temporales que proponemos en este artículo consisten en una serie de estructuras básicas tridimensionales resultantes de la representación de estructuras espaciales bidimensionales ya conocidas (arco, cara, nodo) sobre una tercera dimensión, la dimensión temporal. Por tanto, para su diseño hemos combinado, como muestra la [figura 4](#), las siguientes primitivas ya existentes:

- (1) las primitivas espaciales (nodo, arco, cara) y
- (2) de las primitivas temporales (instante, intervalo)

Por tanto, mediante la combinación de estas primitivas espaciales y las temporales hemos obtenido las primitivas espacio-temporales que se muestran en la [figura 5](#), que, en función de los límites temporales de la representación de entidades espaciales, las hemos clasificado en (1) **instantáneas**, si representan una entidad espacial en un momento instantáneo de tiempo, y (2) **temporales**, si representan una entidad espacial durante un intervalo definido de tiempo.

#### 2.1.1. Nodo instantáneo

Representa un fenómeno de tipo puntual que ocupa una posición  $x$ ,  $y$  en un único instante de tiempo  $t$ .

El caso de aplicación de esta primitiva es la descripción de un fenómeno puntual cuya existencia nos interesa exclusivamente en un determinado instante. Por ejemplo:

- una estación de tren en el momento que el tren pasa por ella,
- un árbol en el momento que cae un rayo,
- una persona en el momento que empieza un terremoto, etc.

#### 2.1.2. Nodo temporal

Representa un fenómeno de tipo puntual que ocupa una sucesión de posiciones  $x_i$ ,  $y_i$  durante un intervalo de tiempo  $[t_1, t_2]$ . Su expresión geométrica se corresponde con el segmento vertical que pasa por ese punto y que está comprendido entre las coordenadas de tiempo  $t_1$  y  $t_2$ . Sin embargo, si el fenómeno cambiase de posición  $x$ ,  $y$  durante ese intervalo de tiempo la expresión geométrica se correspondería con un segmento inclinado.

Si el fenómeno puntual a representar fuese una persona en movimiento tendríamos un caso especial de esta primitiva, ya que estaríamos frente a la trayectoria espacio-temporal realizada por la persona, análogas a las empleadas en "time geography" para representar trayectorias de personas (Miller, 1991; Miller, 2005) e incluso explicar interacciones entre ellas cuando realizan sus actividades (Yu, 2006).

El caso de aplicación de esta primitiva es la descripción de un fenómeno puntual cuya existencia nos interesa durante un intervalo de tiempo determinado. Por ejemplo:

- una estación de tren durante su horario de apertura,
- un árbol durante el tiempo que dura una tormenta,
- una persona durante el tiempo que dura un terremoto, etc.

### 2.1.3. Arco instantáneo

Representa un fenómeno de tipo lineal que ocupa una sucesión de posiciones durante un determinado momento  $t=t_1$ . Su expresión geométrica se corresponde con el conjunto de coordenadas  $x$ ,  $y$  que componen su trazado, siendo la coordenada  $t=t_1 = \text{CTE}$ .

El caso de aplicación de esta primitiva es la descripción de un fenómeno lineal cuya existencia nos interesa exclusivamente en un determinado instante. Por ejemplo:

- un río en el momento en que empieza una competición de remo,
- una vía de tren en el momento que el tren sale de la estación.

### 2.1.4. Arco temporal

Representa un fenómeno de tipo lineal que ocupa una sucesión de posiciones durante un intervalo de tiempo  $[t_1, t_2]$ . Su expresión geométrica se corresponde con la superficie vertical que pasa por conjunto de coordenadas  $x$ ,  $y$  que componen el trazado del fenómeno, y cuya altura está comprendida entre las coordenadas de tiempo  $t_1$  y  $t_2$ . Sin embargo, si el fenómeno cambiase de posición durante ese intervalo de tiempo la expresión geométrica se correspondería con una superficie inclinada.

El caso de aplicación de esta primitiva es la descripción de un fenómeno lineal cuya existencia nos interesa durante un intervalo de tiempo determinado. Por ejemplo:

- un río durante el tiempo que dura una competición de remo,
- una vía de comunicación durante un periodo de tiempo en el que se realizan una serie de obras sobre ella.

### 2.1.5. Cara instantánea

Representa un fenómeno que puede describirse mediante una superficie poligonal, que ocupa una posición durante un determinado momento  $t=t_1$ . Su expresión geométrica se corresponde con el conjunto de coordenadas  $x$ ,  $y$  que delimitan su perímetro, siendo la coordenada  $t=t_1 = \text{CTE}$ . Un ejemplo simplificado sería una cara circular cuya expresión geométrica se correspondería con la ecuación del círculo.

El caso de aplicación de esta primitiva es la descripción de un fenómeno superficial cuya existencia nos interesa exclusivamente en un determinado instante. Por ejemplo:

- un lago en el momento en que empieza a llover,
- un restaurante en el momento que lo abren, etc.

### 2.1.6. Cara temporal

Representa un fenómeno de tipo superficial que ocupa una sucesión de posiciones espaciales durante un intervalo de tiempo  $[t_1, t_2]$ . Su expresión geométrica se corresponde con el prisma recto que tiene por base el conjunto de coordenadas  $x, y$  que delimitan su perímetro y cuya altura está comprendida entre las coordenadas de tiempo  $t_1$  y  $t_2$ . Un ejemplo simplificado sería una cara circular en un intervalo de tiempo  $[t_1, t_2]$ , que quedaría representada mediante el cilindro que tiene como base la ecuación del círculo y alturas comprendidas entre  $t=t_1$  y  $t=t_2$ . Sin embargo, si el fenómeno cambiase de posición durante ese intervalo de tiempo la expresión geométrica se correspondería con un prisma inclinado.

