

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación

MEDET

Modelo para la exploración de datos espacio – temporales

Por:

CAMILO ANDRÉS NEMOCÓN FARFÁN

Para Obtener el Título de:

Magister en ingeniería de Sistemas y Computación

Asesor de Tesis:

JOSE TIBERIO HERNANDEZ. PhD.

Bogotá, Colombia.

Junio de 2015

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	4
METODOLOGÍA	5
ESTADO DEL ARTE	7
ANTECEDENTES Y CONTEXTO	11
<i>MODELO TAREA DE ANÁLISIS</i>	11
<i>MODELO DE CONSULTAS</i>	14
<i>NIVELES DE INFORMACIÓN</i>	15
<i>ÁREA DE CONSULTAS</i>	16
<i>ÁREA DE ANÁLISIS</i>	19
<i>ÁREA DE INFORMACIÓN ADICIONAL</i>	21
<i>INTERFAZ INTERACTIVA</i>	22
ESTRATÉGIA DE SOLUCIÓN	25
<i>OBJETIVOS</i>	25
<i>ALCANCE</i>	25
<i>RESTRICCIONES</i>	25
DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN	26
<i>MODO EXPLORATORIO</i>	27
DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN	29
<i>CONSULTA ESPACIAL</i>	34
<i>CONSULTA TEMPORAL</i>	35
<i>CONSULTA DE ATRIBUTOS</i>	36
PRUEBAS Y RESULTADOS	37
<i>RESULTADOS</i>	39
CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	40
REFERENCIAS	41
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	41
<i>IMÁGENES Y FIGURAS</i>	44

1 INTRODUCCIÓN

Los expertos en sistemas urbanos necesitan visualizar simultáneamente gran cantidad de datos y explorarlos para descubrir patrones, relaciones, tendencias u otras características que apoyen su posterior proceso de análisis, planteamiento de hipótesis y toma de decisiones. Para el proceso de exploración se necesita una herramienta de visualización interactiva que le permita al experto la selección de los factores que son importantes para él y evidenciar su comportamiento en el espacio y en el tiempo, lo cual, le permite tener una visión general de la situación teniendo en cuenta todos los datos.

Por tanto se plantea la creación de un modelo de datos que permita la exploración y navegación por datos espacio-temporales, el cual se implementa en una herramienta que facilite la forma de expresión de las consultas Espacio Temporales de forma visual e interactiva, para lograr expresar las restricciones y filtrar los datos sobre una plataforma de analítica visual que muestre los resultados de esas consultas.

Esta herramienta apoya al proceso de exploración de datos espacio–temporales dentro de un enfoque dirigido hacia sistemas urbanos para la exploración del comportamiento de los datos, es decir, apoya la tarea de identificación y ubicación de los cambios que sufre una entidad (movilidad, uso del suelo y/o medio ambiente) a partir de la variación temporal y espacial en la ciudad de Bogotá, por medio de una interfaz y visualización en un ambiente interactivo de Large Display que apoye la colaboración entre expertos para la exploración de los datos en conjunto.

Los analistas usan múltiples herramientas para la exploración de datos y cada experto usa una herramienta de consulta y visualización distinta, lo cual afecta la colaboración y comunicación del proceso y registro de resultados de la exploración de los datos. Así mismo, estas herramientas son confusas y complejas por tanto necesitan de una larga curva de aprendizaje para su uso, en caso contrario el experto es propenso a generar errores al realizar consultas detalladas para la exploración de los datos.

Las aplicaciones que utilizan los expertos, abarcan desde Excel para cálculos básicos, pasando por Stata para el análisis económico y estadístico, hasta el uso de Visum, Vissim o ArcGis para la visualización geográfica, pero se necesita que el experto construya una base de datos SQL, lo cual lo obliga a un entrenamiento previo. Estas aplicaciones comerciales no tienen en cuenta los datos espacio temporales como objetivo principal para la exploración de datos, por lo cual, en cada aplicación se utiliza cierta parte de los datos y no los manejan de forma integrada generando oclusión en el análisis de la información. Por otro lado los sistemas de simulación y visualización no son aplicables a la ciudad de Bogotá, ya que están desarrollados bajo normatividad internacional, por tanto estas herramientas no cumplen con las metodologías que utilizan los expertos en sistemas urbanos de Bogotá, ni tampoco están diseñados para la visualización de datos espacio–temporales en Large Display, ni la generación de colaboración y comunicación entre los usuarios.

2 METODOLOGÍA

Para la visualización de la información existen múltiples metodologías lo mismo que diferentes tecnologías para su desarrollo, sin embargo, se tiene la creencia que la visualización empieza por los datos, sin embargo este pensamiento es erróneo, ya que realmente empieza desde las preguntas, es decir, desde el diseño centrado en el usuario lo que permite saber los determinantes y los requerimientos que realmente se necesitan para el desarrollo a una solución para el usuario [1].

Por tanto para la visualización de la información se utiliza un conjunto de métodos o técnicas aplicados dentro de un proceso de diseño, en donde se empieza preguntando para qué se recogieron esos datos, qué son esos datos, quién es el usuario, qué es lo que quiere ver. De esta forma se logra obtener el objetivo de la visualización, las determinantes de que necesitan analizar, para qué y el por qué.

Este tipo de proceso es el que propone Ben Fry [2], quien presenta una serie de métodos y características para realizar visualizaciones de datos espacio-temporales, donde el proceso para la creación de este tipo de visualizaciones se ve representado en la figura 1.

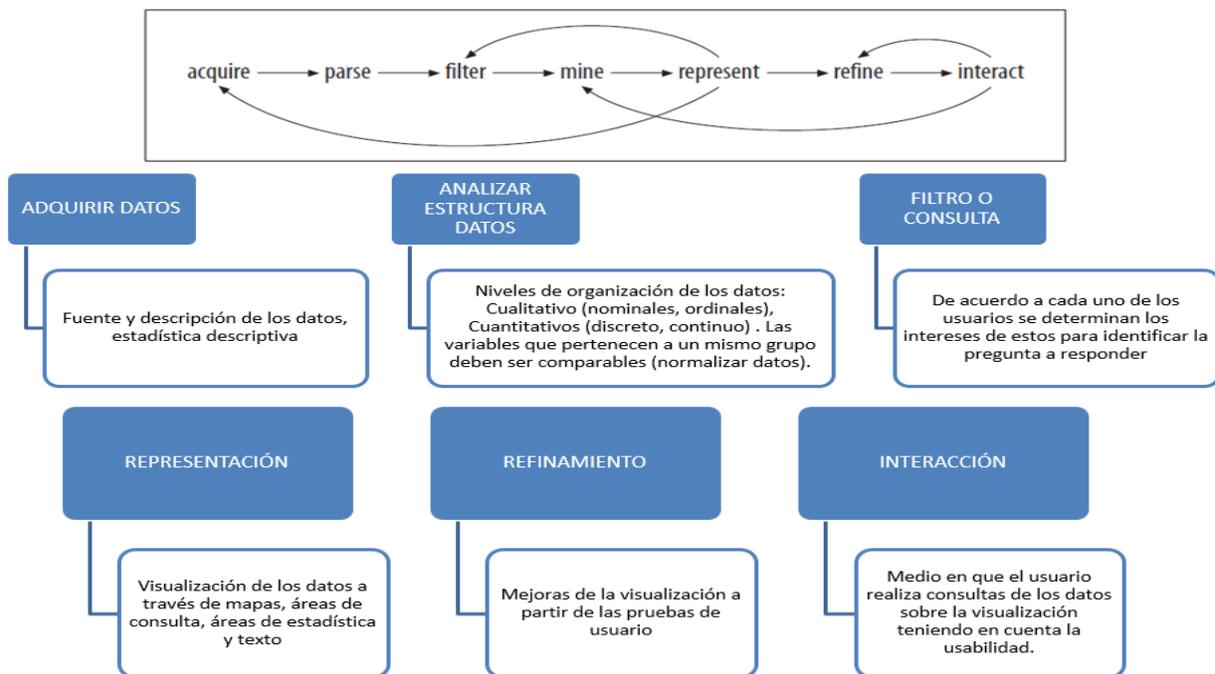


Fig 1. Metodología para la visualización de información espacio-temporal

En la actualidad es cada vez es más frecuente realizar análisis sobre datos espacio-temporales en el amplio tema de sistemas urbanos, sin embargo se presentan inconvenientes en la adquisición y estructuración de los datos, ya que estos pueden ser ambiguos, incompletos, con ruido y al venir de muchas fuentes, terminan siendo datos heterogéneos y no estructurados, lo cual dificulta que éstos se puedan implementar sobre cualquier aplicación y que la aplicación le permita al usuario encontrar patrones, filtrar el ruido, focalizarse en un contexto claro, generando dificultades en el análisis de las situaciones.

Una forma de visualizar la información en sistemas urbanos, es por medio de la computación interactiva, donde se generan representaciones visuales de datos abstractos con el fin de ampliar el conocimiento sobre una situación [3], esto se puede realizar por medio de la analítica visual, la cual es considerada como la ciencia del razonamiento analítico facilitado por la visualización interactiva [4].

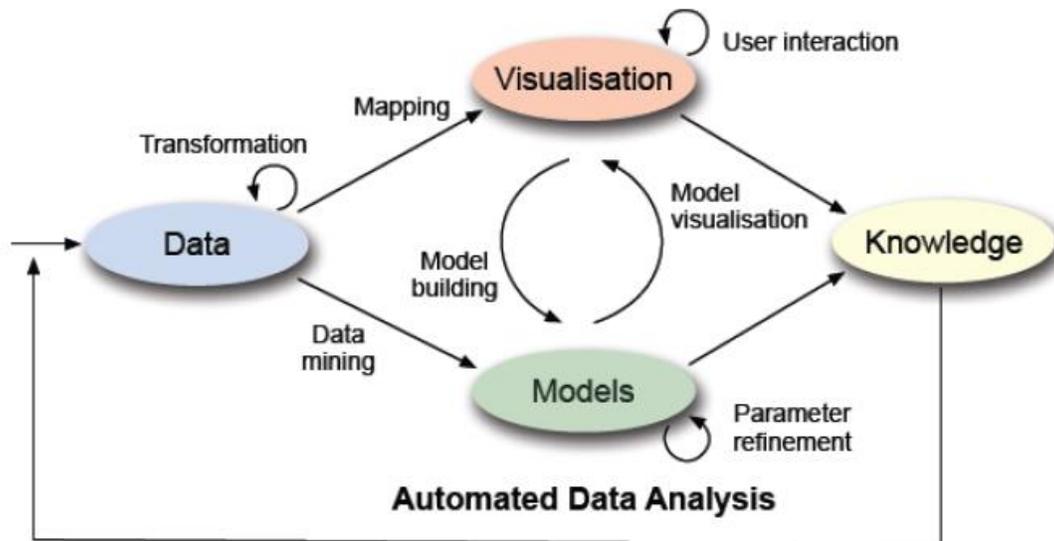


Fig 2. Proceso de la analítica visual

El objetivo de la analítica visual es generar un proceso de razonamiento analítico iterativo, como muestra la figura 2, en donde se describe el proceso de la analítica visual, donde primero se recopila la información, ésta información se representa visualmente, se genera un entendimiento de la información, se producen los resultados y se vuelve a recopilar la información del resultado.

Por tanto la analítica visual se puede desarrollar en el campo de la computación gráfica, ya que uno de los principales objetivos de esta ciencia es visualizar la información por medio de interfaces intuitivas y fáciles de utilizar, sin embargo se debe tener en cuenta los siguientes procesos [5]:

- Exploración visual: Unifica la consulta, exploración y visualización en un solo proceso.
- Aumento de la percepción humana: Presentación de la información (leyes de la Gestalt, diseño, cognición y percepción).
- Expresividad visual: Permite varias alternativas de visualización para el análisis de la información.
- Visualización Automática: Sugerencias automáticas de los resultados de los datos.
- Percepción visual cambiante: Permite varias alternativas de la visualización de las respuestas.
- Enlace entre perspectivas visuales: Las visualizaciones se encuentran enlazadas para permitir una fácil y rápida navegación.
- Visualización colaborativa: Disponer la información de forma que un grupo de personas trabaje en torno a la información.

Este proyecto se realizó con la metodología del diseño centrado en el usuario, en donde los expertos hacían parte esencial en el desarrollo del proyecto ya que a partir de sus retroalimentaciones, requerimientos y determinantes se generaban cada una de las funcionalidades y características del sistema MEDET, realizando un proceso iterativo, de prueba y error, donde se realizaron constantes pruebas de usuario evaluando la visualización e interacción de la herramienta enfocados a generar una experiencia de usuario que apoyara al desarrollo de tareas de análisis para los expertos.

3 ESTADO DEL ARTE: APLICACIONES Y HERRAMIENTAS QUE APOYAN LA EXPLORACIÓN DE DATOS DE SISTEMAS URBANOS.

Para sistemas urbanos encontramos varias investigaciones y proyectos relevantes frente a la exploración y análisis de los datos. Hoy en día se utiliza la analítica visual como medio para el análisis de esta clase de datos, sin embargo se centran en aplicaciones con grandes infraestructuras pensadas para el manejo de gran cantidad de datos y generar consultas rápidas, pero dejan de lado la experiencia de usuario, lo cual es base conceptual de la analítica visual ya que lo importante no sólo es la eficiencia de la aplicación sino el entendimiento de la información desde el uso de la interfaz hasta la comprensión de los datos.

Encontramos en el proyecto DHTML [6] esta misma visión, en donde critican la lentitud de la formulación de consultas, la ejecución y la revisión de los resultados, inhibiendo la exploración de la información, por tanto algunos diseñadores han desarrollado interfaces denominadas consultas dinámicas, para acelerar los procesos de consulta y proporcionar a los usuarios las presentaciones visuales de grandes conjuntos de resultados, permitiéndoles de la misma forma ver fácilmente adiciones o supresiones de las consultas a partir del diseño de un solo control el cual es el slider como se observa en la figura 3; sin embargo este proyecto se queda en el desarrollo de un control de interacción para el manejo de atributos sin diseñar el resto de elementos que ayudan a construir un mejor análisis de los datos.

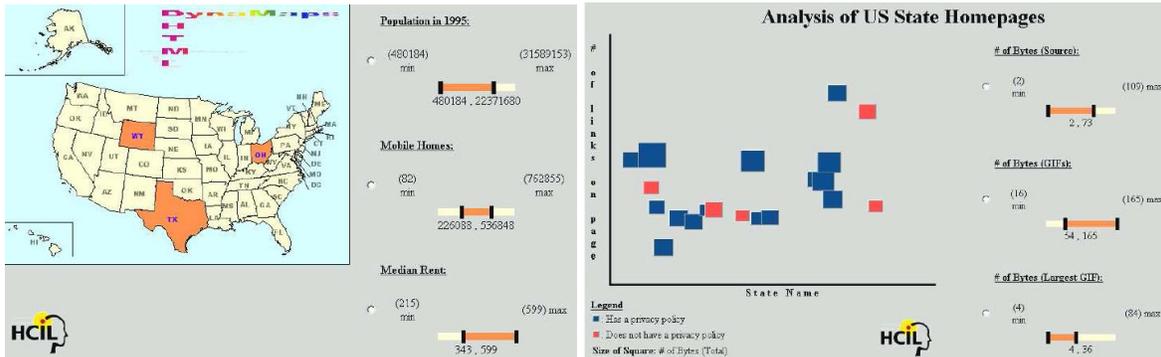


Fig 3. Aplicación DHTML

Existen otros proyectos en donde introducen los conceptos que subyacen a la correcta visualización de información que pudiera acelerar el descubrimiento de ciertas tendencias espaciales y temporales, clústeres, umbrales, correlaciones, relaciones jerárquicas y así sucesivamente, como el sistema Panorama SOLAP [7] en donde involucran vistas múltiples, las cuales permiten ver los datos desde diferentes perspectivas, donde cada representación destaca diferentes aspectos de los datos como se puede observar en la figura 4; sin embargo es muy limitado a la experiencia de usuario frente a la temática de la analítica visual ya que la visualización colaborativa [5] se centra en generar informes para enviarlos a otros expertos y no existe una forma en donde el grupo de trabajo pueda interactuar y comunicarse simultáneamente, así mismo, no usan las leyes de la Gestalt, diseño, cognición y percepción (Aumento de la percepción humana [5]), lo cual genera dificultad en el descubrimiento del conocimiento, en aprender a manejar la herramienta y en las interfaces para realizar las consultas ya que no existen controles claros para el filtro temporal, espacial y de atributos. Por otro lado la infraestructura que necesita para el manejo de la plataforma es costosa en personal, tiempo de desarrollo y componentes, necesitando alto presupuesto para el desarrollo de proyectos.

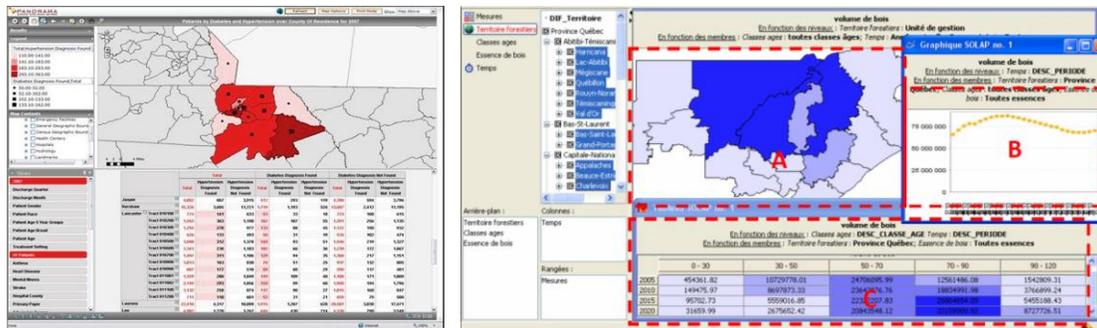


Fig 4. Interfaz Panorama SOLAP

Por otro lado encontramos el proyecto de visual analytics llamado CommonGIS [8] representado en la figura 5, en donde se centran en la percepción del manejo de la herramienta, implementando controles para las consultas espaciales, temporales y de atributos, los cuales son fáciles de entender y utilizar, sin embargo el resultado de las consultas y sus visualizaciones en múltiples puntos de vista no son claros ni detallados, generando un mayor esfuerzo por parte del usuario en el entendimiento de los datos, de otra parte, no permite ver una información general de los datos obligando al usuario a realizar consultas para ver una exploración general de la información, por ejemplo los terremotos en lugares específicos en años específicos.

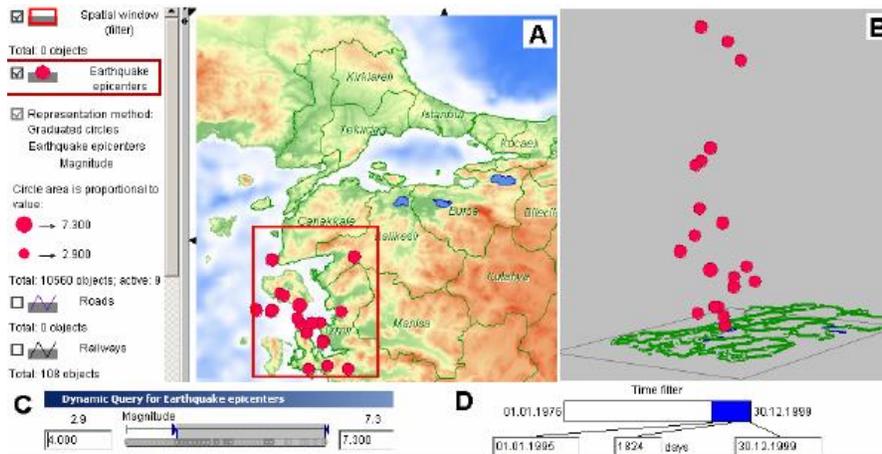


Fig 5. Interfaz CommonGIS

Igualmente encontramos otra aplicación [9] representada en la figura 6, en donde muestra el consumo de energía, en el que se centraron no solo en la visualización de los resultados de la consulta, sino también en los controles de tiempo, los cuales no sólo sirven para realizar las consultas temporales sino también para visualizar las respuestas sobre ellas mismas, lo cual es útil al ofrecerle al usuario una exploración de los datos que posee.

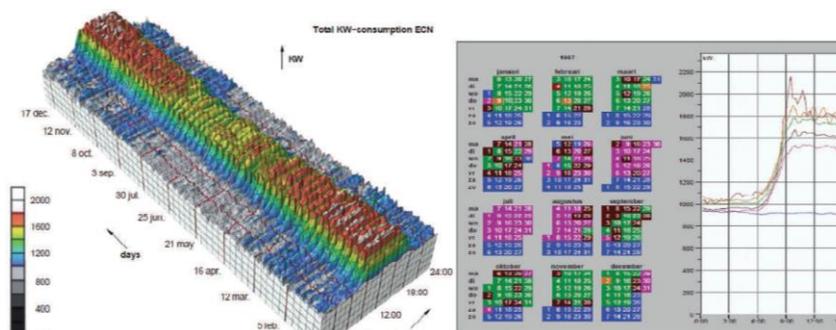


Fig 6. Representación del consumo de energía en el tiempo

En la figura 7, podemos ver el proyecto Cross-Level [10] es muy interesante ya que utiliza diferentes niveles de granularidad en el espacio, el tiempo y de datos para descomponerlos en sus diferentes niveles mostrándolos en diferentes vistas utilizando la vista sincronizada para mostrar todas las combinaciones posibles de espacio, tiempo y datos. Otro componente interesante del diseño de experiencia es que utiliza los colores como medio para resaltar los valores de los datos interesantes para el usuario.



Fig 7. Interfaz cross-level

Un proyecto centrado hacia la movilidad en NewYork [11], critica el uso de aplicaciones como MatLab, Stata, Excel, ArcGIS pero se necesita que el investigador construya una base de datos, lo cual obliga a un entrenamiento previo para el usuario y proponen el uso de controles de restricciones temporales, restricciones de atributos, restricciones espaciales para generar consultas atómicas como input retornando un conjunto de elementos (vehículos) que satisface una restricción (restricción de tipo de vehículo, rango de tiempo, ubicación). Así mismo permite utilizar múltiples puntos de vista para generar comparaciones como podemos ver en la figura 8 y así comprobar distintas hipótesis de los expertos.

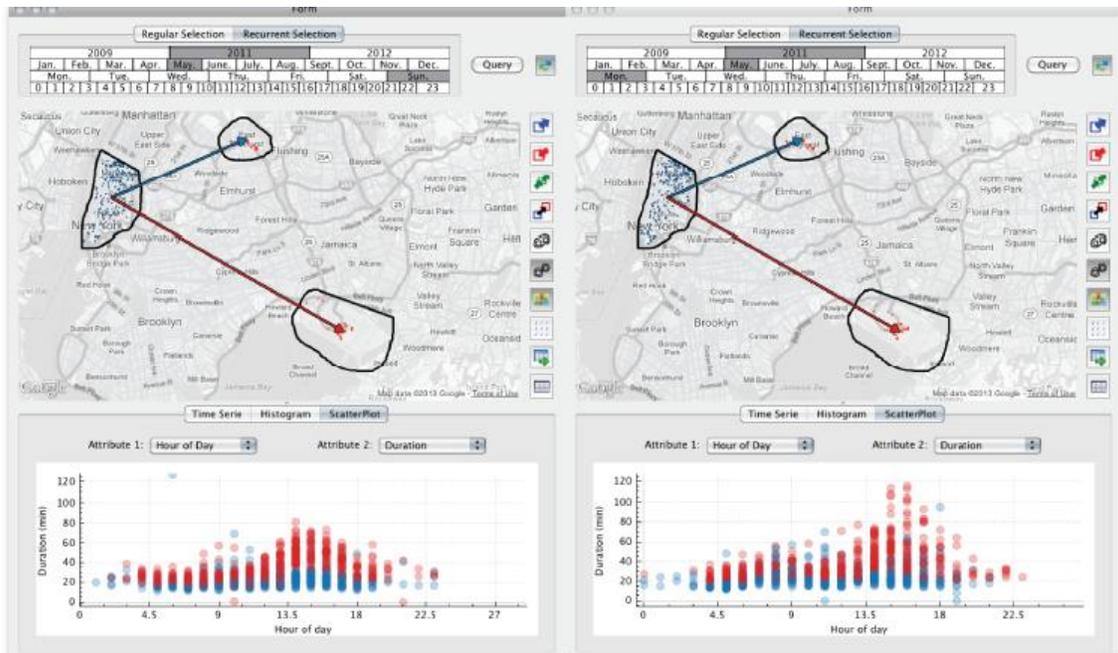


Fig 8. Interfaz New York City taxi Trips

Otro proyecto con planteamiento similar frente al comportamiento del tráfico en una ciudad, es el realizado por Alberto Debiasi [12], utiliza la analítica visual para ayudar a los planificadores urbanos, los tomadores de decisiones y analistas de tráfico a simular y analizar el escenario urbano, por medio de una

visualización con interacción que garantiza a través de acciones directas con el medio ambiente en 3D a través de metáforas gráficas que reducen considerablemente el tiempo necesario para establecer los parámetros para la simulación y así los usuarios pueden detectar cuales son las las vías más congestionadas dado un tiempo y número de vehículos en la vía.

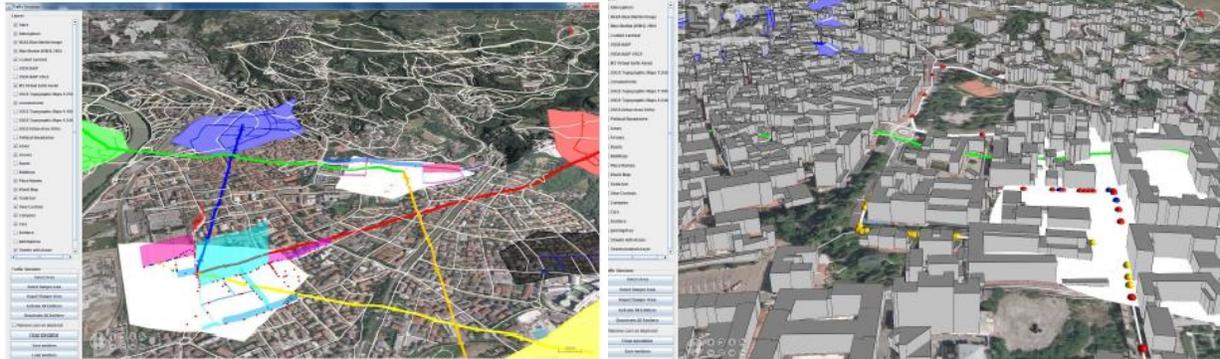


Fig 9. Analítica visual y simulación del tráfico

Así mismo encontramos un proyecto de visualización del recorrido de vehículos [13] donde visualizan por medio de un histograma temporal y un diagrama de barras los intervalos de tiempo, las alturas de las barras representan el número de lugares visitados o la distancia recorrida. Se visualizan los datos a través de barras direccionales, donde el sentido y color de cada barra muestra la dirección de los carros (analogía rosa de los vientos) y donde la longitud de la barra representa la cantidad de carros en esa dirección. Por otro lado cada punto posee un radio que representa el número de vehículos con una velocidad determinada por el usuario. Sin embargo, como se ve en la figura 10, la interfaz posee mucha información que necesita de una interpretación previa ya que no posee escalas ni leyendas para saber los valores exactos de los atributos, genera una buena exploración general de los datos.

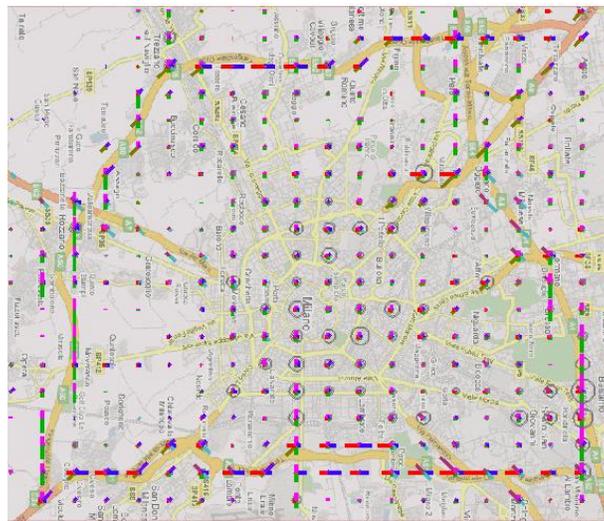


Fig 10. Interfaz del recorrido de vehículos

4 ANTECEDENTES Y CONTEXTO

Existe un modelo que utiliza todo experto sin importar su enfoque dentro del área de sistemas urbanos para el análisis y toma de decisiones partiendo de una serie de tareas que le permiten entender una situación o un estado de un sistema a partir de la exploración de tiempos, ubicaciones y atributos.

Modelo de Tarea de Análisis [14]:

- **1. Exploración:** observación de datos de un periodo de tiempo a otro a partir de la selección de una ubicación en donde se visualizan únicamente las variables de contexto.
- **2. Evaluación:** proceso subjetivo donde se miden los indicadores de impacto a partir de la variable de decisión y la variable de contexto. El indicador de impacto determina cuál de las variables o atributos es mejor que otra a partir de los valores de los atributos seleccionados por el usuario, con este resultado se escoge y se plantea una alternativa.
- **3. Generación de alternativas:** creación de nuevos estados sobre el sistema donde estos estados corresponden a los cambios que realiza el usuario seleccionando nuevas ubicaciones, tiempos o cambios en las variables de decisión y/o en nuevos datos agregados que generan un nuevo indicador de impacto.
- **4. Valoración de alternativas:** se determina la importancia de las variables para los expertos (factor de relevancia de los atributos) y se generan comparaciones entre las múltiples vistas en donde se evidencian los cambios dados por el factor de relevancia.

La primera tarea de análisis, es uno de los procesos con mayor pertinencia para los expertos, ya que ésta corresponde a la exploración de datos espacio-temporales ya que estos datos son los que se usan para la modelación del sistema urbano, debido a que es información que varía en el tiempo refiriéndose a una ubicación espacial. Estos datos se pueden estimar y visualizar permitiendo la exploración de comportamientos evidenciando valores de atributos en lugares específicos en tiempos determinados. De esta forma se pueden observar y correlacionar diferentes eventos en el tiempo y el lugar para descubrir relaciones entre ellos e identificar y ubicar diferentes patrones en los datos. Sin embargo es necesario resaltar que este tipo de datos pueden ser estáticos o dinámicos, los datos estáticos hacen referencia a aquellos atributos cuyo comportamiento es el mismo independiente del tiempo y por otro lado los dinámicos son los datos que cambian con respecto al tiempo [15].

Los datos espacio-temporales se pueden representar conceptualmente mediante un cubo como se muestra en la figura 11, esta representación la realizó A. Koussoulakou, donde cada celda en el cubo representa un objeto espacial, un atributo y un paso de tiempo [15], la navegación por el cubo se puede realizar: sobre el eje "X" para la exploración de atributos, sobre el eje "Y" para los lugares y sobre el "Z" podemos encontrar el tiempo, esto permite la búsqueda de los datos a través de la navegación por cada uno de sus ejes.

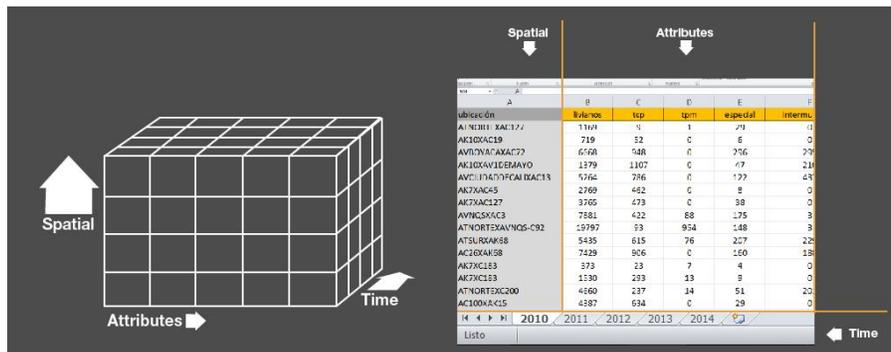


Fig 11. Cubo espacio-temporal

Para poder hablar sobre datos espacio–temporales primero debemos especificar los ejes que lo integran, es decir, el tiempo, el espacio y los atributos.

El eje del tiempo en datos espacio–temporales, se define como una dimensión para comprender un evento o un determinado estado del mundo [16] pero esta dimensión está compuesta por un sistema jerárquico de granularidades, incluyendo segundos, minutos, horas, días, semanas, meses, años, décadas, siglos; sin embargo en este proyecto se consideró trabajar con variables temporales agrupándolas por los niveles de granularidad que utilizan los expertos en sistemas urbanos en el área de movilidad para realizar los aforos, por lo que utilizamos la granularidad de año, mes, día y horas, la cual se ve representada en la figura 12.

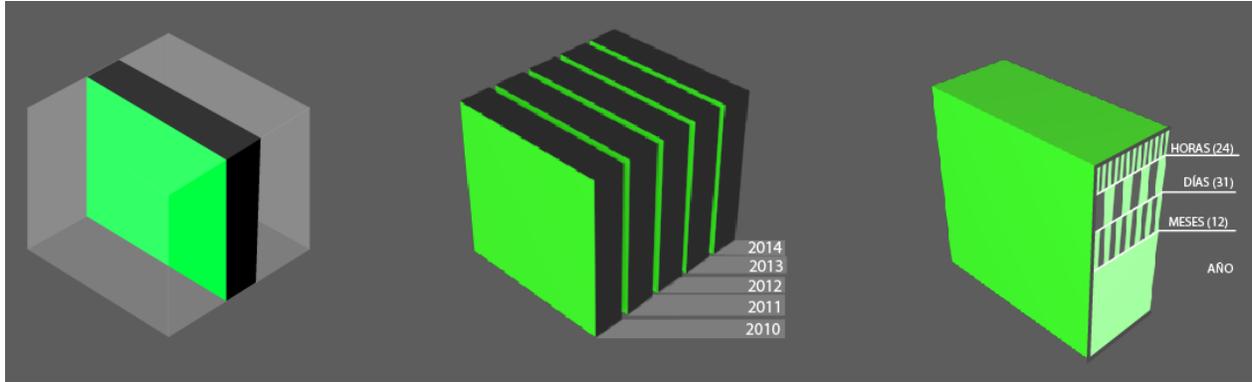


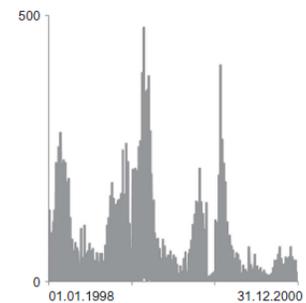
Fig 12. Cubo temporal

El tiempo se puede observar de dos formas en datos temporales [17]:

- **Un instante o punto en el tiempo**, donde el usuario puede especificar complejas consultas que cubren diferentes escalas temporales (años, días, horas).
- **Un intervalo de tiempo**, el cual es una extensión o periodo de tiempo, donde el usuario define una consulta atómica de tiempo definiendo los valores de comienzo y fin del tiempo.

El tiempo puede ser organizado de dos formas [16] como se presenta en la figura 13:

- **Tiempo lineal**: corresponde a nuestra percepción natural del tiempo como una secuencia continua de instantes, es decir el tiempo va del pasado al futuro.



- **Tiempo cíclico**: se compone de un conjunto finito de instantes recurrentes como las horas del día, las estaciones el cual se puede representar visualmente en forma de espiral. El propósito principal de la espiral es la detección de comportamiento periódico desconocido de los datos.

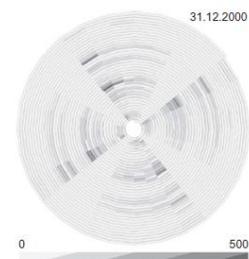


Fig 13. Tiempo Ordenado

El eje del espacio en datos espacio–temporales, se define como la ubicación constituida por la latitud y longitud ocupada por un objeto y describe las acciones en el tiempo de un conjunto de objetos a partir de una ubicación. Los datos espaciales pueden experimentar cambios existenciales a través de una referencia espacial, la cual se muestra por medio de un mapa que transporta la información de los datos espaciales referenciados a una ubicación espacial [16], sin embargo el entorno espacial está constituido por la heterogeneidad del espacio geográfico la cual puede estar categorizada por niveles de granularidad dada por divisiones políticas, geográficas, etc. Por tanto, este trabajo se basó en la granularidad de los 5 niveles de detalle que maneja CityGML para la modelación de entidades urbanas, la cual va desde las ciudades, localidades, barrios, manzanas hasta los predios como se ve representado en la figura 14.

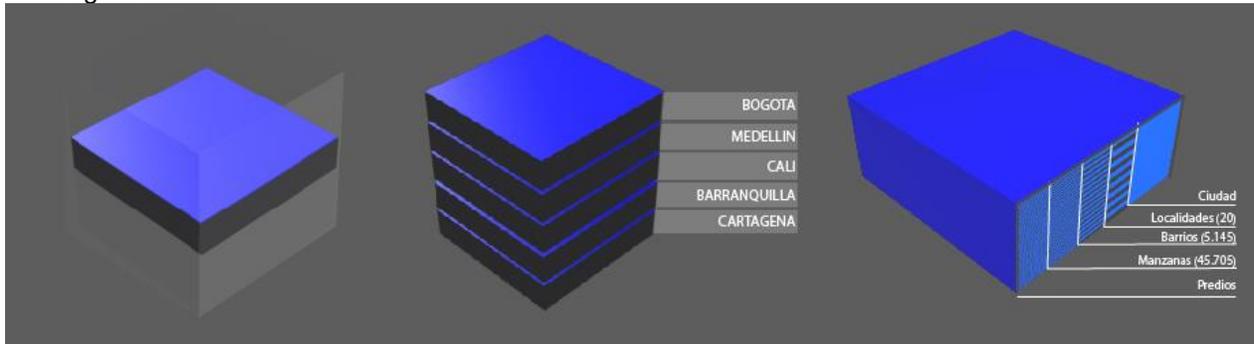


Fig 14. Cubo espacial

El eje de los atributos en datos espacio–temporales se define como un número limitado de valores de datos heterogéneos debido a que los datos pueden ser cualitativos permitiendo condiciones igualitarias entre sus categorías y cuantitativos los cuales permiten condiciones numéricas y por intervalos [17].

Cualitativos: Si sus valores no se pueden asociar naturalmente a un número.

- **Nominales:** Si sus valores no se pueden ordenar. Permiten solamente clasificar. (Sexo, Grupo Sanguíneo, Región Geográfica)
- **Ordinales:** Si existe relación de incremento o decremento en las modalidades. (Grado de satisfacción, Intensidad del dolor, calificación de estrellas)

Cuantitativas o Numéricas: Si sus valores son numéricos.