El caso de aplicación de esta primitiva es la descripción de un fenómeno superficial cuya existencia nos interesa durante un intervalo de tiempo determinado. Por ejemplo:

- un lago durante el periodo de tiempo en que está lloviendo,
- un restaurante durante su horario de apertura, etc.

### 2.2. Obtención de relaciones espacio-temporales

Una vez formalizados los fenómenos espacio-temporales mediante formas geométricas y ecuaciones matemáticas, podemos calcular las relaciones existentes entre dichos fenómenos mediante la operación algebraica de intersección entre sus ecuaciones. Las relaciones derivadas de este cálculo son de tipo cuantitativo, es decir, nos proporcionan dónde (en qué coordenadas espaciales) y cuándo (en qué coordenadas temporales) intersecan dos o más fenómenos.

Posteriormente, una vez obtenidas estas relaciones de tipo cuantitativo (coordenadas  $x, y, t$  de intersección) podemos inferir las relaciones de tipo cualitativo entre los fenómenos (tocan, solapan, contiene, igual, etc.). La [figura 6](#) resume esquemáticamente el proceso descrito hasta obtener estas relaciones cualitativas.

Las relaciones cualitativas así definidas son también variables a lo largo del tiempo, por tanto, al igual que hicimos con las formas geométricas, las clasificamos en **instantáneas** y **temporales** en función de si la relación se cumple en un instante determinado o durante un intervalo de tiempo. Por tanto, tendremos cada relación cualitativa dividida en estas dos clases, por ejemplo:

- "*tocan instantáneamente*": dos fenómenos se tocan sólo por un instante de tiempo.
- "*tocan temporalmente*": dos fenómenos se tocan durante un intervalo de tiempo.
- "*solapan instantáneamente*": dos fenómenos se solapan sólo por un instante de tiempo.
- "*solapan temporalmente*": dos fenómenos se tocan durante un intervalo de tiempo.
- etc.

## 2.2.1. Formalización del proceso de obtención de relaciones espacio-temporales

Suponiendo dos fenómenos dinámicos expresados mediante sus correspondientes geometrías espacio-temporales  $F_1$  y  $F_2$ , vamos a describir cómo sería el procedimiento para inferir las relaciones espacio-temporales existentes entre ambos fenómenos. La relación existente entre ellos se obtiene analizando la solución  $S$  de la intersección entre las ecuaciones de ambas geometrías, es decir, analizando  $S = F_1 \cap F_2$ .

(1) En primer lugar, analizando la existencia o no existencia de  $S$ , nos podemos encontrar con dos casos:

- $\nexists S \forall t$ : No existe ninguna solución  $S$  a la intersección de ambos fenómenos para ningún momento  $t$ . Esto implicaría que en ningún momento ambos fenómenos han coincidido en el mismo lugar.
- $\exists S \forall t$ : Existe una solución  $S$ . Implica que ambos fenómenos han coincidido a la vez en el mismo sitio. En el paso siguiente se determina si la coincidencia a sido "*temporal*" o "*instantánea*"

(2) En segundo lugar, analizando la dimensión temporal de la solución  $S$ , nos podemos encontrar con otros dos casos:

- $S \in (t_1, t_2)$ : La solución  $S$  está contenida en un intervalo de tiempo comprendido entre  $t_1$  y  $t_2$ , es decir, ambos fenómenos han coincidido en un mismo sitio durante un periodo de tiempo, por lo que la relación es de tipo "*temporal*"
- $S \in t_i$ : La solución  $S$  está contenida en un único momento  $t = t_i$ , es decir, ambos fenómenos han coincidido en un mismo sitio sólo durante un instante de tiempo, por lo que la relación es de tipo "*instantáneo*"

(3) Por último, analizando la dimensión  $(x, y)$  de la solución se puede inferir el tipo de relación cualitativa espacial (tocan, contenido, solapan, etc.) que ha habido entre ambos fenómenos.

A continuación mostramos un ejemplo, acompañado de la [figura 7](#), de relación "*tocan instantáneamente*" y "*tocan temporalmente*" existentes entre dos fenómenos definidos mediante primitivas geométricas de tipo "*cara temporal*", uno delimitado con perímetro circular (ej., un lago) y el otro con un perímetro cuadrado (ej., un campo de fútbol):

- Relación "*tocan instantáneamente*": esta relación se cumple cuando la solución  $S$  de la intersección de las geometrías espacio-temporales de dos fenómenos pertenece a un instante de tiempo  $t$  y a una posición espacial puntual. Es decir, ambos fenómenos se tocan en un punto durante un instante de tiempo.

En el ejemplo considerado (lago y campo de fútbol) esta relación se puede dar cuando un lago aumente su caudal en un momento puntual llegando a tocar al campo de fútbol.

- Relación "**tocan temporalmente**": esta relación se cumple cuando la solución S de la intersección de las geometrías espacio-temporales de dos fenómenos pertenece a un intervalo de tiempo  $[t_1-t_2]$  y a una posición puntual. Es decir ambos fenómenos se tocan en un punto durante un intervalo de tiempo.

Usando el mismo ejemplo, esta relación se puede dar cuando un lago aumente su caudal durante un periodo de tiempo llegando a tocar en un punto al campo de fútbol durante ese periodo de tiempo.

### 3. Casos de uso

A continuación vamos a mostrar dos supuestos de representación de fenómenos espacio-temporales y de obtención de sus relaciones, mediante el uso de las primitivas geométricas y relaciones definidas en este artículo. Estos dos casos, que describen situaciones hipotéticas, son ejemplos que podrían ser generalizados a otras situaciones en las que aplicar el método propuesto.