- **Discretas:** Si toma valores enteras. (Número de crías, población, estrato)
- **Continuas:** Si entre dos valores son posibles infinitos valores intermedios. (Altura, temperatura)

Los atributos se pueden agrupar usando la taxonomía clásica de clasificación de tipos de variable de la estadística descriptiva, generando una granularidad dada por un tema, subtema y las variables que posee cada subtema. El orden de los atributos en la herramienta corresponderá al orden como se presentan los datos, así mismo nos enfocaremos en el uso de variables cuantitativas y cualitativas nominales ya que son las más usadas y las más frecuentes en el dominio de Sistemas Urbanos.

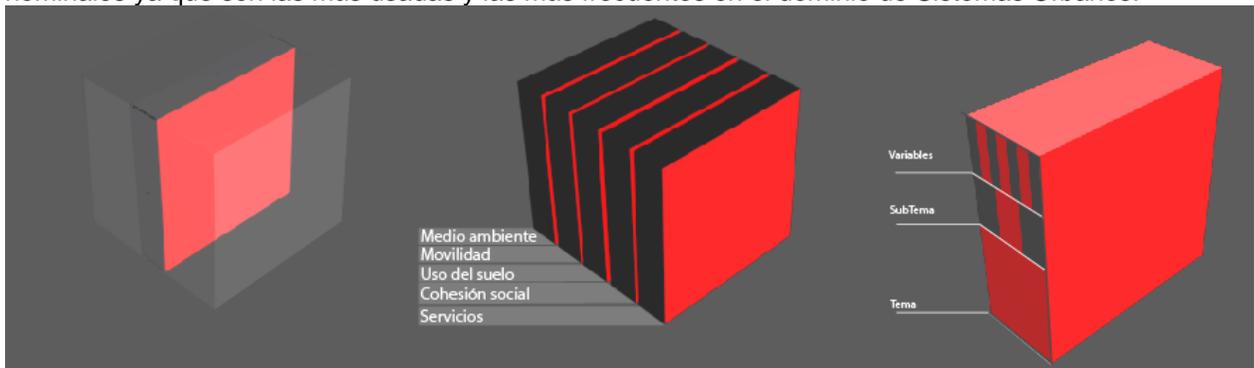


Fig 15. Cubo Atributos

Para realizar la navegación por los datos espacio–temporales existe un modelo de consultas propuesto por D. Peuquet, en donde permite considerar todos los componentes de los datos y ayuda a expresar restricciones de consulta espacio temporales, convirtiendo los ejes de estos datos en adverbios interrogativos, es decir, tiempo (¿cuándo?), espacio (¿dónde?) y atributo (¿qué?), para así generar filtros y búsquedas sobre los datos [18], estas consultas se realizan mediante el uso de preguntas a partir de la selección de 2 ejes de los datos, dando como respuesta el tercer eje con las restricciones temporales, espaciales o de atributos seleccionados por el usuario. En la figura 16 encontramos características de cada una de las preguntas que se pueden realizar con este modelo de consultas y su representación sobre el cubo espacio temporal de Koussoulakou [15].

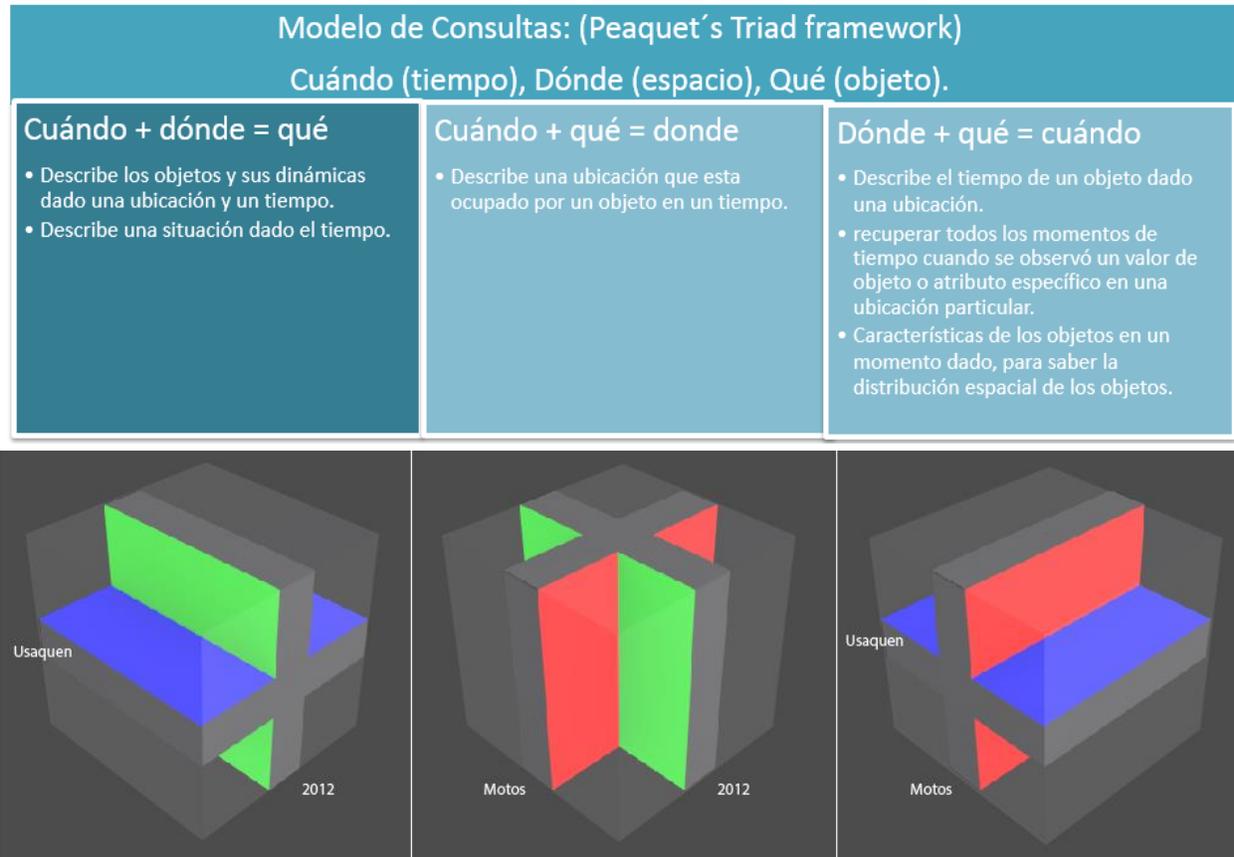


Fig 16. Modelo de consultas sobre datos espacio temporales

Sin embargo, el modelo de D. Peuquet es muy general en el aspecto espacio temporal, es decir, no plantea una estructura para evaluar la granularidad que existe en los datos espaciales, temporales y de atributos y no permite la generación de preguntas con más de un componente de un mismo eje, por tanto es necesario vincular el trabajo realizado por J. Bertin el cual plantea una estructura para la selección de varios componentes de varios ejes por medio de tres niveles para la exploración de la información espacio – temporal. El primer nivel es el Puntual, en donde solo permite la selección de un elemento de un objeto que exista; el otro nivel es Local, el cual permite la selección de dos o más objetos existentes, sin embargo estos objetos no pueden ser consecutivos; finalmente el nivel Rango permite la selección de todos o varios objetos que sean consecutivos [19]. Una representación gráfica de estos conceptos sobre los datos espacio - temporales la podemos encontrar en la figura 17.

Pero aún con la inclusión de los niveles de información de J. Bertin al modelo de exploración, solo se puede realizar la búsqueda y filtrado de datos en una sola granularidad lo que lo convierte en un modelo limitado para la navegación y lectura de datos.

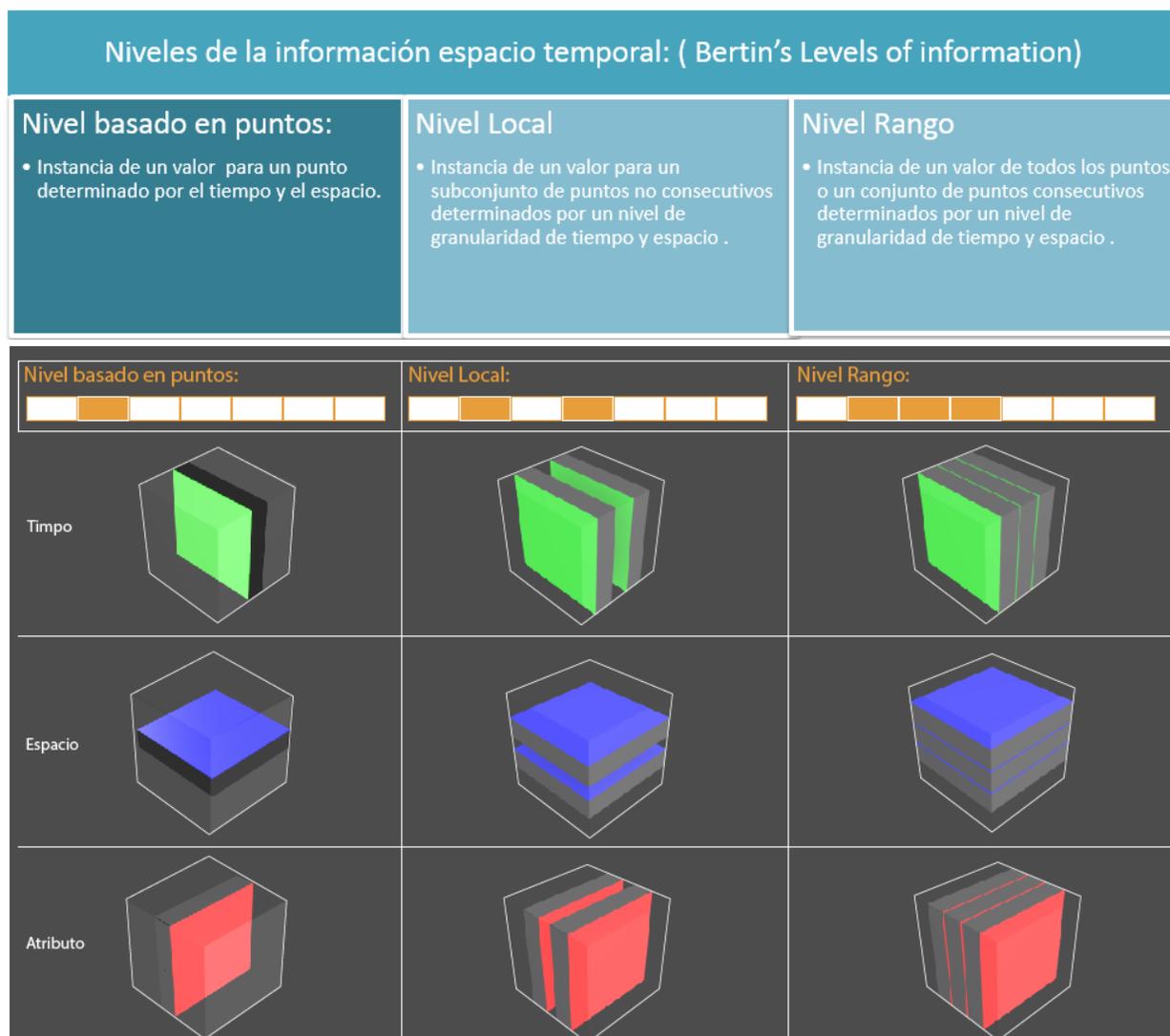


Fig 17. Niveles de la información.

El propósito de generar este modelo de datos para la exploración y navegación de datos espacio-temporales, es para implementarlo sobre una interfaz de consulta que mejore los mecanismos de interacción y permita una formulación informal de consultas complejas y filtrar los datos por medio de distintos dispositivos de interacción e integrar la interfaz a una plataforma de analítica visual para la visualización de los resultados de las consultas.

Por tanto proseguimos al desarrollo de la interfaz teniendo en cuenta los conceptos que componen una visualización de datos espacio-temporales en aplicaciones de analítica visual dentro de los cuales existe un área enfocada al filtrado y consulta de los datos en donde se deben tener en cuenta el tiempo, el espacio y los atributos para realizar consultas dinámicas mediante herramientas interactivas [20].

En la figura 18. Encontramos la estructura general que debe tener la interfaz de una aplicación de analítica visual [21]:

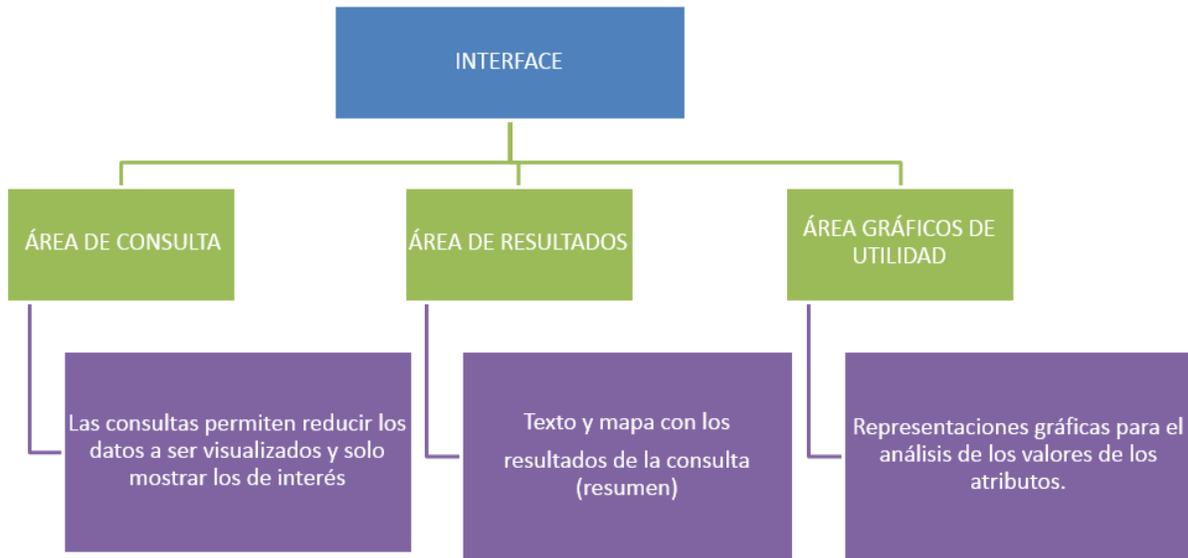


Fig 18. Estructura de una interfaz de analítica visual

Área de consultas:

En este trabajo, el área de consultas representa la interfaz que se integra a una aplicación de analítica visual, por tanto este sistema de consulta espacio–temporal se divide en controles para atributos, controles de tiempo y controles de espacio, permitiendo determinar la selección de los ejes para realizar las preguntas sobre el modelo de consulta.

El objetivo de tener tres controles de selección, es el de generar un conjunto de restricciones temporales, espaciales o de atributos que muestra los datos que cumplen con las restricciones generadas por el usuario.

La restricción temporal se enfoca en determinar los intervalos de consulta en un rango de tiempo pudiendo generar 2 tipos de selección, por un lado, la selección regular donde el usuario define una consulta de tiempo definiendo los valores de comienzo y fin del tiempo sobre una sola escala, por otro lado, se puede generar una selección recurrente donde el usuario puede especificar complejas consultas que cubren diferentes granularidades temporales, seleccionando distintos años, días, semanas [14].

El control temporal permite una fácil estimación entre dos comportamientos en cualquier momento del tiempo y permite la comparación de las variaciones de dos o más atributos. Así mismo facilita el análisis de las tendencias, donde el usuario determina los intervalos del tiempo para suavizar los datos y poder verlos en distintos niveles de detalle. La función principal de este componente es mostrar los valores de un atributo en un momento particular de tiempo, pero este tiempo puede cambiar de forma interactiva [22].

Actualmente encontramos proyectos en donde utilizan una gran variedad de herramientas de consulta temporal como la que utiliza el sistema TEMPEST [23] que le permite al usuario seleccionar combinaciones arbitrarias de meses, días y los momentos del día y ver lo que ocurrió en este momento. Por otro lado tenemos otro tipo de filtro de tiempo interactivo en el proyecto STC [24] donde el usuario selecciona el periodo de tiempo que desea ver por medio de un slider en donde se especifica el período de consulta, colocando la fecha y hora inicial y final, permitiendo visualizar en el mapa las trayectorias de los barcos que se trasladaron durante ese tiempo. Sobre este mismo proyecto utilizaron el widget “lente de tiempo” el cual muestra la información temporal de un lugar específico. El interior de la lente de tiempo

muestra las posiciones espaciales de la trayectoria de la zona seleccionada por el usuario en un mapa, mientras los anillos representan uno de los ciclos temporales: 4/4 de un año, 12 meses de un año, los 7 días de la semana o 24 horas de un día.

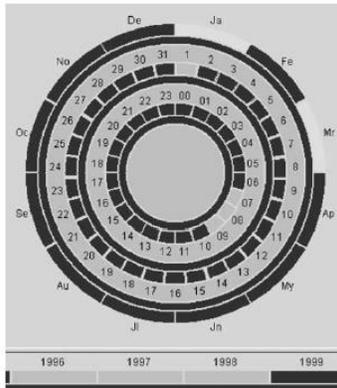
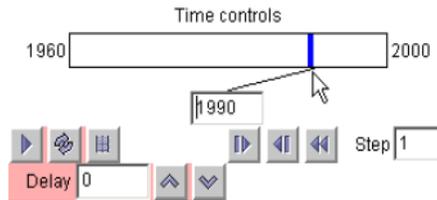
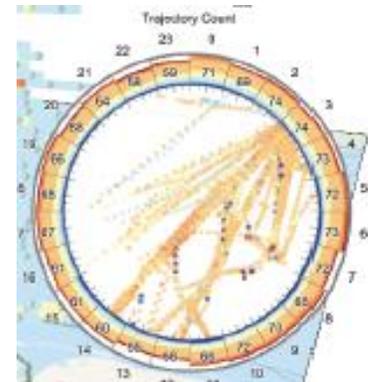


Fig 19. "Rueda de tiempo" del sistema TEMPEST



Slider de Tiempo del sistema STC



"Lente de Tiempo" del sistema STC

Existen otros dos proyectos que se enfocan en la selección de períodos de tiempo para explorar los datos en este rango temporal, sin embargo utilizan el widget temporal como visualizador de resultados como es el caso de VisGets [25], el cual utiliza gráficos de barras en donde la longitud de la base del gráfico indica el inicio y el final del intervalo de tiempo de la información de búsqueda, como se muestra en la figura 20. Así mismo utilizan una barra por cada mes en el rango de los datos y la altura de la barra indica el valor de los atributos. Cuando se selecciona un solo mes, el gráfico de barras se amplía para mostrar los días del mes, lo que permite la selección con una granularidad más fina.

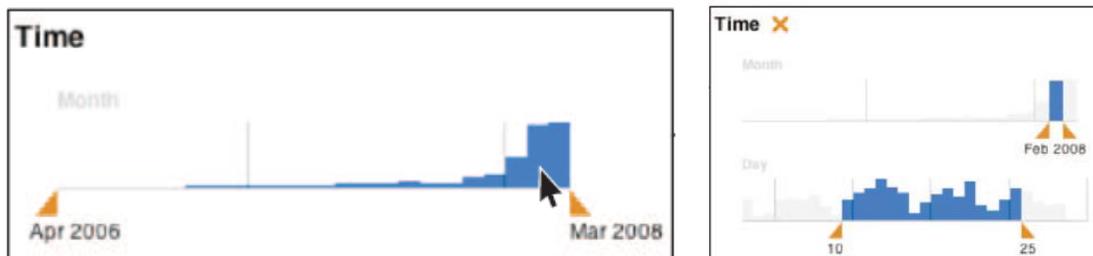


Fig 20. Widget temporal del sistema VisGets

Un último proyecto con selección temporal en la analítica visual es la "línea de tiempo", la cual se representa en la figura 21, donde usan la línea en varias aplicaciones de éste medio, sin embargo el sistema EuropeanaConnect [26], la utiliza como en el proyecto anterior, como medio de visualización de los resultados, usando el widget de tiempo para la selección de un rango de tiempo permitiéndole ver al usuario el comportamiento de los atributos y del mapa con una animación que va desde el periodo inicial hasta el final seleccionado por el usuario. La línea de tiempo se utiliza principalmente para desgloses en el tiempo y para la visualización de conjuntos de datos individuales para un punto dado en el tiempo o el espacio. Así mismo el usuario puede realizar un máximo de 4 consultas de diferentes atributos y ver el comportamiento de los valores en el tiempo.

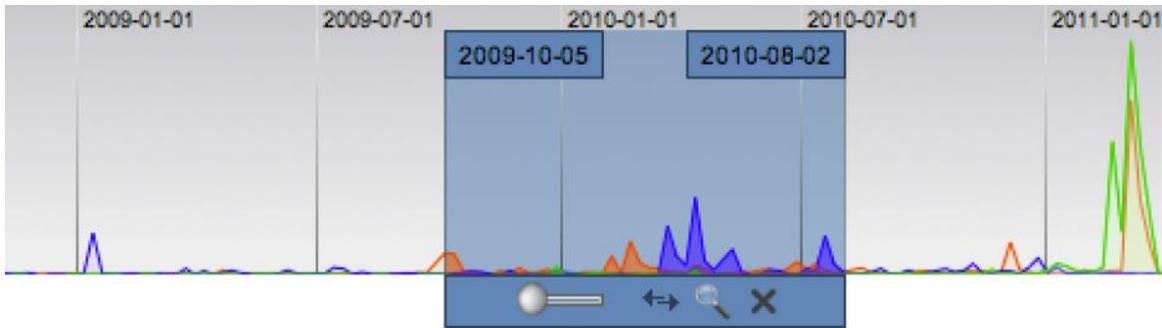


Fig 21. "Línea de tiempo" del sistema EuropeanaConnect

Otro componente dentro del área de consulta son los Controles de Atributos, con los cuales se determina la exploración de los datos teniendo en cuenta valores que influyen o afectan el sistema y que son de interés para el experto. Estos controles de filtrado se usan para acelerar los procesos de búsqueda de la información por medio de botones o slider, los cuales proporcionan mecanismos de interacción para que los usuarios especifiquen las estructuras de consulta, generando una reducción del número de elementos que quedan en el conjunto de resultados [27].

La restricción de atributos permite la selección de condiciones igualitarias, es decir, determinar uno o varios atributos que pueden ser comparables o se puede realizar la selección de condiciones de intervalo, en donde se muestran los atributos que cumplen con restricciones numéricas o de porcentaje. Sin embargo es necesario resaltar que este tipo de datos pueden ser estáticos o dinámicos, los datos estáticos hacen referencia a aquellos atributos cuyo comportamiento es el mismo independiente del tiempo, y por el otro lado los dinámicos son los datos que cambian con respecto al tiempo.

Los controles de atributos que se utilizan en la interfaz dependen del tipo de variable sobre el cual se va a realizar la consulta [28]; en la figura 22, encontramos un resumen del tipo de control que se debe utilizar con respecto a la variable que se vaya a manejar:

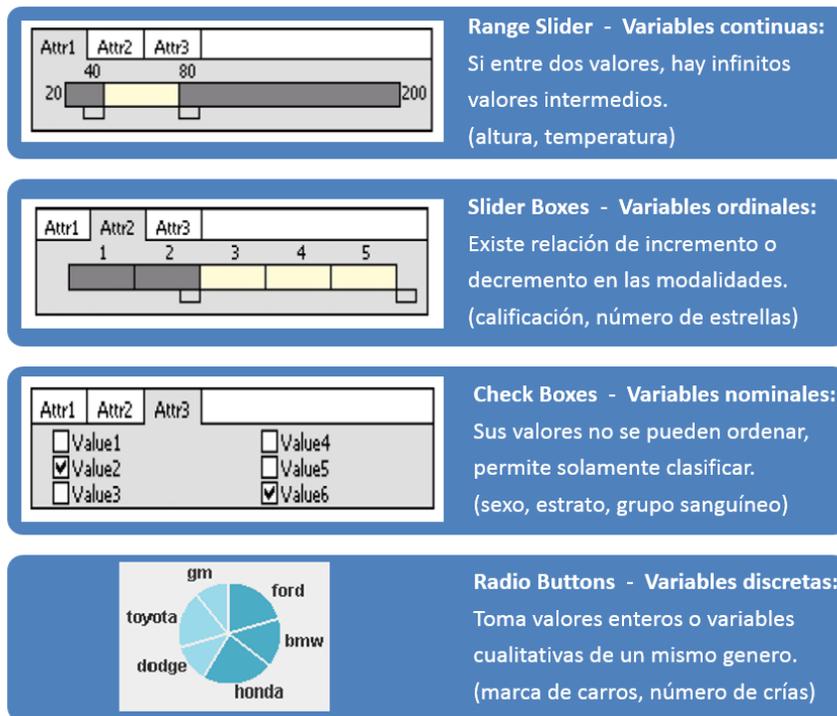


Fig 22. Tipos de controles dependientes de sus variables

El último componente del área de consulta es el Control Espacial, el cual genera restricciones espaciales para determinar desde regiones simples en donde se selecciona la ubicación para observar los valores de los datos en esa posición y por otro lado se pueden realizar restricciones direccionales para realizar consultas sobre trayectos o movimientos de un elemento, teniendo en cuenta un origen y un destino.

En la figura 23. Vemos representada una herramienta de referencia para la consulta espacial, la cual es el “TrapezoidBox” [29] implementado sobre Google Maps, en el que las consultas de proximidad espacial se realizaron por medio de un trapezoide donde los usuarios pueden arrastrar los cuatro vértices para cambiar la condición de consulta y el resultado se ve en el mapa por medio de las regiones circulares los cuales representan los rangos satisfactorios de distancia desde el lugar de interés.



Fig 23. Widget “TrapezoidBox”

Área de análisis:

Esta sección no hace parte de la interfaz de consulta sino de la plataforma de visualización de resultados dentro de una plataforma de analítica visual, acá se muestran los datos específicos de la consulta realizada por el usuario utilizando la operación técnica de exploración [30] de un conjunto de atributos que satisfacen una restricción. Estos resultados se muestran por medio de un mapa para mostrar los datos de las consultas a través de una referencia espacial.

El mapa es una herramienta que facilita el “pensamiento visual” sobre los datos, apoyando la toma de decisiones usando la interacción y la dinámica para lograrlo, así mismo permite transportar la información de los datos espacialmente referenciados en una ubicación espacial [29]. Las interacciones que se deben tener en cuenta para la navegación en un mapa son la funcionalidad de zoom y paneo, donde el zoom permite tener un nivel de detalle del espacio y de los valores de los atributos y el paneo permite la ubicación de un área focalizada [31].

Por otro lado para generar la exploración de un mapa el usuario debe tener la posibilidad de crear un buffer o área de influencia en donde se le presente toda la información pertinente con respecto a esa área. Así mismo, cuando se apunta a una ubicación u objeto específico, este debe reflejar una retroalimentación visual (high light) y debe presentar el nombre y el valor o información de la consulta [28].

La visualización de los valores de los atributos en las consultas se pueden representar en los mapas [32], y esta representación la podemos evidenciar en la figura 24, en donde se sugiere el funcionamiento y representación de la información de cada mapa.

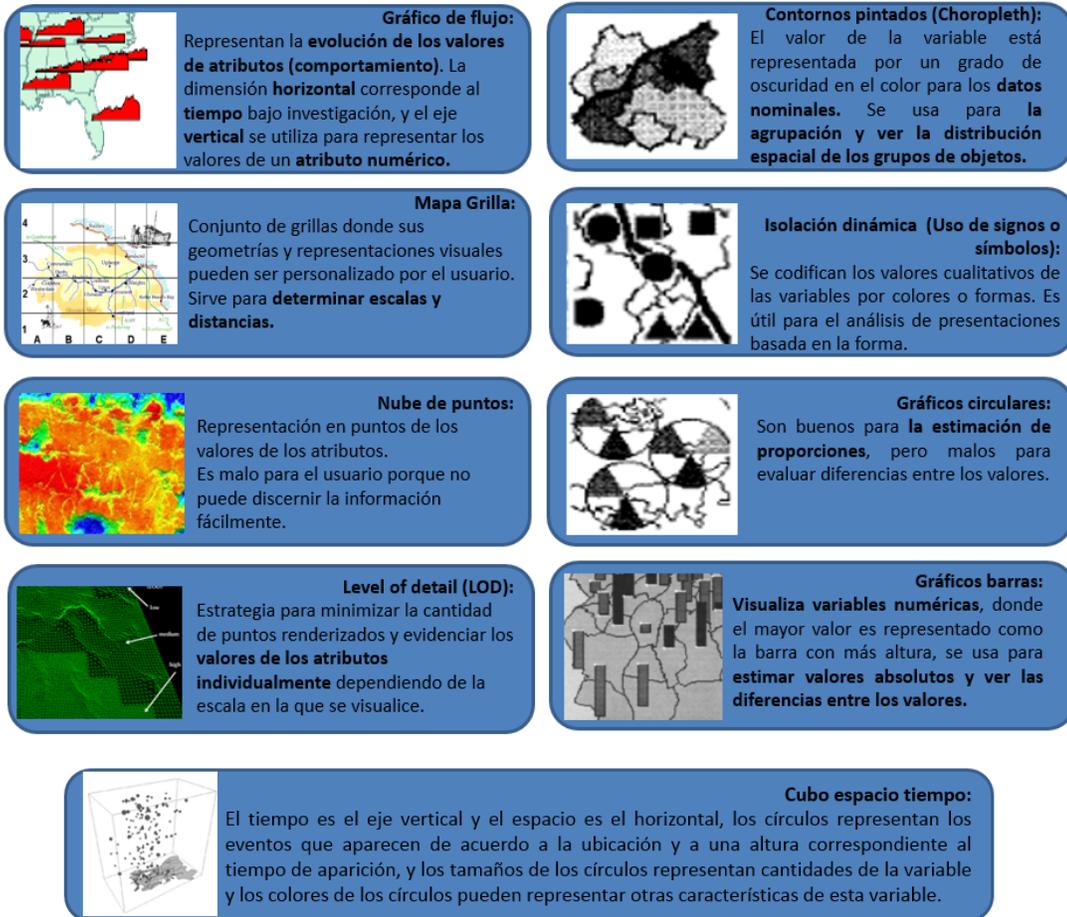


Fig 24. Visualización de datos sobre mapas

Otra herramienta para la visualización de datos sobre mapas es el uso de la técnica de animación en donde utilizan los comandos de “play, stop y pause”, para observar la evolución del patron espacial y ver en cada momento del tiempo los valores de los atributos de varios elementos simultaneamente, lo cual permite evidenciar las tendencias generales de los valores de los atributos [4]. Esta técnica permite a los usuarios mostrar varios períodos de tiempo de forma simultánea en los mapas animados, el problema es que provee mucha información para el usuario, lo cual es un inconveniente para su recordación en la memoria de corto plazo. Por tanto, si se utiliza este método es bueno utilizar la comparación simultánea entre mapas en una pantalla integrada para comparar diferentes momentos de la animación [34].

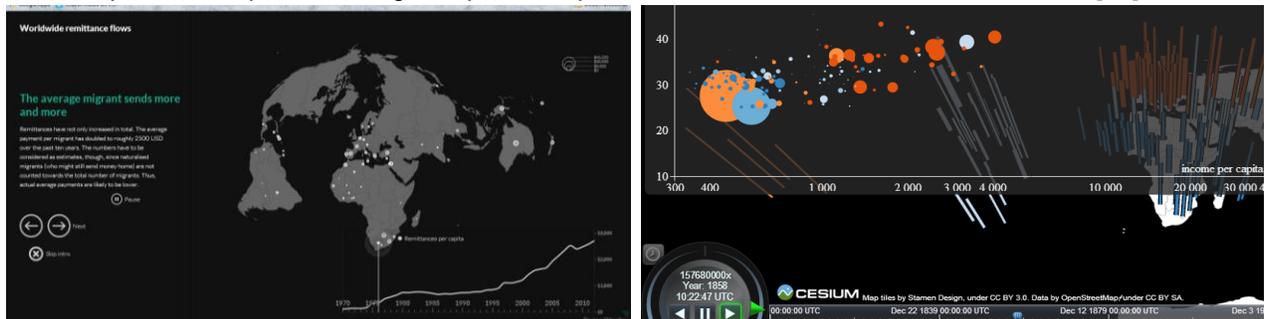


Fig 25. Animación de datos sobre mapas

La comparación de datos en mapas en diferentes instantes de tiempo tiene como objetivo mostrar las diferencias o proporciones entre los valores para cada momento y los valores para el momento anterior o en cualquier momento seleccionado por el usuario, es decir, las visualizaciones de los mapas a comparar deben tener las mismas medidas y escalas para ver las diferencias entre los valores de los atributos seleccionados entre distintos momentos de tiempo [30].

Área de Información Adicional:

Esta área sigue siendo parte de la plataforma de analítica visual en donde da respuesta a la consulta realizada por el usuario. Esta área muestra información que no se representa a través de un mapa y se presenta como un widget 2D, permitiendo una visualización complementaria de los mismos datos y datos adicionales para facilitar las comparaciones y ayuda a los expertos a su proceso de análisis, ya que utilizan otros tipos de gráficos para comprobar distintas hipótesis.

El área de información adicional está conformada por múltiples vistas paralelas en donde se pueden observar visualizaciones focalizadas de un espacio y tiempo específico, evidenciando distintos atributos o cierta cantidad de datos que son de interés para el usuario.

Se hace uso de diagramas de comparación donde no influye el filtro del tiempo para comparar los valores originales de los atributos con respecto a la media, la media global o con un valor asociado a un objeto seleccionado dividiendo el valor original por el valor de referencia. La línea negra representa el promedio de todos los datos, esto ayuda a un analista para comprender las tendencias generales igualmente permite mostrar las anomalías [20], como se ve representado en la figura 26.

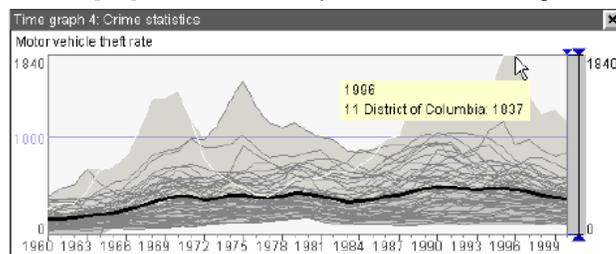


Fig 26. Diagrama de línea apliada

Otro tipo de gráfico es el Parallel coordinate plot (pcp), el cual permite el análisis de la información en el tiempo y ver múltiples variables en el tiempo, en donde los atributos están en una lista en los ejes paralelos verticales y se genera una poli-línea que conecta los ejes con los valores de cada atributo [30], como se muestra en la figura 27.

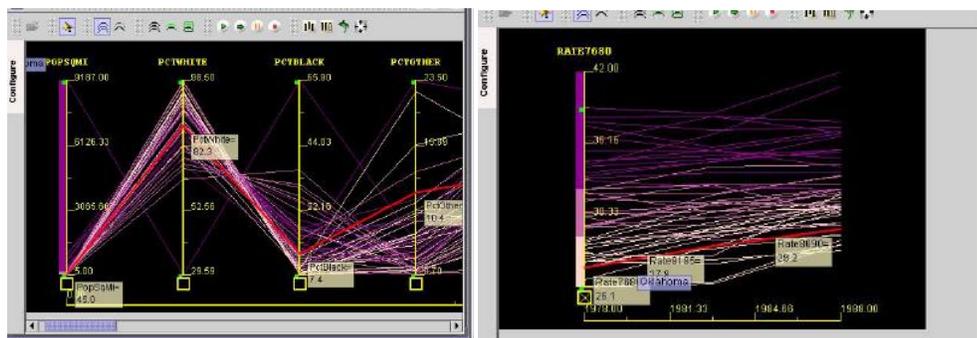


Fig 27. Diagrama de coordenadas paralelas

Así mismo, se puede utilizar el gráfico Storygraph, el cual posee dos ejes verticales paralelos, junto con un eje horizontal. Los ejes verticales representan la ubicación (latitud y longitud), mientras que el eje horizontal representa el tiempo. Esta gráfica ayuda a los usuarios a comprender los acontecimientos en

un territorio, con un contexto espacio-temporal, permitiendo mostrar eventos recurrentes o periodicidad en los datos [33].

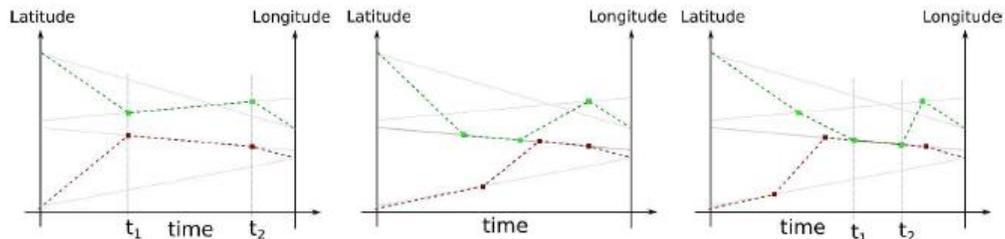


Fig 28. Diagrama storygraph

INTERFAZ INTERACTIVA:

En este punto nos enfocamos en la interacción y en el diseño de la interfaz centrado en el usuario para convertir los controles de consulta espacial, temporal y de atributos en un área de consulta completa y eficiente para el experto, teniendo siempre presente que los datos que se manejan son espacio-temporales, es decir, datos que varían en el tiempo refiriéndose a una ubicación espacial que se pueden estimar y visualizar lo que permite la exploración de comportamientos evidenciando valores de atributos en lugares específicos en tiempos determinados. De esta forma, la interfaz debe apoyar al usuario a observar y correlacionar diferentes eventos en el tiempo y el lugar para descubrir relaciones entre ellos e identificar diferentes patrones mediante la tarea de análisis de exploración de los datos.