#### 3.1. Representación del periodo de inundación de un árbol

Este caso supuesto va a mostrar la relación entre un lago, cuyo perímetro varía debido a eventos meteorológicos, representado mediante una primitiva de tipo "cara temporal", y un árbol situado a poca distancia de él, representado mediante una primitiva de tipo "nodo temporal".

Este caso podría ser generalizable para la representación de pertenencias de cuerpos (móviles o no) a un área que cambia de forma y situación. Ejemplos a gran escala sería la representación de la pertenencia de diversos fósiles a distintas estructuras geológicas que han evolucionado a lo largo de diversos periodos prehistóricos. O el análisis de los periodos de convivencia en un mismo territorio para dos especies distintas cuya ocupación ha variado a lo largo de la evolución. Y como ejemplos a menor escala podemos mencionar el cálculo de horas de sol que reciben distintos árboles situados en distintos lugares con diferente orientación, o el cálculo de tiempo de exposición de diversas personas situadas en distintas posiciones a fenómenos contaminantes cuya extensión varía a lo largo del tiempo.

A continuación se describe el caso supuesto:

- La unidad de medida temporal en este ejemplo es de meses y el intervalo de tiempo escogido para estudiar estos fenómenos es el comprendido entre el mes de enero ( $t=1$  mes) y el mes de septiembre ( $t=9$  meses).
- El lago está centrado en punto de coordenadas (5,5) y tiene un radio perimetral  $R=2$  m. Este radio aumenta en el mes de abril ( $t=4$  meses) debido a un incremento de precipitaciones, alcanzando un valor de  $R=4$  m. Y posteriormente disminuye en el mes de julio ( $t=7$  meses), debido a un aumento de evaporación, alcanzando un valor de  $R=3$  m.

- El árbol está situado en un punto de coordenadas (8,5) y su posición se considera fija durante el intervalo de tiempo de estudio.

En este caso se han aplicado las primitivas y relaciones diseñadas en el artículo para representar el periodo de inundación del lago durante el aumento de caudal producido en el intervalo de tiempo prefijado (de  $t = 1$  a  $t = 9$  meses).

La [figura 8](#) muestra la representación de las primitivas espacio-temporales que representan ambos fenómenos, cuyas ecuaciones geométricas son las siguientes:

- Expresión geometría del lago ( $F_1$ ): Se corresponde con la ecuación de un cilindro cuyo radio varía durante un intervalo de tiempo. Para ello se emplea la ecuación del círculo para cada intervalo de tiempo  $(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \leq R^2$ , siendo  $(x_0, y_0)$  las coordenadas del centro del círculo y  $R$  su radio.

$$F_1 = \begin{cases} \forall t \in [1,4] \Rightarrow (x - 5)^2 + (y - 5)^2 \leq 2^2 \\ \forall t \in [4,7] \Rightarrow (x - 5)^2 + (y - 5)^2 \leq 4^2 \\ \forall t \in [7,9] \Rightarrow (x - 5)^2 + (y - 5)^2 \leq 3^2 \end{cases}$$

- Expresión geométrica del árbol ( $F_2$ ): Se corresponde con las coordenadas de su posición espacial durante todo el intervalo de tiempo de estudio.

$$F_2 = \begin{cases} \forall t \in [1,9] \Rightarrow \begin{cases} x = 8 \\ y = 5 \end{cases} \end{cases}$$

Una vez que se tienen las expresiones geométricas de ambos fenómenos se puede calcular analíticamente su intersección, obteniéndose las siguientes soluciones:

$$F_1 \cap F_2 = \begin{cases} \forall t \in [1,4] \Rightarrow \text{No solución} \\ \forall t \in [4,7] \Rightarrow x = 8, y = 5 \quad (\text{pto} \subset \text{lago en ese periodo de } t) \\ \forall t \in [7,9] \Rightarrow x = 8, y = 5 \quad (\text{pto} \subset \text{perímetro lago en ese periodo de } t) \end{cases}$$

A partir de estas relaciones podemos inferir las relaciones cualitativas que varían a lo largo del tiempo que, como se muestra en la [figura 9](#), son las siguientes:

- $t [1,4] \Rightarrow$  el árbol no interseca con el lago. Por tanto hay una relación de **“disjuntos temporalmente”** entre ambos fenómenos.
- $t [4,7] \Rightarrow$  el árbol interseca con el lago en un punto interior al perímetro del lago. Por tanto se dan las relaciones **“contiene temporalmente”**.

- $t [7,9] \Rightarrow$  el árbol intersecta con el lago en un punto del perímetro del lago. Por tanto hay una relación de "***se tocan temporalmente***"

### 3.2 Representación del recorrido de una persona por las áreas de actividad de una ciudad

Este caso pretende mostrar la aplicación de las geometrías espacio-temporales en "*time geography*" para inferir relaciones existentes entre trayectorias de objetos móviles con un contexto espacio-temporal dinámico. Concretamente este supuesto va a consistir en averiguar a qué horas pasó una persona por las áreas de actividad de una ciudad, considerando dichas áreas de actividad aquellas zonas donde se desarrolla la actividad más intensa a lo largo del día, varían, por tanto, a lo largo del tiempo en función de la zona horaria.

Un ejemplo de aplicación a gran escala podría ser sobre los desplazamientos de una tribu prehistórica durante una invasión o emigración, analizando sus estancias en poblados o territorios cuya posición y forma han ido variando durante el tiempo de ese desplazamiento. Y como ejemplo a menor escala sería la capacidad de analizar si el recorrido de un taxi es el óptimo a lo largo de todo un día, comprobando si pasa por las zonas de mayor confluencia de personas en cada momento.