La interacción e interfaz deben estar enfocadas en ayudar al usuario a cumplir su tarea de análisis de forma sencilla y rápida, para ello se debe generar una integración entre los usuarios y la información de los datos espacio-temporales [19], como lo vemos representado en el modelo de la figura 29:

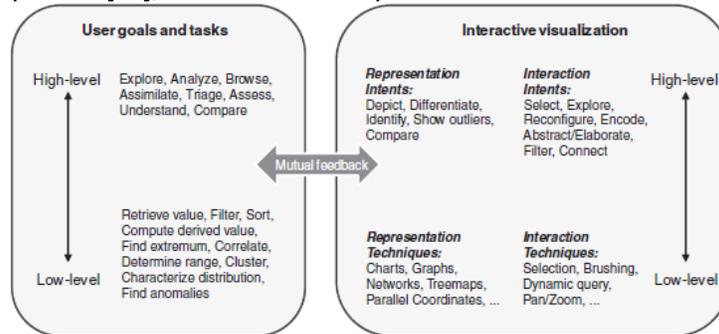


Fig 29. Relación de las tareas y metas del usuario con la visualización interactiva

La interacción con visualización de datos espacio-temporales está determinada por las intenciones de interacción las cuales son componentes de descubrimiento de conocimiento o proceso de confirmación que necesitan los expertos para el análisis y toma de decisiones [31]. Estas técnicas se representan en la figura 30:

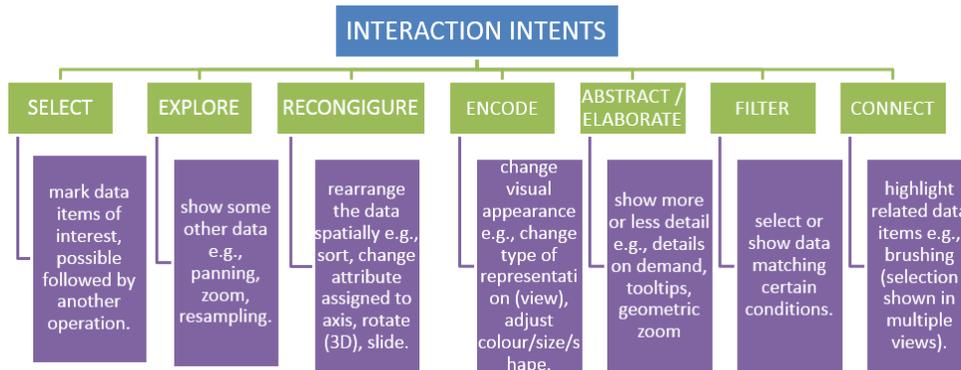


Fig 30. Técnicas de interacción en visualizaciones

La técnica de selección y filtrado de una consulta se entiende como la selección de un conjunto de restricciones temporales, espaciales y/o de atributos que muestra los datos que cumplen con las restricciones generadas por el usuario, por tanto la selección permite la interacción a bajo nivel, permitiendo recuperar valores, filtrarlos, calcularlos, encontrar extremos (máx. y min.), clasificar, determinar el rango, caracterizar la distribución, encontrar anomalías, clústeres y correlaciones entre los datos espacio-temporales. Estas funciones se pueden realizar a través de botones los cuales están integrados en una barra de herramientas, o widgets de consulta en donde me permite realizar un filtrado espacial, temporal o de objetos. Dentro de la visualización se debe tener un espacio para anotaciones, lo cual le permite al experto resaltar conclusiones e hipótesis [31].

Por otro lado la exploración es la función que toma las consultas como input y retorna los valores de un conjunto de atributos que satisfacen una restricción, permitiendo la visualización de los atributos dado un espacio y un tiempo determinado haciendo uso de funciones como el zoom, el paneo o el buffer para que el usuario pueda explorar los datos sobre un área llamada “spatial view” o “área de análisis” [18] la cual es donde se coloca el mapa.

Así mismo se utiliza la codificación para mostrar los resultados a través de múltiples representaciones gráficas de los mismos datos para facilitar comparaciones que no son visibles en el mapa, este campo en la interfaz se llama “área de información adicional”. Este mecanismo permite comprobar distintas hipótesis de los expertos y ayuda a la creación del modelo del sistema urbano a través del uso de chart áreas en donde se pueden ubicar los distintos gráficos de utilidad para evidenciar porcentajes y proporciones de los atributos consultados [32].

El uso de la abstracción y elaboración se utiliza para tener mayor detalle sobre los datos espacio-temporales, como el tipo de dato, de donde viene y ver los datos en crudo e información anexa a estos extraídos para que el experto pueda validar la adquisición de los datos. Así mismo esta técnica le permite al usuario centrarse en un solo conjunto de datos y analizarlos enfocándose en estos y el sistema debe generar detalles en demanda de los objetos para proveerle mayor información [15].

Finalmente la técnica de conexión se tiene en cuenta usando mecanismos como el “Brushing & linking” [20], ésta herramienta permite seleccionar interactivamente subconjuntos de datos para que puedan ser resaltados, eliminados o enmascarados y conectar los elementos seleccionados de una vista poniendo en relieve estos elementos en los demás puntos de vista. Esta herramienta usa la codificación de colores para resaltar las relaciones de los elementos como lo utilizaron en el proyecto VisGets [14], como se representa en la figura 31, donde el elemento (A) está muy relacionado con el elemento visual (B) ya que ambos representan los mismos elementos de información. El elemento visual (C) está débilmente relacionado con (A) ya que comparten un solo elemento de información asociada a (A). El elemento visual (D) no tiene ninguna relación con (A), y por lo tanto se muestra con el color por defecto.

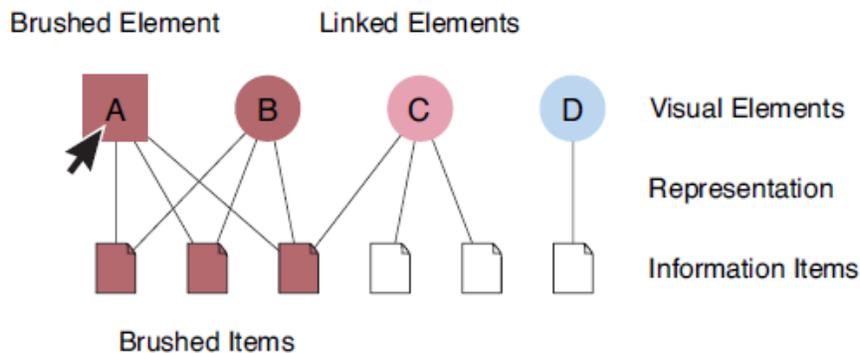


Fig 31. Herramienta de conexión de elementos “Brushing & linking”

Otra parte del proyecto es la interacción con la visualización en Large Display por medio de una técnica de interacción que permita la colaboración entre expertos. Se plantea este tipo de visualización debido a que apoya la navegación de los datos y le permite a los usuarios realizar algunas tareas más rápidamente, por ejemplo la búsqueda de un atributo, búsqueda de valores o tendencias, facilitando el trabajo con múltiples usuarios mediante una interacción natural [15].

Las interacciones que se pueden utilizar para la visualización de datos espacio-temporales en Large Display [33] se muestran en la figura 32.

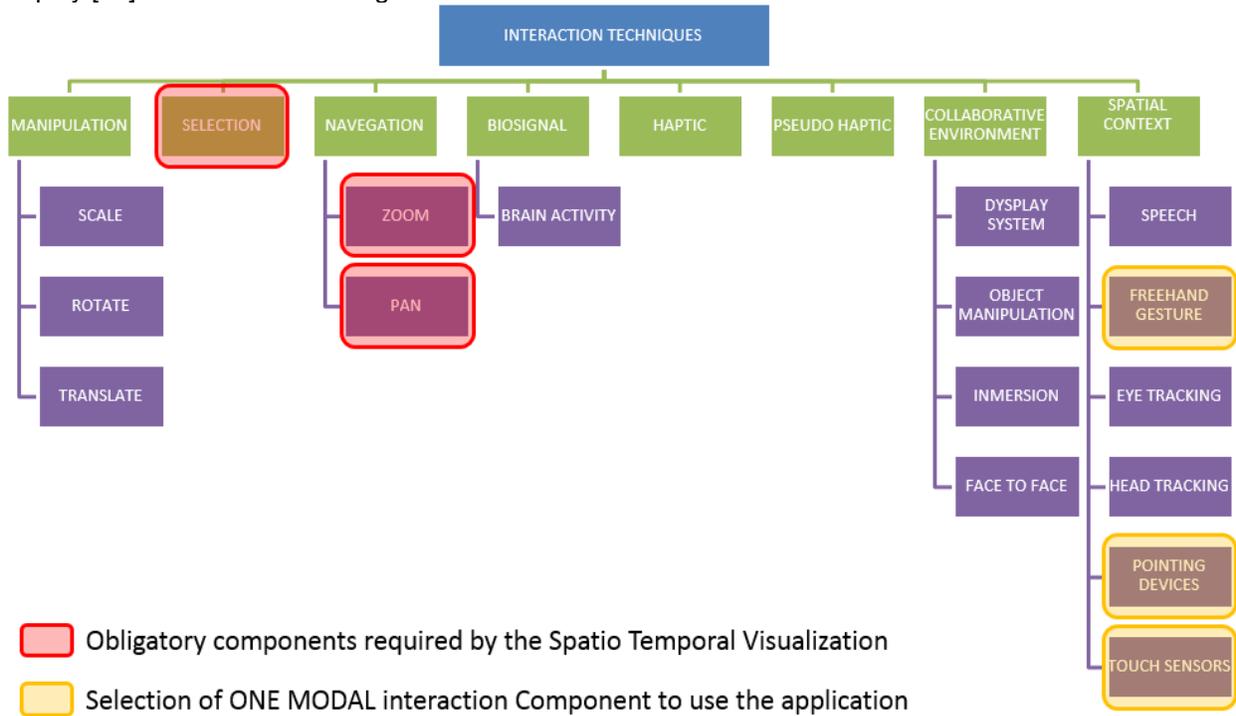


Fig 32. Técnicas de interacción para ambientes de Large Display.

Las interacciones de navegación y selección son indispensables para la generación de consultas y exploración de los datos sobre el área de análisis, sin embargo, para generar un ambiente colaborativo haciendo uso de un Large Display no se ha planteado ninguna propuesta concreta asociándolo a la visualización e interacción con datos espacio-temporales del sistema urbano de Bogotá, por tanto se presenta un tipo de técnica para la interacción que permita la Geo Colaboración [34].

La técnica que se plantea es multimodal, es decir, el uso de varios elementos que se complementen para obtener un resultado eficiente para el usuario. Por tanto se propone usar la opción de “Touch Sensors”, en donde se hace uso de la técnica de perspectivas privada, con la cual se generan análisis individuales por parte de cada analista sobre una tableta y se funden en una visión compartida en una visualización común en Large Display, allí aparecen los resultados de cada experto y comparten sus ideas a través de la voz. Este tipo de interacción no permite observar y dar seguimiento al proceso de consultas sino muestra los resultados de éstas, generando el análisis sobre los resultados en la visualización que integra los puntos de vistas individuales y privados de cada experto [35].

La otra técnica a utilizar de interacción en un ambiente de Large Display es el “Pointing Device” en donde uno o más usuarios pueden interactuar de forma simultánea sobre una visualización en gran formato, ayudando al usuario a señalar los elementos sobre los cuales se esta hablando, esta técnica de interacción complementa la acción de comunicación entre usuarios [35].

5 ESTRATEGIA DE SOLUCIÓN

- Objetivos

1. Crear un modelo de datos que permita la exploración y navegación en datos espacio-temporales.
2. Diseñar una herramienta de interacción de consultas espacio-temporales que apoye la tarea de análisis de la exploración de datos.
3. Integración sobre una herramienta de analítica visual con una interfaz de consulta que mejore los mecanismos de interacción y permita una formulación informal de consultas complejas.

- Alcance

Se propone crear una herramienta que facilite la forma de expresión de las consultas Espacio-Temporales de forma visual e interactiva para lograr comunicar fácilmente las restricciones y filtrar los datos. Esta herramienta interactiva permite su integración a otra plataforma de analítica visual para su visualización en “Large Display” y su manipulación con distintos dispositivos de interacción.

Este sistema de visualización interactivo consta de un modelo que administra la información en una estructura de desacoplamiento en los tres aspectos de espacio, tiempo, y datos, así como de sus niveles de granularidad. De esta manera, los niveles pueden ser mostrados, navegados y explorados de lado a lado para facilitar su análisis combinado.

- Restricciones

Esta herramienta se basa en la implementación de un modelo para la exploración de datos espacio-temporales enfocada en el desarrollo de una interfaz con tres controles (espacial, temporal, atributos) los cuales se utilizan para hacer consultas sobre los datos existentes del sistema urbano de movilidad en Bogotá de manera que los usuarios exploren la información que proveen dichos datos mediante su integración a un frameworks de analítica visual, en este caso la plataforma Vafus [1], el cual posee los componentes para que el experto vea y analice los resultados de las consultas.

La calidad y análisis de los datos se puede mejorar mediante un estudio posterior en donde se realice la minería de datos enfocándose en proveer los que sean relevantes para los expertos y así poder analizarlos con el detalle que ellos necesitan. Los datos deben seguir un protocolo de clasificación y ordenamiento para que puedan ser integrados en la interfaz, así mismo, se deben implementar ciertos componentes para que la interfaz pueda ser utilizada sobre cualquier plataforma de analítica visual en sistemas urbanos permitiéndole a éste generar consultas espacio-temporales, visualizarlas y utilizarlas mediante distintos dispositivos de interacción.

6 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Se plantea el desarrollo de un modelo que permita la navegación y filtrado de los datos espacio-temporales manejando cada uno de sus componentes de forma independiente, permitiendo la exploración de estos desde todos sus niveles de granularidad y de información. Por tanto, se propone una extensión de la estructura de datos de J. Bertin y D. Peuquet, extendiéndolo al dominio del tiempo, el espacio y los atributos mediante un modelo de desacoplamiento de estos tres dominios teniendo en cuenta los niveles de granularidad y su escalabilidad. De esta manera, los datos pueden ser mostrados y explorados de lado a lado para facilitar su búsqueda y restricción por medio de los **modos exploratorios**, los cuales apoyan la tarea de análisis de exploración de datos mostrando la información solicitada y eliminando de la vista del usuario los datos que no se ajusten a la restricciones de consulta, permitiendo además la combinación entre los niveles de granularidad que poseen los datos temporales y espaciales ya que cada celda del cubo representa un objeto espacial asociado a un atributo, a un paso en el tiempo y dentro de cada uno mostrar niveles de granularidad y modos exploratorios.

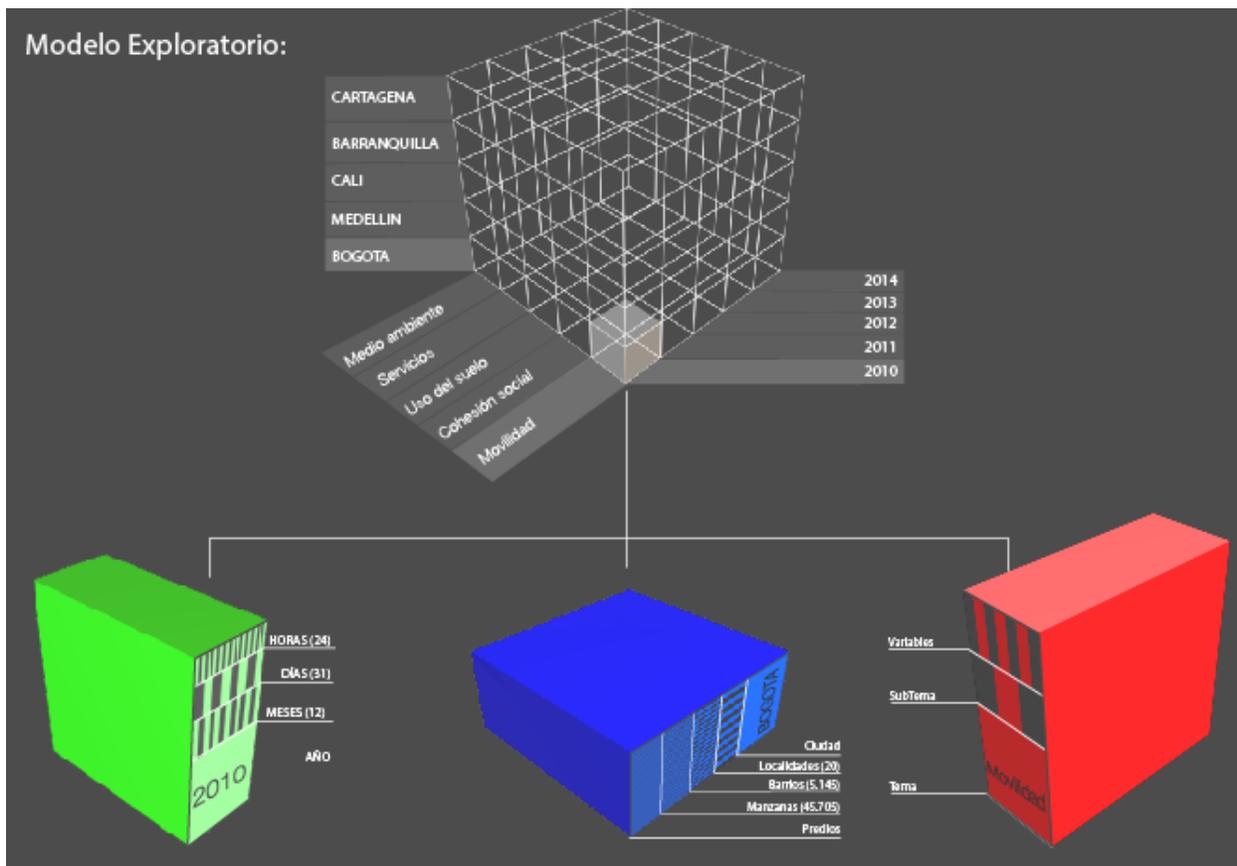


Fig 33. Modelo Exploratorio MEDET

La figura 33 muestra el modelo exploratorio, el cual permite la interacción por medio del semantic zoom y desagregación de los datos viéndolos desde diferentes niveles. Con base en este cubo puedo generar una estructura de selección y exploración ya que permite establecer una navegación para la lectura, búsqueda y filtrado en datos espacio-temporales y sus diferentes granularidades debido a que se está vinculando el modelo D. Peuquet para acceder a los componentes de los ejes (espacio "Y", tiempo "Z", atributos "X"), así mismo, se utiliza la estructura de J. Bertin para la selección de uno o varios componentes de un mismo eje; finalmente en este trabajo se propone una extensión al modelo que permite ver los distintos niveles de granularidad de uno o varios componentes de cada uno de los ejes, esta extensión se llama **modos exploratorios**, donde cada modo es explicado en la figura 34.

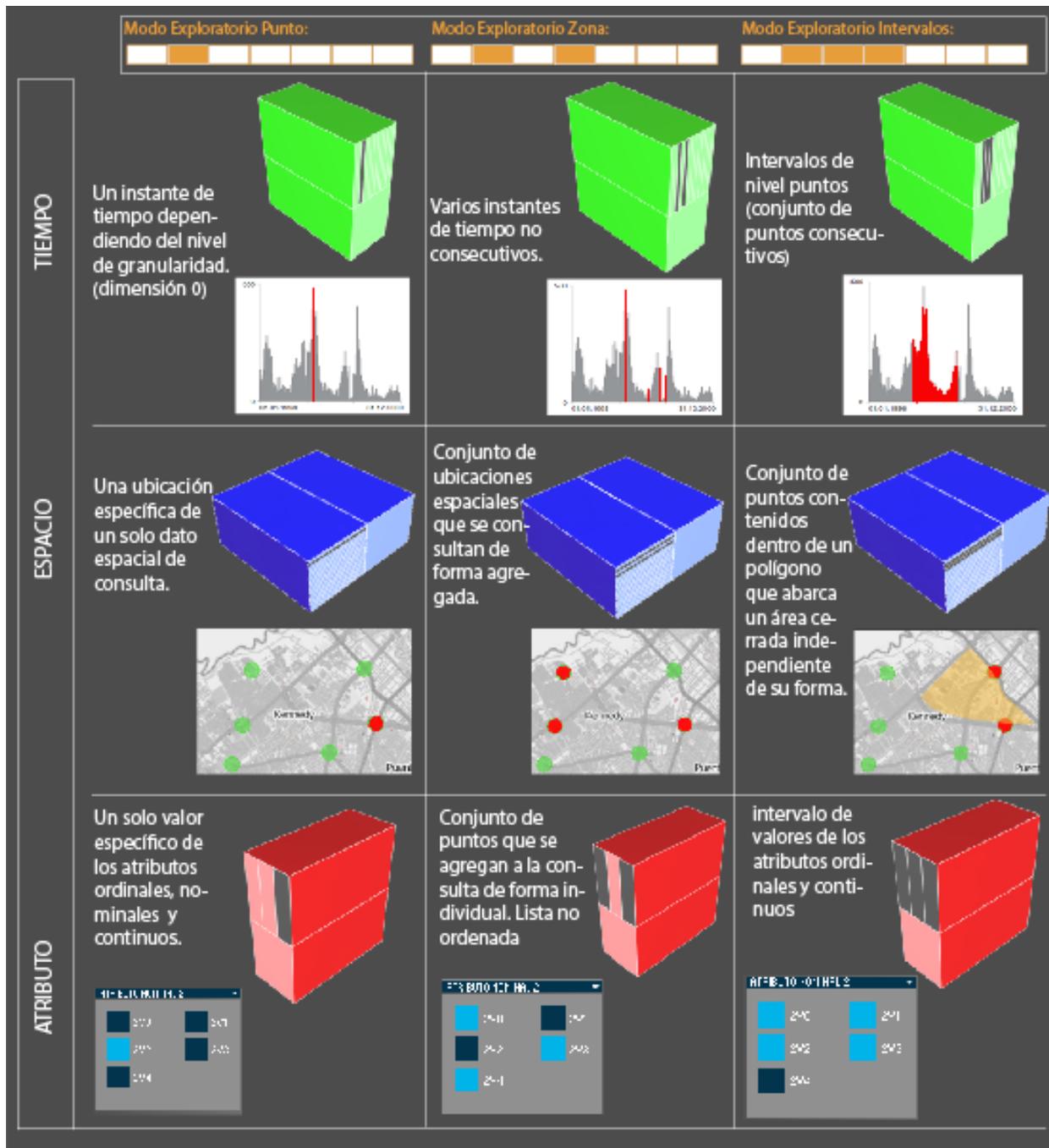


Fig 34. Modos exploratorios

Este modelo se puede representar en forma de grafo como se muestra en la figura 35, en donde el núcleo del grafo está compuesto por los componentes de Espacio, Tiempo y Atributos los cuales poseen sus propios niveles generando una estructura basada en un árbol por cada componente, representando de esta forma la jerarquía de las granularidades de los objetos del modelo con un sistema no direccional entre los componentes, lo que permite la relación libre del núcleo del grafo y la producción de consultas a partir de las respuestas de otras consultas, permitiendo una exploración de los datos de acuerdo al interés de los expertos.

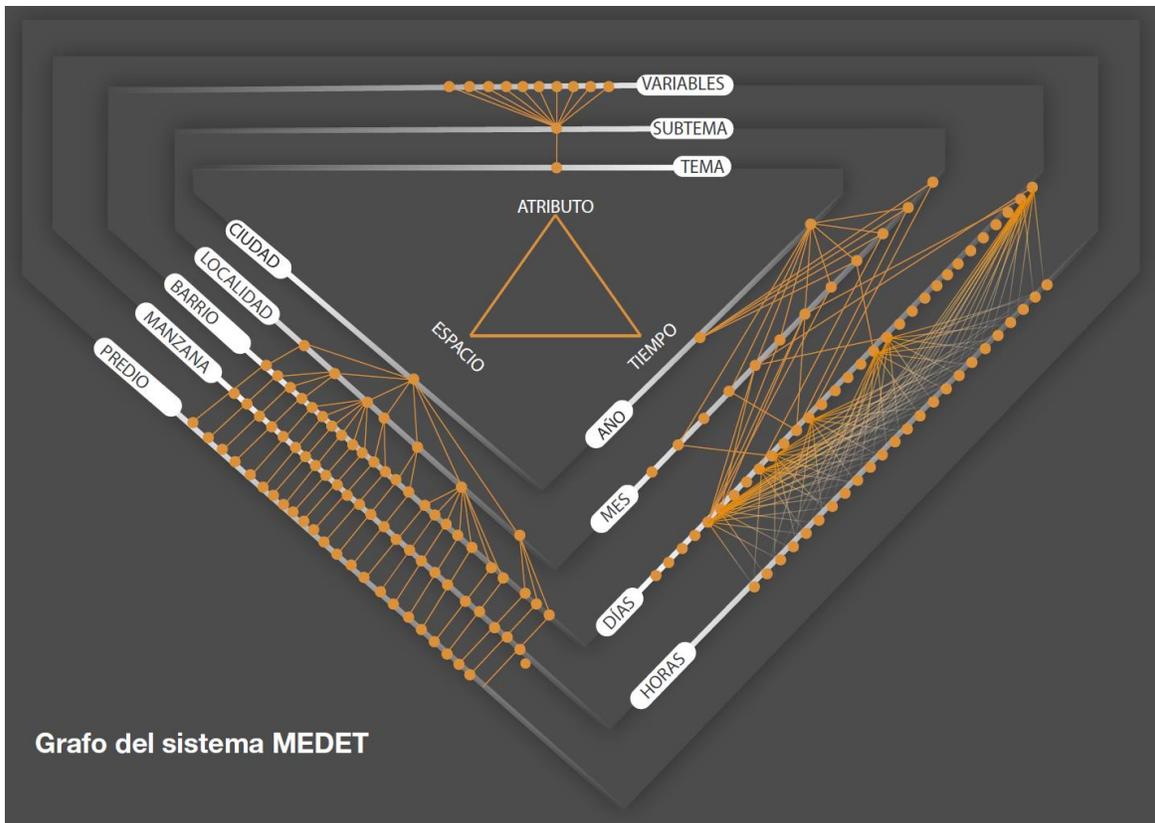


Fig 35. Grafo del sistema MEDET

El modelo permite generar respuestas sobre los filtros de los datos realizados por el usuario y sobre estos resultados se pueden realizar nuevas consultas, permitiéndole al usuario analizar los resultados con otros parámetros, planteando nuevas hipótesis y generando un análisis sobre cada una. Este sistema de grafos y consultas permite devolverse a anteriores consultas para retomarlas y plantear otras hipótesis con otros parámetros, generando finalmente un historial de las consultas realizadas por cada usuario.

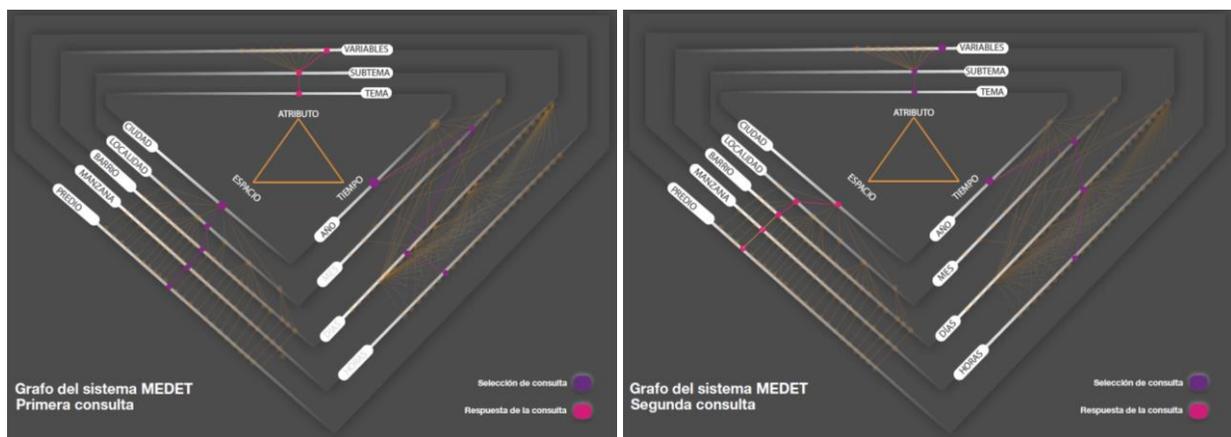


Fig 36. Historial de consultas

7 DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN

A partir del modelo exploratorio definido anteriormente, se construye un sistema de visualización e interacción para la formulación de consultas en datos espacio-temporales, llamado MEDET, el cual posee componentes que se encargan de construir y manejar los núcleos del grafo del sistema y la relación entre ellos permitiendo generar consultas y responder a estas de forma visual e interactiva. Con este modelo como base se diseña y desarrolla una herramienta que facilita la forma de expresión de las consultas Espacio Temporales, permitiendo su integración a otra plataforma de analítica visual que administra los datos mediante una estructura cliente – servidor, esta plataforma de administración de datos que tiene conexión directa a la base de datos es VAFUS [13], MEDET se encarga de la visualización de los controles de consulta (espacio, tiempo y atributos) dentro de una aplicación cliente y de la visualización de los resultados de las consultas dentro de una aplicación servidor conectada a VAFUS, así mismo, MEDET se encarga de enviarle las consultas realizadas por el experto desde la aplicación cliente a la plataforma VAFUS mediante unos vectores de información para que la aplicación servidor pueda mostrar los resultados de la consultas, así mismo, el usuario puede profundizar en la exploración de los resultados seleccionando uno o un conjunto de datos de los resultados para así generar nuevas consultas a partir de las respuestas de otras consultas. La selección de los datos de resultados son enviados por los vectores de información a la aplicación cliente para mostrarle al usuario con mayor detalle en que parte se encuentra ese dato evidenciando todos los niveles del grafo que se navegó para encontrar la respuesta. Finalmente el sistema MEDET consta de un componente de interacción que permite el uso de distintos dispositivos de interacción, permitiendo que la aplicación cliente se pueda utilizar por medio de tablets o celulares y la aplicación servidor se visualice en Large Display y se interactúe por medio del uso de laser pointers lo cual permite un ambiente colaborativo entre varios expertos, los cuales pueden seleccionar y señalar los resultados de las consultas.

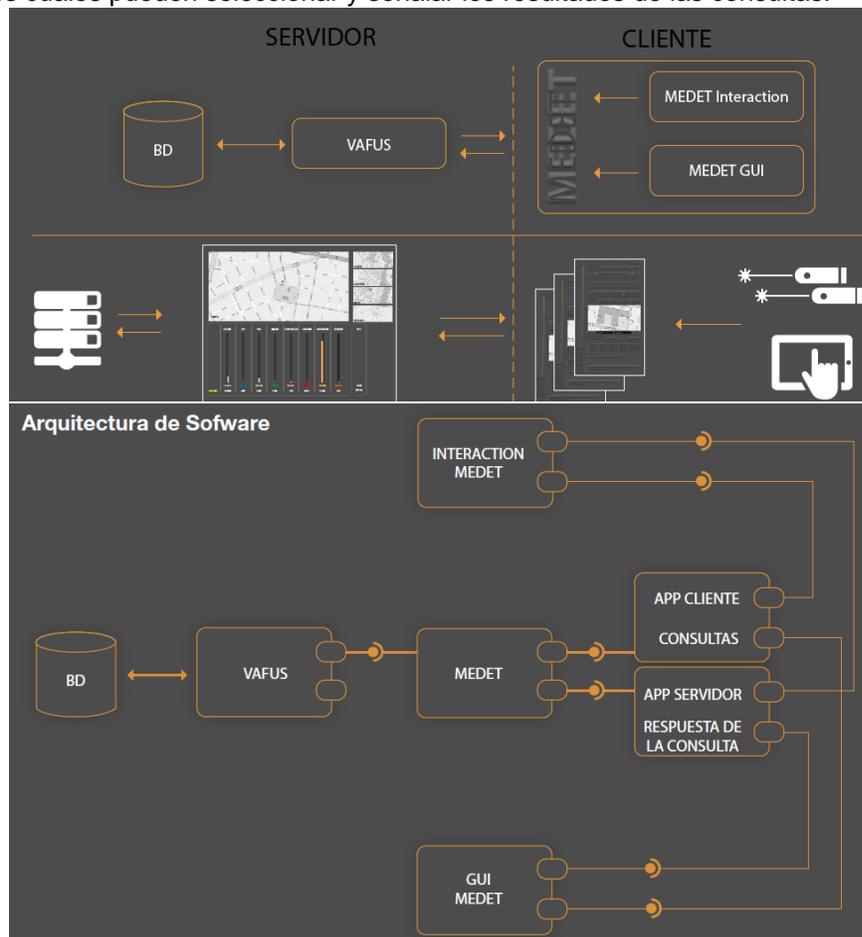


Fig 37. Estructura Cliente - Servidor y arquitectura de software

El diseño del sistema MEDET está compuesto por tres componentes básicos, donde el componente principal es CORE MEDET, el cual es el encargado de crear, manejar e interpretar los vectores de información; estos vectores son los mensajes que contienen la información de la consulta que va desde la aplicación hacia VAFUS y de VAFUS hacia la aplicación. Envía el mensaje con la respuesta de la consulta, estos mensajes se manejan por medio de un protocolo de comunicación específico en donde al seleccionar un evento sobre el control del tiempo, se envía un vector con la información seleccionada del año, mes, día de la semana y horas; en caso de que el evento sea sobre el control del espacio se envía un vector que contiene el nombre de la ciudad, la localidad, el barrio, la latitud y longitud de la manzana y el predio. Finalmente cuando se genera un evento sobre el control de atributos se envía un vector en donde la primera parte del mensaje posee el nombre del tema, le sigue el número de subtemas, luego los nombres del subtema, seguido por el número de variable y el nombre de estas variables, de esta forma el tamaño del mensaje es dinámico y tanto VAFUS como la aplicación pueden determinar la cantidad de atributos que se van utilizar. Por último, el protocolo tiene un espacio para información extra que puede llegar a ser necesaria en caso de que la aplicación lo requiera, permitiendo de esta forma la escalabilidad del sistema.

Este vector contiene la información de los tres componentes y de sus granularidades, de esta forma se obtiene la información de los elementos que están consultando los usuarios y su respectiva respuesta. Con la información que se encuentra dentro de los vectores se puede armar un historial, observando cuales fueron los elementos seleccionados por el usuario para realizar sus preguntas con las cuales llegó a un determinado análisis. Se pueden reutilizar estos mismos elementos para re-evaluar las consultas y seleccionar otras para generar un nuevo análisis a partir de unas bases consultadas anteriormente.

TIEMPO							KEY	VALUES
ANIO	MES	DIA	DIA SEMANA	HORA				
						ANIO		
						MES		
						DIA		
						DIA SEMANA		
						HORA		

ESPACIO							KEY	VALUES
CIUDAD	LOCALIDAD	BARRIO	MANZANA LAI	MANZANA LONG	PREDIO LAI	PREDIO LONG		
							CIUDAD	
							LOCALIDAD	
							BARRIO	
							MANZANA LAI	
							MANZANA LONG	
							PREDIO LAI	
							PREDIO LONG	

ATRIBUTO								KEY	VALUES
TEMA	numSubTema	SUBTEMA 1	numvar	VARIABLE 1	VARIABLE 2	numVar 2	SUBTEMA 2		
								TEMA	
								SUBTEMA 1	
								VARIABLE 1	
								VARIABLE 2	
								SUBTEMA 2	
								VARIABLE 1	

Fig 38. Vectores de información.

El segundo componente es GUI MEDET, el cual le provee a la aplicación distintas interfaces que puede utilizar el usuario para crear su propia aplicación cliente con los controles de tiempo, controles de espacio y controles de atributo, los cuales se usan para poder realizar las consultas y explorar los datos disponibles a nivel general.

El control del tiempo posee la granularidades contenidos en los datos, es decir, si los datos poseen el mes, el día y la hora, la aplicación adquiere esta información automáticamente y la despliega sobre la interfaz, así mismo si los datos poseen ciertos meses de un año, en la visual se visualizarán sólo esos meses omitiendo aquellos que no están incluidos en los datos. Esto se hace con el propósito de que no

haya necesidad de programar la inclusión de los datos de tiempo, sino que estos se añaden automáticamente de la base de datos y con respecto al experto, esto le permite observar cuáles son los datos que puede utilizar, generando una primera exploración de los datos a nivel general.

El control espacial está constituido por 5 botones donde cada uno representa un nivel de granularidad del espacio, es decir, ciudad, localidad, barrio, manzana y predio. Esto le permite al usuario observar la ubicación de los datos a analizar desde distintos niveles de detalle generados por la granularidad que esté interesado en visualizar. Los datos deben poseer los nombres de la ciudad, la localidad y el barrio, los cuales son identificadores únicos de ese lugar en esa determinada granularidad, sin embargo, las manzanas y los predios deben estar constituidos por una misma latitud y longitud, ya que estos elementos están definidos en el espacio bajo esos parámetros.

El control de atributos está compuesto por un tema general el cual está constituido por subtemas, los cuales se visualizan en un componente que contiene las variables, este componente modifica su tamaño dinámicamente de acuerdo a la cantidad de variables que haya dentro de éste. Las variables están compuestas por un nombre y se visualizan como un widget de “check boxes” independientemente de si la variable es de tipo nominal, continuo u ordinal. Este tipo de widget permite generar la selección de una sola variable, de varias no consecutivas o de varias consecutivas, permitiendo el acople con los modos exploratorios tipo modo, zona e intervalo del modelo planteado.

Por otro lado, el componente GUI MEDET provee la posibilidad a la aplicación servidor de ver los resultados de las consultas con distintos tipos de gráficas permitiendo ver los resultados con una visión general por medio de un componente “Overview” y otro componente que permite la Geo-visualización de la información llamado “Detail of demand”, el cual funciona como la vista espacial del resultado de consulta.

El componente “Overview” permite la visualización del resultado de las consultas por medio de dos tipos de gráficas: el scatterplot y el diagrama de barras. El scatterplot se utiliza para graficar las respuestas de las consultas de temporales (dónde + qué = cuándo) en el que cada punto representa la cantidad de una variable en un lugar específico durante las 24 horas, contando en que el último nivel de granularidad son las horas ya que lo que se representa en los scatterplots es el último nivel de granularidad del componente. Así mismo éste tipo de gráfica se utiliza en las consultas espaciales (cuándo + qué = donde), en el que cada punto representa la cantidad de una variable en un tiempo específico durante todas las ubicaciones representadas por una longitud y latitud del predio como mínimo nivel de granularidad del espacio. El otro tipo de gráfica es el diagrama de barras el que se utiliza para la consulta de atributos (dónde + cuándo = qué) en el cual se presentan todos los valores y porcentajes de las variables de todos los subsistemas, permitiendo evidenciar la cantidad de cada atributo en un tiempo y lugar determinado.

El componente “Detail of demand” se encarga de la visualización geo-referenciada de la información permitiendo observar los resultados de las consultas en las ubicaciones donde el experto desea tener mayor información, permitiéndole contrastar los resultados visualizados en el componente “Overview” contra el resultado en el mapa. El objetivo de este componente es darle al usuario información detallada de los elementos específicos que desea analizar el usuario, comparando los lugares seleccionados por el usuario, partiendo la visualización del mapa en el número de ubicaciones seleccionadas para ver de forma individual cada lugar para poderlos contrastar, sin embargo la cantidad de mapas a desplegarse dependen del tamaño de la pantalla para poderlas visualizar. Finalmente en el costado izquierdo superior de la aplicación Servidor se encuentra la representación gráfica del modelo (cubo de consultas) en donde muestra los ejes seleccionados por el usuario y evidencia la consulta gráficamente.



Fig 39. GUI MEDET.