A continuación se describe el caso supuesto:

- La unidad de medida temporal usada para este ejemplo va a ser de horas y el intervalo de tiempo escogido para estudiar estos fenómenos es el comprendido entre las 7:00 horas y las 23:00 horas.
- Para las áreas de actividad de la ciudad consideramos las áreas de influencia ("*buffer*") alrededor de diversos puntos de actividad en función de la hora:
  - De 7:00 a 20:00 se considera un "*buffer*" de 5 Km sobre centro de la zona de oficinas.
  - De 20:00 a 23:00 se considera un "*buffer*" de 2 Km sobre el centro de la ciudad, ya que es la zona de restauración.

Como muestra la [figura 10](#), estas áreas de actividad quedan representadas por primitivas geométricas de tipo área temporal y su expresión geométrica es la siguiente ecuación  $F_1$ :

$$F_1 = \begin{cases} \forall t \in [7 - 20] \Rightarrow (x - 10)^2 + (x - 10)^2 \leq 25 \\ \forall t \in [20 - 22] \Rightarrow (x - 20)^2 + (x - 20)^2 \leq 4 \end{cases}$$

- La persona que camina por la ciudad parte a las 7:00 horas de un punto de coordenadas (0,0) y anda en línea recta hasta llegar al punto de coordenadas (18,11) a las 17:00 horas, haciendo un quiebro de dirección en ese momento hasta llegar al punto (30,20) a las 22:00 horas.

Para representar la geometría espacio-temporal de este movimiento realizado se emplea una primitiva de tipo "nodo temporal", para describir el movimiento realizado por una persona que es una representación análoga a las trayectorias espacio-temporales de "time geography", como mencionamos en la introducción.

La expresión geométrica de la persona en movimiento se corresponde con la siguiente ecuación  $F_2$ , que es la ecuación de las rectas que representan la trayectoria espacio-temporal, (obtenidas mediante el método de ecuación de una recta que pasa por dos puntos):

$$F_2 = \begin{cases} \forall t \in [7-17] \Rightarrow \begin{cases} x = t * (18/17) \\ y = t * (11/17) \end{cases} \\ \forall t \in [20-22] \Rightarrow \begin{cases} x = 3 * t - 33 \\ y = (9/4) * t - 27 \end{cases} \end{cases}$$

Una vez que se tienen las expresiones geométricas de ambos fenómenos se puede calcular analíticamente su intersección, obteniéndose las siguientes soluciones  $S_1$  y  $S_2$ :

$$F_1 \cap F_2 = \begin{cases} \forall t \in [7,20] \Rightarrow \begin{cases} S_1 : x_1 = 8,5; y_1 = 5,2; t_1 = 8 \\ S_2 : x_1 = 15; y_1 = 9; t_2 = 14 \end{cases} \\ \forall t \in [20,22] \Rightarrow \text{No solución} \end{cases}$$

Es decir, la persona cruza la primera zona de actividad en el intervalo de tiempo comprendido entre las 9:00 y las 14:00 horas. A partir de estas soluciones podemos inferir las relaciones cualitativas que, como se muestra en la [figura 11](#), son las siguientes:

- $t [7,20] \Rightarrow$  La persona interseca con el área de actividad generada alrededor de la zona de oficinas, es decir, pasa por esa zona en un momento de actividad. Por tanto, se da la relación de "**dentro temporalmente**" entre ambos fenómenos.
- $t [20,22] \Rightarrow$  No hay intersección, la persona no pasa por ninguna zona de actividad. Por lo tanto, se da la relación de "**disjuntos temporalmente**"

#### 4. Conclusiones

El presente artículo muestra un nuevo diseño conceptual dirigido a la integración de la componente temporal en los sistemas geográficos, mostrando, además, cómo llevar a la práctica esta aportación teórica. El diseño propuesto permite la representación de fenómenos dinámicos que

Maldonado Ibáñez, A., Vázquez Hoehne, A. (2010): "Diseño de primitivas geométricas espacio-temporales para describir fenómenos dinámicos", *GeoFocus (Artículos)*, n° 10, p. 232-251. ISSN: 1578-5157

---

varían a lo largo del tiempo y también la representación de relaciones existentes entre éstos que, al referirse a fenómenos dinámicos, se caracterizarán también por su dinamismo.

Para ello se han diseñado, como principal aportación de la investigación, las primitivas geométricas espacio-temporales que surgen de la combinación de las primitivas de dimensión espacial y temporal, obteniendo estructuras de tres dimensiones (dos espaciales más una temporal). De manera esquemática, la representación espacio-temporal de fenómenos dinámicos queda formalizada mediante las seis estructuras básicas siguientes:

- Nodo instantáneo
- Nodo temporal
- Arco instantáneo
- Arco temporal
- Cara instantánea
- Cara temporal

Las ecuaciones geométricas de estas estructuras formalizan matemáticamente dichos fenómenos variables en el tiempo, lo que ha permitido calcular e inferir las relaciones existentes entre dichos fenómenos. Debido a la variación temporal que sufren las relaciones existentes entre estos fenómenos, se ha introducido una clasificación de las relaciones cualitativas en función de su duración temporal, obteniendo así relaciones instantáneas y temporales.

Una de las ventajas de esta manera de afrontar la representación espacio-temporal es la capacidad que permite inferir relaciones entre fenómenos dinámicos mediante cálculos matemáticos entre los cuerpos geométricos de las primitivas propuestas.