El último componente del sistema es MEDET INTERACTION, el cual se encarga de manejar los distintos dispositivos de interacción, como pueden ser un pointer laser, una Tablet, un mouse o un teclado. Estos dispositivos se pueden implementar dentro de la aplicación servidor y/o dentro de la aplicación cliente, agregándoles funcionalidades personalizadas dentro de cada aplicación. Así mismo el desarrollador de la aplicación tiene la posibilidad de vincular uno o más dispositivos a una aplicación, permitiéndole al usuario utilizar la herramienta en diferentes ambientes.



Fig 40. MEDET INTERACTION.

El primer ambiente sobre el cual se diseña la interacción del sistema MEDET, es una interacción humano – computador, en donde un usuario visualiza la aplicación de generación de consultas y la aplicación de las respuestas de las consultas sobre la misma pantalla, la arquitectura cliente - servidor se maneja de forma localhost. Esta primera interacción se pensó para que solo haya un usuario realizando consultas por medio del mouse y el teclado y éste realice las tareas de análisis en forma individual.

El segundo ambiente propuesto es en “Large Display” donde se pueden ubicar dos (2) o más expertos frente a la visualización y pueden analizar colaborativamente los resultados generados por la consulta de uno de los usuarios. La técnica de interacción que se usó para el desarrollo de ésta modo de manipulación del sistema MEDET se llama Perspectiva Privada [39] en donde se generan análisis

individuales por parte de cada analista y se muestran en una visión compartida y comunican sus ideas a través de la voz. Se determinó este tipo de interacción ya que los planificadores urbanos y regionales acostumbran a reunirse entorno a grandes mapas para discutir los planes maestros pero cada uno expone su propio punto de vista. Sin embargo para seguir un protocolo de interacción que permita un uso ordenado de la aplicación, se determinó usar y vincular el concepto de la metáfora del “tablero en blanco” [38], el cual determina un orden en el que una (1) persona es la que presenta la información a los demás tomando el control sobre el tablero, dibujando y escribiendo sobre este, una vez acabada su exposición le cede su turno a la siguiente persona borrando el tablero para su nuevo uso. Basándose en este protocolo de interacción, se determinó utilizar como dispositivo de interacción privado la Tablet dentro de la aplicación cliente en donde cada usuario tiene en su Tablet la visualización para realizar consultas la cual está conectada a la aplicación Servidor visualizada en el “Large Display”, por tanto el experto que tiene el turno de interacción utiliza la tablet para filtrar los datos y los resultados se visualizan frente a los demás expertos en el “Large Display”, así mismo cada experto posee también un laser para interactuar frente a esta gran visualización permitiéndoles a todos seleccionar, señalar y comunicar las ideas que cada uno tiene frente a las consultas realizadas por uno de ellos. El pointer Laser es el dispositivo de interacción que se implementó sobre la aplicación servidor, ya que permite a los usuarios participar de los resultados seleccionando los factores importantes para sobre ellos generar un nuevo análisis y una nueva consulta.

La inclusión del dispositivo de interacción Pointer Laser dentro del sistema MEDET, funciona por medio del “color tracking” el cual se realiza mediante el uso de una cámara web que se coloca detrás del Large Display, ésta cámara enfoca lo que hay en la pantalla y el componente de MEDET Interaction realiza un procesamiento de la imagen que captura la cámara, reconociendo el color y diámetro del Laser, de esta forma se mapea la ubicación del Laser con respecto a la visualización de resultados en el Large Display para que la aplicación servidor reconozca que es lo que está señalando y seleccionando el usuario, y así generar retroalimentación frente a cada gesto que se realice con el Laser.



Fig 41. Interacción con el Laser.

Por otro lado encontramos la implementación del sistema MEDET representando el modelo de consultas planteado sobre la interfaz, el diseño de ésta se centró en que fuera entendible cada uno de los controles del área de consulta y en donde se evidenciará los niveles de granularidad de cada componente espacio temporal.

El funcionamiento de la aplicación con respecto al modelo de consultas es:

Consulta Espacial (Cuándo + Qué = Dónde):

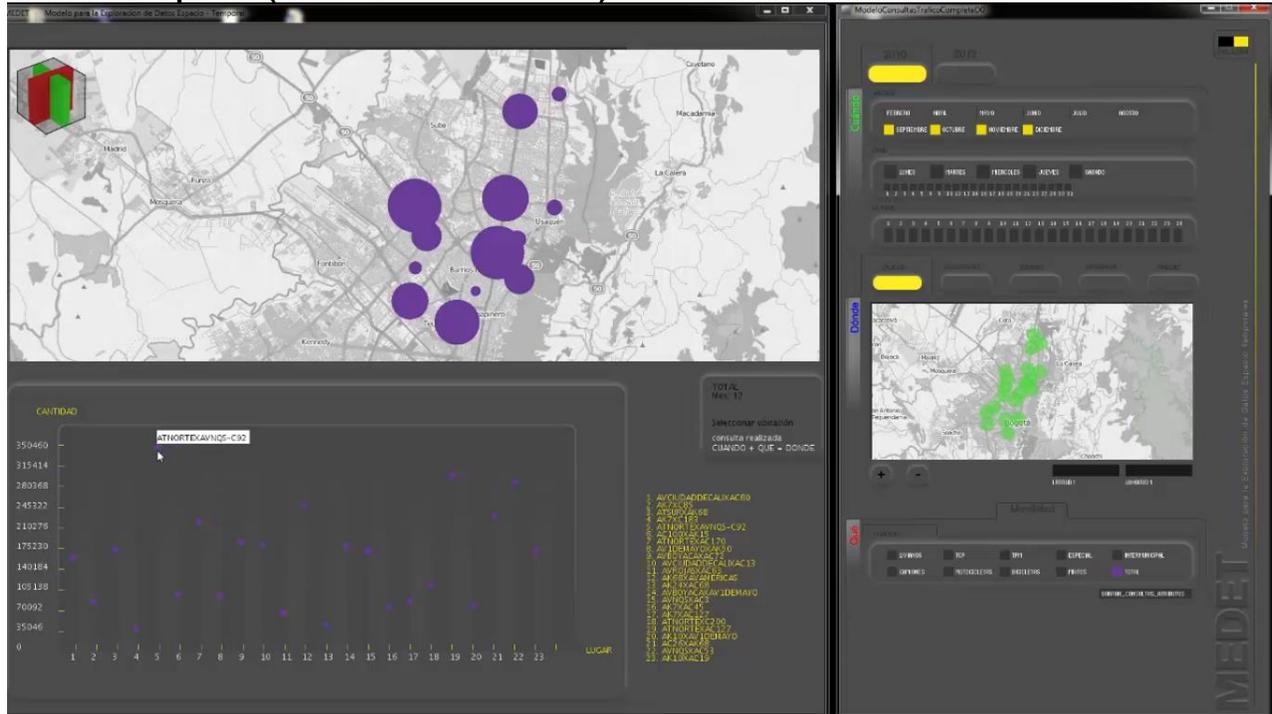


Fig 42. Consulta Espacial.

El usuario puede seleccionar uno o más elementos de cada granularidad del tiempo (mes, días, horas), esta selección puede ser de un elemento (modo exploratorio punto), de dos o más elementos no consecutivos (modo exploratorio zona), o de dos o más elementos consecutivos (modo exploratorio intervalo). Así mismo puede seleccionar las variables de los atributos generando en la visualización de respuesta un scatterplot de todas las ubicaciones Vs. el valor de las variables seleccionadas por el usuario. Este scatterplot permite ver fácilmente el máximo y el mínimo de los valores con respecto a todos los lugares, permitiéndole al usuario analizar los valores del atributo en todos los lugares en un tiempo específico. El usuario se puede ubicar sobre cada punto del scatterplot mostrándole el nombre del lugar y el valor de la variable en ese punto.

Sobre el mapa de la visualización de respuestas se muestran los valores de los atributos seleccionados representados en círculos, donde el diámetro de los círculos refleja el valor de esa variable en cada lugar geo-referenciado, permitiéndole al usuario analizar los datos de cada lugar y así comparar entre ellos y analizando los valores con respecto a las distancias. El usuario se puede ubicar sobre los círculos y ver el nombre de cada ubicación y los valores de las variables.

Los usuarios pueden seleccionar en la aplicación servidor de respuestas uno o más de los lugares con información de interés para el experto como resultado de su consulta y al seleccionarlos se muestran sobre la aplicación cliente de consultas, los lugares en el control de espacio, permitiéndole al usuario la opción de generar nuevas consultas a partir de la respuesta de la consulta anterior.

Consulta Temporal (Dónde + Qué = Cuándo):

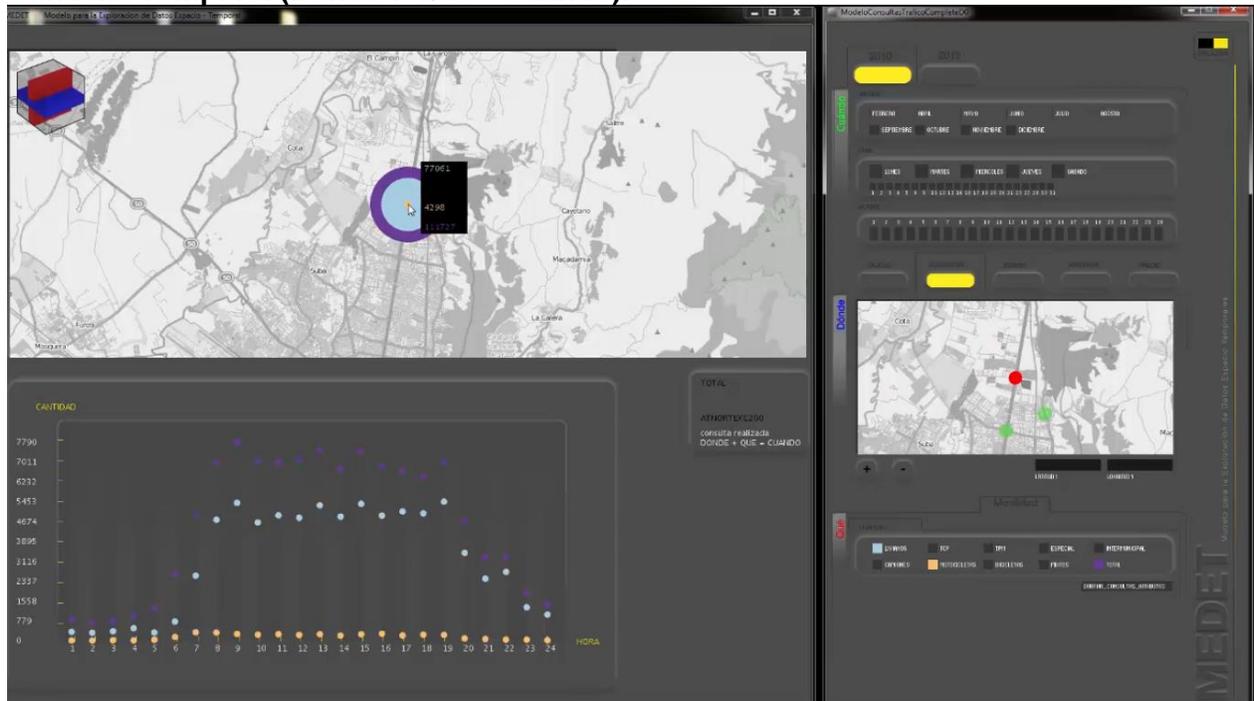


Fig 43. Consulta Temporal.

El usuario puede seleccionar una o más ubicaciones en el control del espacio, así mismo una o más variables de varios subsistemas, generando en la aplicación servidor una visualización del resultado de esta consulta en donde en el scatterplot se visualiza el mínimo nivel de granularidad del tiempo, por ejemplo las horas, contra el valor de las variables. Los colores de los puntos corresponden a los colores de las variables del control de atributos lo que genera una asociación por color del nombre de la variable con el punto que refleja el valor de esa variable en un lugar determinado. El usuario se puede ubicar sobre cualquier punto del scatterplot y éste le indicará el valor del atributo.

En el caso en que el usuario seleccione más de un lugar, se sumaran los valores de las variables seleccionadas y se mostrará en el scatterplot el resultado de la sumatoria, permitiéndole analizar al usuario el comportamiento de los atributos en el tiempo de una serie de ubicaciones definidas. Por otro lado, tenemos el Mapa en la aplicación de resultados, en el cual se replican de acuerdo a la cantidad de ubicaciones seleccionadas en la aplicación de consulta y en donde en cada mapa se muestra el nivel de granularidad seleccionado por el usuario así como cada ubicación por separado. Cada ubicación presenta círculos con los diámetros correspondientes a la proporción que tienen los valores de los atributos, por tanto en una sola ubicación se puede contrastar cada atributo y al tener varios mapas se pueden comparar los valores individuales de los atributos de cada lugar contra los otros lugares seleccionados ya que esto no lo permite ver el scatterplot. El usuario se puede ubicar sobre cada lugar en el mapa y visualizar el número correspondiente a los valores de los atributos en ese lugar.

Los usuarios al seleccionar en el scatterplot uno de los puntos genera sobre la aplicación cliente la iluminación de los elementos del control del tiempo correspondientes a ese atributo en un lugar determinado, permitiéndole visualizar el momento en detalle de cuando ocurrió que ese atributo tuviera ese valor en ese lugar, ese momento en el tiempo se evidencia iluminando cada granularidad (mes, día, hora) en la aplicación de consultas.

Consulta de Atributos (Dónde + Cuándo = Qué):

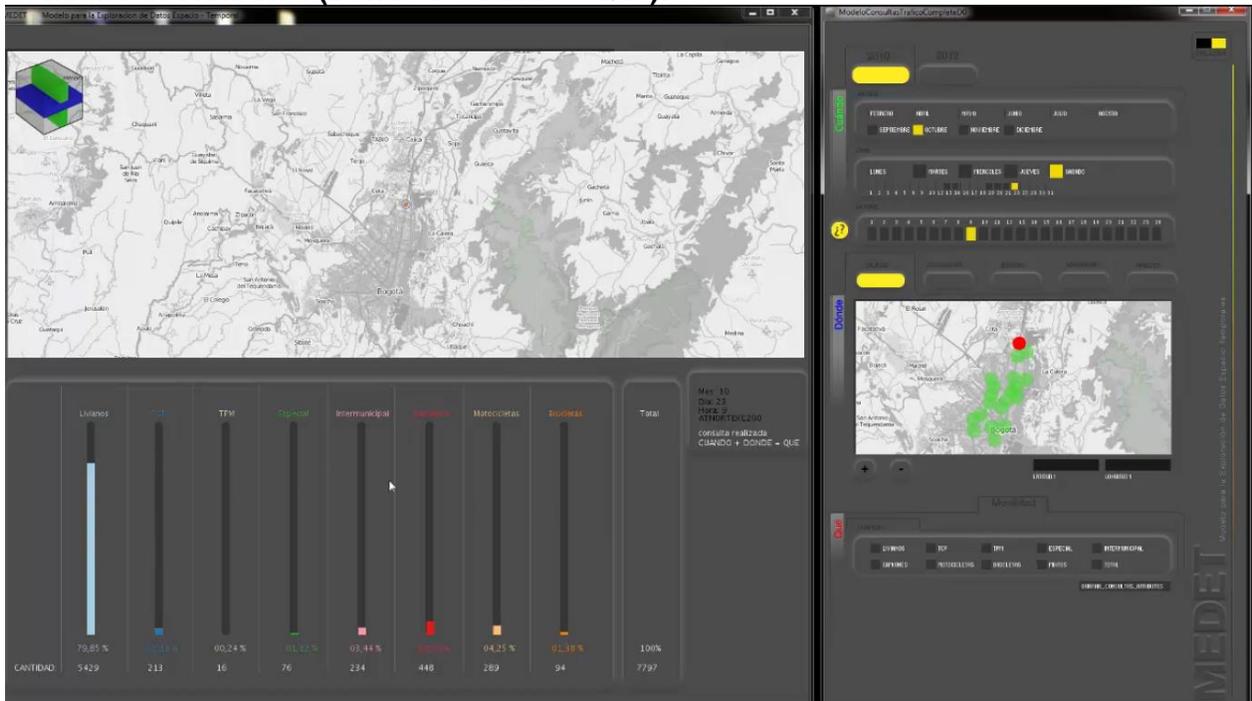


Fig 44. Consulta de Atributos.

En la aplicación cliente el usuario puede seleccionar un instante o un periodo en el tiempo en sus distintas granularidades de forma independiente, es decir, puede seleccionar un solo mes, un solo día pero varias horas consecutivas o no consecutivas, o también puede seleccionar varios días de varios meses pero solo una hora específica, en conclusión, independientemente de la selección de una o más elementos de cada granularidad el modelo permite su consulta detallada. Así mismo el usuario puede seleccionar uno o varios lugares, generando en la aplicación servidor, la visualización de un diagrama de barras mostrando los porcentajes y valores correspondientes a cada atributo que tiene esos lugares en esos momentos.

Al igual que en la consulta temporal, en la consulta de atributos el diagrama de barras muestra la sumatoria de todas las ubicaciones seleccionadas, por tanto muestra el porcentaje y valor de cada atributo en relación a la sumatoria de los lugares seleccionados y a ese tiempo determinado. Así mismo el comportamiento del mapa es igual al de la consulta temporal, en donde el mapa se replica en la cantidad de lugares seleccionados por el usuario y en cada lugar se muestran circunferencias representativas de los valores de cada atributo en ese lugar y en ese momento. El usuario tiene la posibilidad de escoger uno o varios atributos, dándole "click" encima de cualquiera de las barras para generar una consulta posterior con respecto al resultado generado en esa consulta.

8 PRUEBAS DE USUARIOS

Para el proceso de pruebas se utilizaron los datos espacio temporales de la movilidad del año 2010 y 2012, suministrados por la Secretaria de Movilidad de Bogotá a la Universidad de Los Andes. Cada año La Secretaria de Movilidad determina las intersecciones con mayor tráfico en la ciudad de Bogotá, llamando a estas intersecciones como puntos críticos. Estos puntos varían de acuerdo al año y en nuestro set de datos en el 2010 se determinaron 23 puntos críticos y en el 2012 se identificaron 24 puntos críticos. Para determinar estos puntos críticos la Secretaría de Movilidad contrata a una empresa para ubicar de dos (2) hasta cinco (5) personas en las intersecciones principales de la ciudad y cuenten la cantidad de vehículos que entran a la intersección durante las 24 horas de un día al año.

Por tanto se cuenta con los datos de dos años, donde en cada año encontramos un data set de 12 dimensiones compuesto por un componente espacial representado por la longitud y latitud de cada punto crítico, un componente temporal dado por un intervalo de tiempo de 24 horas de un día, de un mes y de un año correspondientes a cada punto crítico. Finalmente se encuentran los atributos compuestos por 10 variables, las cuales representan los tipos de vehículos que pasaron por las intersecciones. Estas variables son: livianos (carros particulares), tcp (buses, colectivos), tpm (Transmilenio, alimentadores), especiales (taxis, carros blancos), intermunicipales, camiones (C2P, C2G, C3, C4, C5, >C5), motocicletas y bicicletas.