El segundo caso de estudio ha mostrado una aplicación en la representación de los movimientos de las personas durante un desplazamiento, permitiendo la inferencia de relaciones debidas a la interacción de dicho movimiento con su contexto espacio-temporal, como dijimos, representación análoga a las trayectorias espacio-temporales de "time geography".

## Referencias bibliográficas

- Arctur, D. y Zeiler, M. (2004): *Designing Geodatabases: Case Studies in GIS Data Modeling*. Redlands, ESRI Press, xi, 393 s. ISBN 1-58948-021-X.
- Armstrong, M. (1988): "Temporality in Spatial Databases". *Proceedings: GIS/LIS'88*, 2, pp. 880-889
- Berman, L. (2003): "Data model for historical GIS: The CHGIS time series" Unpublished manuscript.
- Claramunt, C. y Thériault, M. (1995): "Managing time in GIS: An event-oriented approach", en Clifford, J. and Tuzhilin, A. (Ed.): *Recent Advances in Temporal Databases*, Berlin Springer-Verlag, pp. 23-42.

























































- Claramunt, C. y Thériault, M. (1996): "Toward semantics for modelling spatio-temporal processes within GIS", en Kraak, M. J. and Molenaar, M. (Ed.): *Advances in GIS Research I*. London, Taylor and Francis, pp. 27-43
- Claramunt C.; Thériault, M. y Parent C. (1998): "A Qualitative Representation of Evolving Spatial Entities in Two-dimensional Topological Spaces", en Carver S (Ed.) *Innovation in GIS*. London, Taylor and Francis, pp. 128-129
- Claramunt, C. y Jiang, B. (2000). "A representation of relationships in temporal spaces", en Martin, D. and Arkinson, P. (Ed): *Innovations in GIS VII: Geocomputation*, London, Taylor and Francis, pp. 41-53.
- Goodall, J. L.; Maidment D. R. y Sorenson. J. (2004): "Representation of Spatial and Temporal Data in ArcGIS", en *GIS and Water Resources III*. AWRA, Nashville, TN.
- Goodall, J.L. (2005): *A geotemporal framework for hydrologic analysis*, tesis doctoral de la Universidad de Texas en Austin, 209 páginas, 3203502.
- Keery, J., A.; Binley, N.; Crook y Smith, J. W. N. (2007): "Temporal and spatial variability of groundwater-surface water fluxes: Development and application of an analytical method using temperature time series", *J. Hydrol.*, 336, doi:10.1016/j.jhydrol.2006.12.003.
- Langran, G. (1992): *Time in Geographic Information Systems*. London, Taylor & Francis.
- Langran G. y Chrisman R. (1998): "A framework for temporal geographic information", *Cartographica*, 25, pp. 1-14
- Miller, H. J. (2004): "Activities in space and time," en Stopher, P.; Button, K.; Haynes, K. and Hensher, D. (eds.): *Handbook of Transportation Research 5: Transport Geography and Spatial Systems*, Pergamon, Elsevier Science, pp. 647-660.
- Miller, H. J. (1991): "Modelling accessibility using space-time prism concepts within geographical information systems", *International Journal of Geographical Systems*, 5: 287-301;
- Miller H. J. (2005): "A measurement theory for time geography", *Geographical Analysis* 37 pp.17 – 45
- Muller, P. (1998): "A Qualitative Theory of Motion Based on Spatio-Temporal Primitives", en Cohn, A.; Schubert, L. and Shapiro, S. (Ed), *Proceedings of the 61th International Conference Principles of Knowledge representation and Reasoning*. pp 131-142.
- Parent C. et al. (1999): "Spatio-temporal conceptual models: data structures + space + time". *Proceedings of the 7th ACM international symposium on Advances. Geographic information systems*. pp: 26 – 33 Kansas City, Missouri, United States.
- Peuquet, D. J. (1994): "It's about time: A conceptual framework for the representation of temporal dynamics in geographic information systems", *Annals of the Association of the American Geographers*, 84, 3 pp. 441-461.
- Peuquet, D. J. y Duan, N. (1995): "An event-based spatiotemporal data model (ESTDM) for temporal analysis of geographical data", *International Journal of Geographical Information Systems*, 9, 1. pp.7-24
- Siabato, W. y Colaiacomo, L. (2007): "Generation of Geographic Dynamic Information Storage Based on GML". *Proceedings of the GeoWeb 2007 Conference-From Mashups to Infrastructure*, Vancouver - Canada: Galdos Systems Inc. pp.85-90
- Vassilopoulos, A. (2009): "Geoinformation technologies for geocultural landscapes: European perspectives", en Vassilopoulos, A.; Evelpidou, N.; Bender, O. and Krek, A. (Ed.). CRC Press/Balkema, 291 páginas.

Maldonado Ibáñez, A., Vázquez Hoehne, A. (2010): "Diseño de primitivas geométricas espacio-temporales para describir fenómenos dinámicos", *GeoFocus (Artículos)*, nº 10, p. 232-251. ISSN: 1578-5157

Worboys, M. F. (1994): "A unified model of spatial and temporal information", *Computer Journal*, 37, 1 pp. 26-34.

Yu, H. (2006): "Spatio-temporal GIS Design for Exploring Interactions of Human Activities", *Cartography and Geographic Information Science*, 33, 1. pp. 3-19 (17).

### FIGURAS

TR	equals	before/after	meets/met	overlaps/overlapped	during/contain	starts/started	finishes/finished
SR							
equals	EQUAL	DISJ	TOUCH	OVL	CVRD/CVR	CVRD/CVR	CVRD/CVR
touch							
touch	TOUCH	DISJ	TOUCH	TOUCH	TOUCH	TOUCH	TOUCH
in							
in	CVRD	DISJ	TOUCH	OVL	IN/OVL	CVRD/OVL	CVRD/OVL
contain							
contain	CVR	DISJ	TOUCH	OVL	OVL/CON	OVL/CVR	OVL/CVR
cover							
cover	CVR	DISJ	TOUCH	OVL	OVL/CVR	OVL/CVR	OVL/CVR
covered							
covered	CVRD	DISJ	TOUCH	OVL	CVRD/OVL	CVRD/OVL	CVRD/OVL
overlap							
overlap	OVL	DISJ	TOUCH	OVL	OVL	OVL	OVL
disjoint							
disjoint	DISJ	DISJ	DISJ	DISJ	DISJ	DISJ	DISJ

**Figura 1: Representación de relaciones espacio-temporales**

Fuente: Claramunt y Jiang (2000)

Maldonado Ibáñez, A., Vázquez Hoehne, A. (2010): "Diseño de primitivas geométricas espacio-temporales para describir fenómenos dinámicos", *GeoFocus (Artículos)*, n° 10, p. 232-251. ISSN: 1578-5157

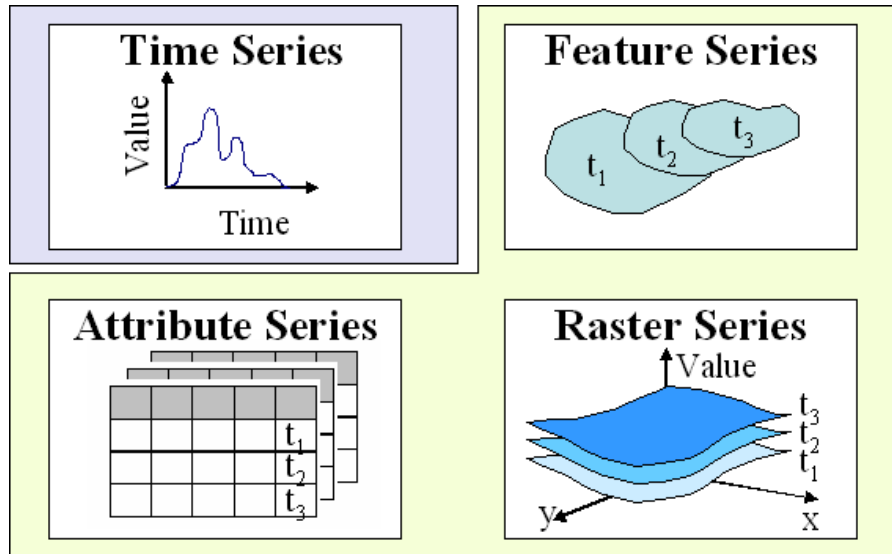


Figura 2: Estructuras básicas temporales

Fuente: Goodall *et al.* (2004)

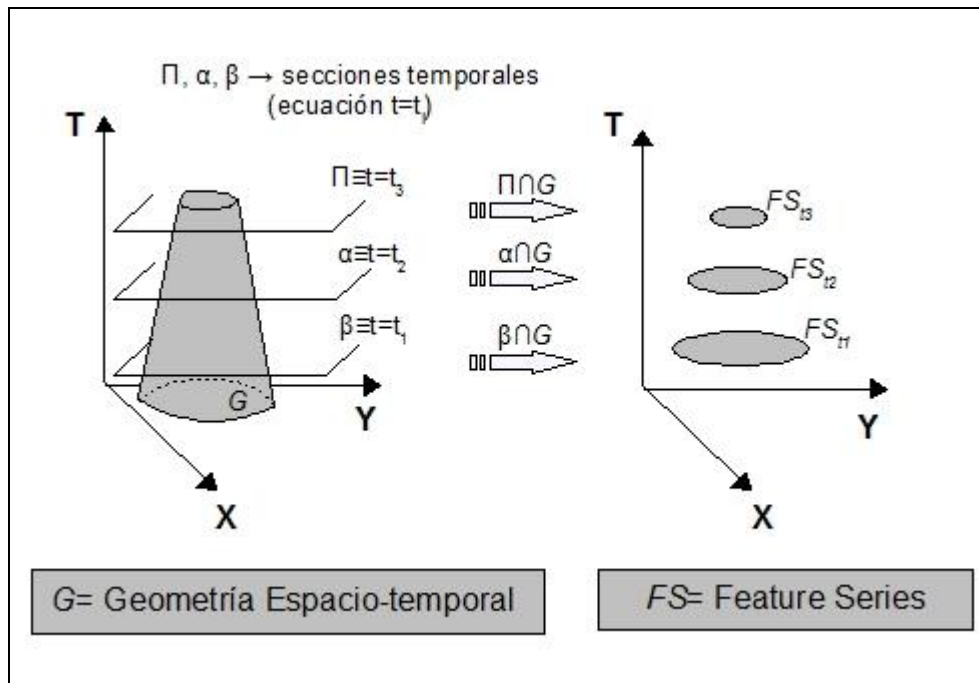
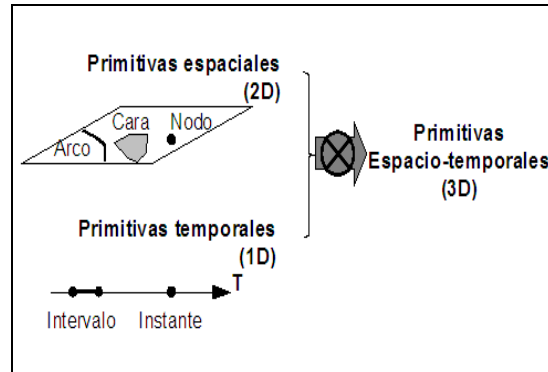
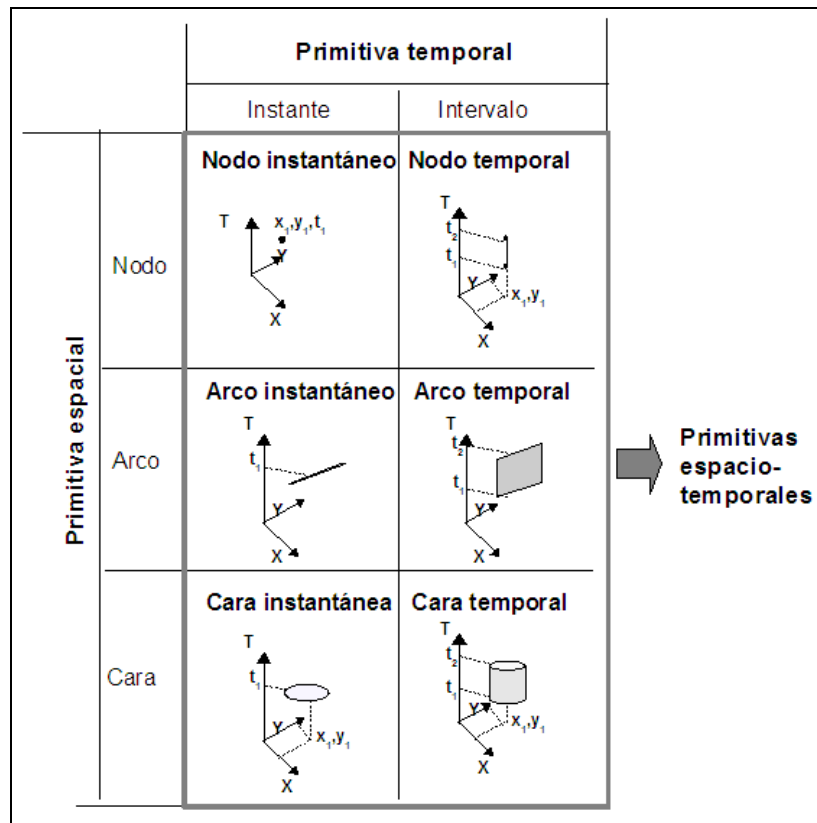