Se determinó el uso de estos datos ya que se pueden evaluar los objetivos de este proyecto con ellos; el sistema MEDET permite la integración, visualización e interacción con datos espacio-temporales para que los usuarios pueden explorarlos, identificando y ubicando los factores importantes, es decir, que el experto pueda ver el comportamiento de los puntos críticos de la ciudad (relación entre el volumen de vehículos y la capacidad de la intersección) a partir de la segmentación por periodos de tiempo (año, mes, día y hora), permitiendo el análisis, comparación y visualización de la información, probando si el modelo de exploración permite realizar de forma fácil las consultas que necesita realizar el experto y si su implementación con la herramienta de visualización e interacción MEDET apoya la planeación del tránsito y transporte de Bogotá, generando un ambiente colaborativo entre los expertos al realizar sus tareas de análisis.

Para el desarrollo de las pruebas se contó con la participación de veinte (20) individuos entre desarrolladores y expertos que trabajan en el campo de la planeación urbana. Antes del experimento a los participantes se les explicó el funcionamiento de la herramienta a partir del concepto del modelo de consultas y exploración de datos. Seguidamente de la explicación, se realizó una tarea práctica con el fin de familiarizarse con la tarea y la interfaz, el ejercicio se centraba en encontrar los puntos críticos con mayor congestión vehicular durante todo el año 2010. Esta tarea de análisis se desarrolló entre el participante y el exponente del sistema MEDET y se llegó al resultado en un (1) minuto.

Luego se realizó la primera prueba en donde cada participante se sentaba frente a un computador con las interfaces de consulta y respuestas en una misma pantalla y se le pedía que encontrara las horas y los meses pico del año 2012 en que había mayor congestión a la salida norte de Bogotá. Seguidamente en parejas, dos participantes se sentaban frente al computador y realizaban otra tarea de análisis la cual consistió en encontrar los lugares en donde transitara la mayor cantidad de motos y bicicletas en el primer semestre del 2012.

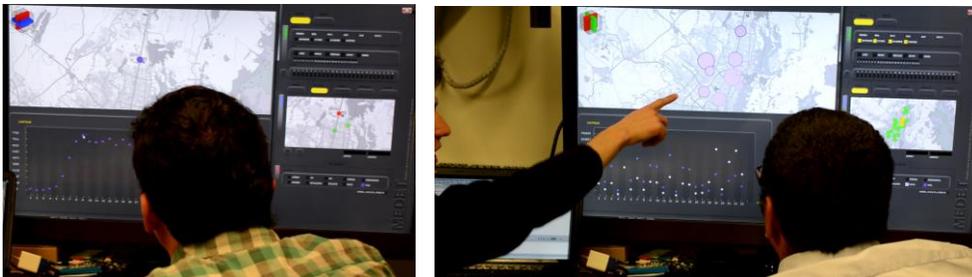


Fig 45. Prueba del sistema MEDET frente a un computador.

La segunda prueba consistía en tener a los mismos dos participantes de la primera prueba pero utilizando otros dispositivos para que actuaran frente a la visualización en el "Large Display". El primer dispositivo de interacción es una Tablet donde uno de los dos usuarios era el que tenía este dispositivo y el que se encargaba de realizar las consultas, pero en el momento en que los resultados se desplegaban en el "Large Display", ambos usuarios podían interactuar por medio de dos pointer láser con el cual podían seleccionar y señalar los elementos importantes para su análisis.

En esta prueba se realizó el mismo procedimiento que en la primera, es decir, el expositor del sistema MEDET explicaba el uso de cada dispositivo de interacción mientras desarrollaba una tarea de análisis, la cual consistía en encontrar los lugares con mayor tráfico en el 2012, el resultado se obtuvo en un tiempo de dos (2) minutos y medio. Seguidamente se les puso como tarea de análisis a los usuarios el determinar los tres tipos de vehículos que tienden a ser más usados en las horas pico al sur de Bogotá en la época navideña del año 2010.



Fig 46. Prueba del sistema MEDET frente al "Large Display".

9 RESULTADOS

Como resultado de las pruebas que se realizaron con las veinte (20) personas, se generó una tabla técnica con el perfil de los usuarios y la evidencia de los resultados; por un lado tenemos como usuarios de pruebas a los Ingenieros de Sistemas que se enfocaron en la funcionalidad de la plataforma y cognición de los widgets de control y la forma de cómo se presentaba las visualizaciones de respuesta a los usuarios, así mismo se enfocaron en la validación de los componentes de interacción. Por el otro lado estaban los Ingenieros Civiles los cuales se enfocaron en los resultados que se generaban al realizar las consultas y realizaban la validación de los datos y de sus respuestas para corroborar que el sistema estuviera arrojando datos correctos.

Los resultados por tipo de perfil fueron:

 20 personas	
<p>18 ingenieros de sistemas (área de computación gráfica) 22 – 34 años</p> <p>Funcionalidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> No se presenta Delay entre la consulta y la respuesta de ésta. El tiempo de respuesta en la vista de details on demand de la consulta espacial es de 5 segundos, lo cual genero inconformidad por parte de los usuarios. <p>Cognición:</p> <ul style="list-style-type: none"> Todos los usuarios veían el reflejo y la coherencia del modelo en la implementación de la herramienta. Los usuarios entendían como funcionaba cada elemento de control. <p>Visualización:</p> <ul style="list-style-type: none"> El botón de cambiar de la exploración de datos a la consulta de datos no era evidente. Mayor retroalimentación en la aplicación servidor frente a cada botón que se oprime en el cliente. El scatterplot y el diagrama de barras son diagramas muy limitados para visualizar los resultados de las consultas. 	<p>2 ingenieros civiles (área de movilidad y transporte de Bogotá) 26 y 27 años</p> <p>Fiabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> Corroboraron el modelo con otras tareas de análisis, es decir, evidenciaron que a partir de las preguntas de sólo 2 componentes podían obtener cualquier resultados que ellos buscaran. Validación de los datos y su georreferenciación. Validación de las respuestas de los scatterplots y diagrama de barras. <p>Pruebas de estrés:</p> <ul style="list-style-type: none"> Desarrollaban continuas tareas de análisis. Evaluaron el funcionamiento de la producción de consultas a partir de consultas anteriores.
<p>Prueba1:</p> <ul style="list-style-type: none"> El 100% lograron realizar y completar las tareas de análisis. El 20% NO identificaron los lugares o el tiempo correcto como resultado de la tarea de análisis. Tiempo: 2 minutos y medio. 	<p>Prueba1:</p> <ul style="list-style-type: none"> El 100% lograron realizar y completar las tareas de análisis. El 100% SI identificaron los lugares o el tiempo correcto como resultado de la tarea de análisis. Tiempo: 2 minutos.
<p>Prueba2:</p> <ul style="list-style-type: none"> El 95% lograron realizar y completar las tareas de análisis. El 35% NO identificaron los lugares o el tiempo correcto como resultado de la tarea de análisis. Tiempo: 6 minutos 	<p>Prueba2:</p> <ul style="list-style-type: none"> El 50% lograron realizar y completar las tareas de análisis. SI identificaron los lugares o el tiempo correcto como resultado de la tarea de análisis. Tiempo: 9 minutos
<p>El uso de la tablet generó una mayor distracción para el usuario al tener que observar dos pantallas simultáneamente.</p> <p>La herramienta de visualización es clara para leer los datos y es fácil para realizar las consultas siguiendo el modelo planteado.</p> <p>El 80% de los usuarios prefirieron utilizar el laser a la tablet frente al large display, ya les permitía seleccionar los datos de interés apuntándoles a éstos, sin embargo presento inconvenientes en la precisión para seleccionar un elemento específico.</p> <p>El 85% de los usuarios prefirieron utilizar el sistema MEDET con el pc, en ves que en el Large Display.</p>	

Fig 47. Perfil de usuario y sus resultados.

10 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El diseño de una visualización permitió expresividad visual, ya que las interfaces de consultas, de resultados y controles fueron intuitivos y fáciles de utilizar. Así mismo la interfaz apoyó la expresión de las consultas complejas y detalladas.

El sistema es versátil y liviano, por tanto necesita de poca infraestructura, bajo presupuesto, bajo tiempo de montaje y desarrollo. Así mismo las aplicaciones clientes y servidor no mezclan la interfaz con lógica de negocio, corroborando la independencia y su fácil integración de los componentes de visualización e interacción en sistemas de manejadores de datos.

La extensión al modelo de consultas existentes permitió ver una vista general de los datos en todas sus granularidades, sin tener que entrar a explorarlos, permitiéndole al experto una introducción de los datos que posee para realizar su análisis.

Se implementó el modelo a un caso de estudio, el cual era la movilidad y transporte de Bogotá, donde la herramienta permitió evidenciar con datos espacio temporales el desarrollo de tareas de análisis con expertos en una de las áreas de sistemas urbanos, en donde ellos podían explorar y analizar los datos entorno a la planeación urbana.

Se realizaron propuestas preliminares para interacciones grupales, ya que las pruebas realizadas fueron una primera aproximación para generar un trabajo colaborativo, ya que el Large Display permite que los usuarios pueden dialogar en torno a la visualización y se realizó una evaluación previa de 2 dispositivos de interacción, lo cual da pie para generar un estudio posterior enfocado a dispositivos de interacción pertinentes para visualizar información de sistemas urbanos frente a un "Large Display".

Como trabajo se propone aumentar las funcionalidades gráficas para la representación de los resultados a parte del diagrama de barras y el scatterplot. Así mismo la idea es generar un historial en donde se puede evidenciar todas las decisiones de consulta y sus respectivas respuestas para que el usuario pueda realizar nuevas consultas a partir de las consultas realizadas por otro experto.

11 REFERENCIAS

Bibliografía:

- [1] Norman, “User centered system design, new perspective on human-computer interaction”, *L. Erlbaum Associates Inc. Hillsdal*, p. 526, 2002.
- [2] Ben Fry, “Visualizing Data Exploring and Explaining Data with the Processing Environment” *O'Reilly Media*, Dic 2007.
- [3] C. Card, Mackinlay, Shneiderman, “Information Visualization: Using Vision to Think (Interactive Technologies)”, *Courrier Corporation*, p. 128. Feb 1999.
- [4] James J. Thomas and Kristin A. Cook, “Illuminating the Path: The Research and Development Agenda for Visual Analytics”, *National Visualization and analytics center*, 2005.
- [5] Hanrahan P, “Selecting a visual analytics application”, *guide for selecting a visual data analysis*, 2009.
- [6] Golub, Evan, Shneiderman, Ben, “Dynamic Query Visualizations on World Wide Web Clients: A DHTML Solution for Maps and Scattergrams,” *International Journal of Web Engineering and Technology*. 2002.
- [7] Hans-Jörg Schulz, “Interactive Exploration of Multi-granularity Spatial and Temporal Datacubes: Providing Computer-Assisted Geovisualization Support”, *ACM New York, NY, USA*, Sep. 2013.
- [8] Andrienko & Andrienko, “CommonGIS visual analytics toolkit”, *ERCIM News No.41* - April 2000.
- [9] Daniel Keim , Jörn Kohlhammer , Geoffrey Ellis, “Mastering the Information Age Solving Problems with Visual Analytics”, *Eurographics Association*. 2010.
- [10] Hans-Jörg Schulz, “A Visualization Approach for Cross-level Exploration of Spatiotemporal Data”, *ACM Press*. 2013.
- [11] Nivan Ferreira, “Visual Exploration of Big Spatio-Temporal Urban Data: A Study of New York City Taxi Trips”, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. Dic 2013.
- [12] Alberto Debiasi, “Visual Analytics Tool For Urban Traffic Simulation”, *Proceedings of the 6th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques*, p. 51-56. Dic 2013.
- [13] G. Andrienko, “Spatio-temporal Aggregation for Visual Analysis of Movements”, *VAST '08. IEEE Symposium on*, p. 51-58. Oct 2013.
- [14] J. Ibarra, “TaCAT: Task-Centered Analysis Tools in Urban Planning”. 2010.
- [15] Sara Johansson, “GeoAnalytics Visual Inquiry and Filtering Tools in Parallel Coordinates Plots”, *Proceedings of the 15th annual ACM international symposium on Advances in geographic information systems*. Nov 2007.

- [16] G. Andrienko, "Space, time and visual analytics", *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 14, Jul 2010.
- [17] G. Andrienko, "Exploratory spatio-temporal visualization: an analytical review", *Journal of Visual Languages & Computing*. Dic 2003.
- [18] Manuel Córdova Zamora, "Estadística Descriptiva", Dic 2014.
- [19] D. Peuquet, "It's about time: Framework for the representation of temporal dynamics in geographic information systems", *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 84, No. 3, Sep. 1994.
- [20] J. Bertin, "Graphics and Graphic Information Processing", *Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco, CA, USA*, p.62-65. 1999.
- [21] Daniel Keim , Jörn Kohlhammer , Geoffrey Ellis, "Mastering the Information Age Solving Problems with Visual Analytics", *Eurographics Association*. 2010.
- [22] G. Andrienko, "Interactive maps for visual data exploration", *International Journal of Geographical Information Science*, vol.13, 1999.
- [23] G. Andrienko, "Interactive Visual Tools to Explore Spatio-Temporal Variation", *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*, p. 417-420, May 2004.
- [24] R. Edsall, D. Peuquet, "A graphical user interface for the integration of time into GIS", *Proceedings of the American Congress of Surveying and Mapping Annual Convention and Exhibition, Seattle, WA, 1997*, pp. 182–189, 1997.
- [25] G. Andrienko, "Visual analytics of movement: An overview of methods, tools and procedures", *Information Visualization*, 12(1), pp. 3-24. 2013.
- [26] Max Kaiser, "EuropeanaConnect," *eContentplus programme, a multiannual Community program to make digital content in Europe more accessible*, pp. 65, 2011.
- [27] M. Dork, S. Carpendale, "VisGets: Coordinated Visualizations for Web-based Information Exploration and Discovery," *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, vol. 14, no.6, Oct 2008.
- [28] Evan Golub, Ben Shneiderman, "Dynamic Query Visualizations on World Wide Web Clients: A DHTML Solution for Maps and Scattergrams," *International Journal of Web Engineering and Technology*, vol. 1, Dic 2003.
- [29] Stefano Burigat, "Visualizing the Results of Interactive Queries for Geographic Data on Mobile Devices," *Proceedings of the 13th annual ACM international workshop on Geographic information systems*, Abr 2005.
- [30] Myoungsu Cho, "Dynamic Query Interface for Spatial Proximity Query with Degree-of-Interest Varied by Distance to Query Point," *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p693-702. Abr 2010.

- [31] Maceachren , G. Cai , R. Sharma, “Enabling collaborative geo informayion access and decisión-making through a natural,” *International Journal of Geographical Information Science* 19(3): 293-317. 2005.
- [32] G. Andrienko, “Interactive maps for visual data exploration”, *International Journal of Geographical Information Science*, vol.13, 1999.
- [33] Jeffrey Heer, “Interactive Dynamics for Visual Analysis”, *Communications of the ACM*, Feb 2012.
- [34] Hernández José Tiberio, “UCIV 4 Planning: A User-Centered Approach for the Design of Interactive Visualizations to Support Urban and Regional Planning”, *conference IADIS CGVCVIP 2013*, Jul 2012.
- [35] Nivan Ferreira, “Visual Exploration of Big Spatio-Temporal Urban Data: A Study of New York City Taxi Trips”, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. Dic 2013.
- [36] Jonas Sjöbergh, “Storygraph Extracting patterns from spatio-temporal data”, *paper conference VISSOFT 2013*. Jul 2013.
- [37] B. Yost, “The perceptual scalability of visualization”, *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, Vol12, p.837-844. Sep 2006.
- [38] Theresa Marie Rhyne, “Visualizing Geospatial Data”, *ACM SIGGRAPH 2004*, p.132. 2004.
- [39] S. Brennan, “Toward a multi-analyst, collaborative framework for visual analytics”, *Visual Analytics Science And Technology, 2006 IEEE Symposium On*, p.129-136. Oct 2006.

Figuras e imágenes:

- Fig 1. Metodología para la visualización de información espacio – temporal, Visualizing Data:_Ben Fry, 2008.
- Fig 2. Visual data exploration, Illuminating the Path: The Research and Development Agenda for Visual Analytics. James J. Thomas and Kristin A. Cook, 2005.
- Fig 3. Aplicación DHTML, Dynamic Query Visualizations on World Wide Web Clients: A DHTML Solution for Maps and Scattergrams
- Fig. 4 Interfaz SOLAP, Interactive Exploration of Multi-granularity Spatial and Temporal Datacubes: Providing Computer-Assisted Geovisualization Support
- Fig 5. Interfaz CommonGIS, CommonGIS visual analytics toolkit. Andrienko & Andrienko
- Fig 6. Representación del consume de energía. Mastering the Information Age Solving Problems with Visual Analytics
- Fig 7. Interfaz Cross Level. A Visualization Approach for Cross-level Exploration of Spatiotemporal Data
- Fig 8. Interfaz New York City Taxi Trips. Visual Exploration of Big Spatio-Temporal Urban Data: A Study of New York City Taxi Trips, Nivan Ferreira, Juliana Freire, and Cláudio T. Silva. 2013
- Fig 9. Visual analytics y simulación del tráfico. Visual Analytics Tool For Urban Traffic Simulation. Alberto Debiasi
- Fig 10. Interfaz del recorrido de vehículos. Spatio-temporal Aggregation for Visual Analysis of Movements
- Fig 11. A. Koussoulakou, M.J. Kraak, Spatio-temporal maps and cartographic communication, The Cartographic Journal 29 (1992) 101–108.
- Fig 12. Cubo temporal
- Fig 13. Space, time and visual analytics Space, Gennady Andrienko*, Natalia Andrienko, 2010
- Fig 14. Cubo espacial
- Fig 15. Cubo atributos
- Fig 16. Modelo de consultas, D. Peuquet. It's about time: A conceptual framework for the representation of temporal dynamics in geographic information systems. 1994.
- Fig 17. Niveles de la información. J. Bertin. Graphics and Graphic Information Processing. Walter de Gruyter, 1981. page 12.
- Fig 18. Estructura de una interfaz de analítica visual (Interactive maps for visual data exploration)
- Fig 19. Imágenes de control de tiempo
- Fig 20. Widget temporal del sistema VisGets
- Fig 21. “Linea de tiempo” del sistema EuropeanaConnect
- Fig 22. Tipos de controles dependientes de sus variables
- Fig 23. Widget “TrapezoidBox”
- Fig 24. Interactive maps for visual data exploration
- Fig 25. <http://cesiumjs.org/demos/d3.html>
- Fig 26. Interactive Visual Tools to Explore Spatio-Temporal Variation
- Fig 27. Interactive Dynamics for Visual Analysis
- Fig 28. Storygraph Extracting patterns from spatio-temporal data
- Fig 29. Relación de las tareas y metas del usuario con la visualización interactiva
- Fig 30. Técnicas de interacción en visualizaciones (Interactive maps for visual data exploration)
- Fig 31. Herramienta de conexión de elementos “Brushing & linking” (VisGets: Coordinated Visualizations for Web-based Information Exploration and Discovery)
- Fig 32. Tecnicas de interacción para ambientes de Large Display(3D user interfaces, theory and practice)
- Fig 33. Modelo Exploratorio MEDET
- Fig 34. Modos exploratorios
- Fig 35. Grafo del sistema MEDET
- Fig 36. Historial de consultas
- Fig 37. Estructura Cliente – Servidor
- Fig 38. Vectores de información.
- Fig 39. GUI MEDET.
- Fig 40. MEDET INTERACTION.
- Fig 41. Consulta Espacial.
- Fig 42. Consulta Temporal.
- Fig 43. Consulta de atributos.

Fig 44. Prueba del sistema MEDET frente a un computador.
Fig 45. Prueba del sistema MEDET frente al "Large Display".
Fig 46. Perfil de usuario y sus resultados.