Figura 3: Relación entre Geometría Espacio-Temporal y *Feature Series*

Maldonado Ibáñez, A., Vázquez Hoehne, A. (2010): "Diseño de primitivas geométricas espacio-temporales para describir fenómenos dinámicos", *GeoFocus (Artículos)*, nº 10, p. 232-251. ISSN: 1578-5157

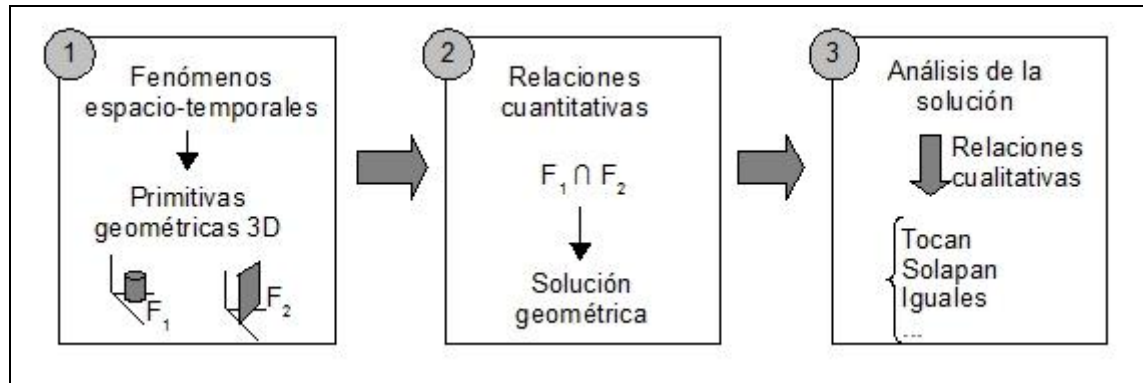


**Figura 4: Diseño de primitivas espacio-temporales**

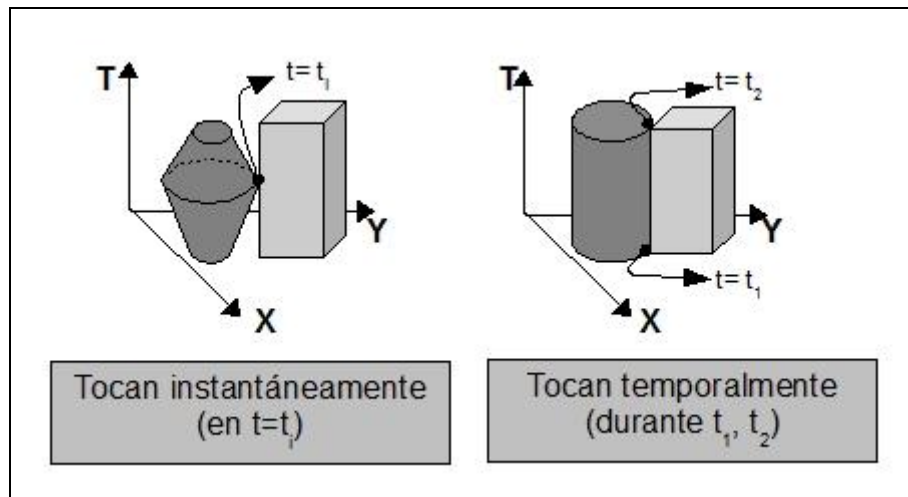


**Figura 5: Esquema de Primitivas geométricas diseñadas en el artículo**

Maldonado Ibáñez, A., Vázquez Hoehne, A. (2010): "Diseño de primitivas geométricas espacio-temporales para describir fenómenos dinámicos", *GeoFocus (Artículos)*, nº 10, p. 232-251. ISSN: 1578-5157

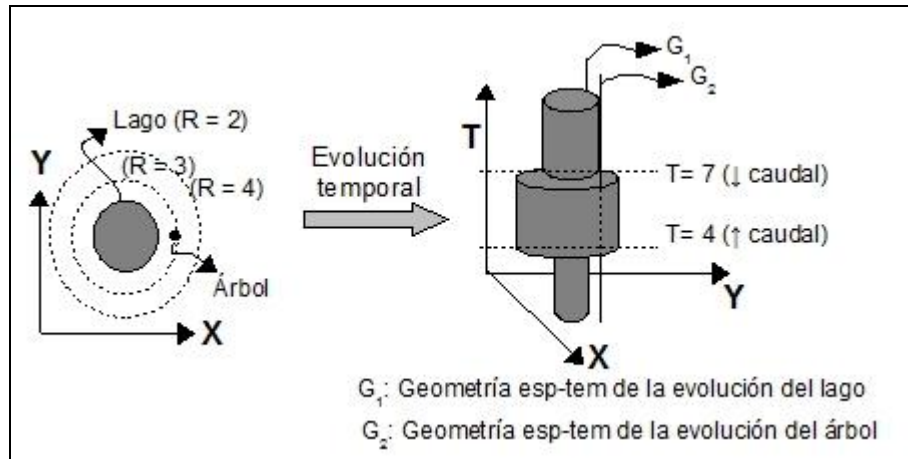


**Figura 6:** Esquema de la actividad seguida para obtener relaciones cualitativas.

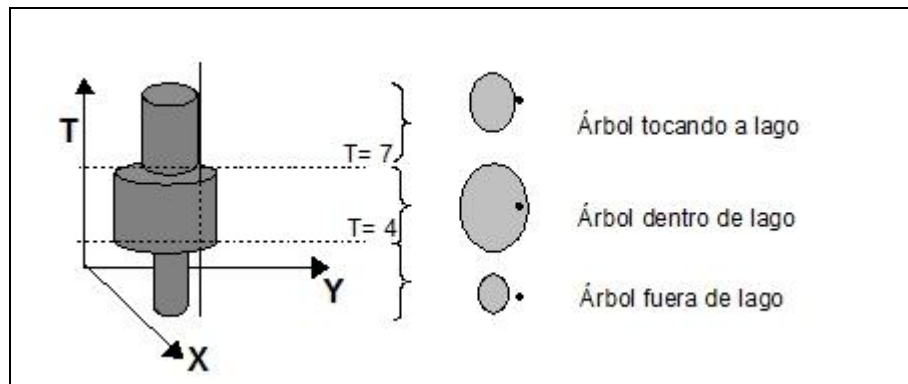


**Figura 7:** Clasificación temporal de la relación "Tocan".

Maldonado Ibáñez, A., Vázquez Hoehne, A. (2010): "Diseño de primitivas geométricas espacio-temporales para describir fenómenos dinámicos", *GeoFocus (Artículos)*, n° 10, p. 232-251. ISSN: 1578-5157

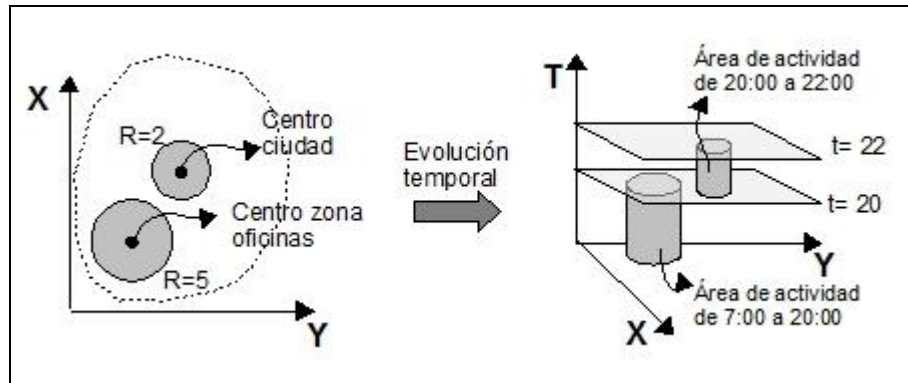


**Figura 8: Geometrías espacio-temporales del caso 1.**

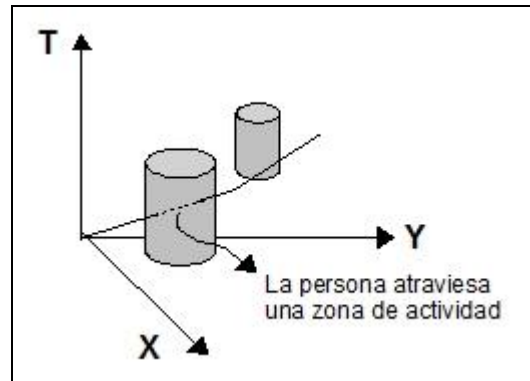


**Figura 9: Relaciones espacio-temporales del caso 1.**

Maldonado Ibáñez, A., Vázquez Hoehne, A. (2010): "Diseño de primitivas geométricas espacio-temporales para describir fenómenos dinámicos", *GeoFocus (Artículos)*, n° 10, p. 232-251. ISSN: 1578-5157



**Figura 10: Geometría espacio-temporal del área de actividad.**



**Figura 11: Intersección entre la trayectoria de la persona y las áreas de actividad.**