

Scatter Plot 3D: SPG

Maximiliano J. Escudero

M. Luján Ganuza

Dyanna Wilberger

Sergio R. Martig

Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación

VyGLab

Laboratorio de Investigación en Visualización y Computación Gráfica

Universidad Nacional del Sur

Avenida Alem 1253

Argentina, CP 8000, Bahía Blanca, Buenos Aires

{mje, mlg, srm}@cs.uns.edu.ar

Resumen

Debido a los grandes volúmenes de información generados en diversos ámbitos y en forma continua, resulta indispensable desarrollar técnicas para facilitar la tarea de quien debe utilizar dicha información. De la necesidad de estudiar y obtener técnicas efectivas para comunicar información a través de imágenes nace la Visualización. Una herramienta ampliamente utilizada para estudiar las relaciones entre los diferentes atributos de los items presentes en un conjunto de datos es el Scatter Plot. Un Scatter Plot 2D consiste en una representación gráfica utilizada en estadística para mostrar y comparar conjuntos de datos. Resulta útil diseñar una técnica de Scatter Plot 3D capaz de representar una mayor cantidad de atributos por item de dato haciendo, por un lado, uso de la tercera dimensión para mapear un valor al tercer eje y enfatizando la explotación de las propiedades gráficas del elemento de representación utilizado. Se propone entonces el uso de Glifos como elemento de representación en un Scatter Plot 3D, aumentando potencialmente la dimensionalidad del mapeo visual.

Keywords: Visualización de información, Scatter Plot, Glifos

1. INTRODUCCIÓN

Si bien el objetivo básico detrás del concepto de Visualización es la obtención de representaciones visuales interactivas con el propósito de la adquisición y el uso del conocimiento; según la naturaleza y características de la información a visualizar podemos hablar de tres tipos de visualización: Visualización Científica, Visualización de Software y Visualización de Información. La herramienta Scatter Plot 3D SPG presentada en este artículo encuadra en el último tipo de visualización, brindando la posibilidad de explorar relaciones entre los distintos items de datos.

2. SCATTER PLOT 3D: SPG

Entre las técnicas más populares de visualización se encuentra el Scatter Plot 2D, que grafica datos multidimensionales mapeando dos dimensiones a las coordenadas del plano XY, y mapeando otras dimensiones a los atributos gráficos de los elementos visuales que representan las tuplas de datos como color, tamaño, intensidad o forma [6]. Los Scatter Plots 3D corresponden a una extensión

conceptualmente simple de los Scatter Plot 2D [1] [7]. Esta técnica permite representar visualmente a tres o más atributos de los ítems de datos. Si bien el mapeo espacial es perceptualmente dominante, es decir las relaciones existentes entre los atributos mapeados a las coordenadas espaciales se perciben con mayor claridad, se pueden representar atributos adicionales enriqueciendo el mapeo visual. Eventualmente se podrían agregar más coordenadas al modelo, llevándolo al espacio n-dimensional. Los Scatter Plots 3D se utilizan principalmente cuando resulta imposible disponer los datos a mostrar sobre una grilla rectangular de dos dimensiones, en cuyo caso un Scatter Plot 2D resultaría insuficiente. En versiones más complejas, pueden incluir atributos específicos para los elementos de representación según el dato representado (color, tamaño, orientación, forma, etc.), guías y combinaciones de datos scatter con objetos adicionales como superficies de ajuste.

En la figura 1 se puede observar un Scatter Plot en tres dimensiones que hace uso del tamaño variable de las esferas para mapear un atributo adicional.

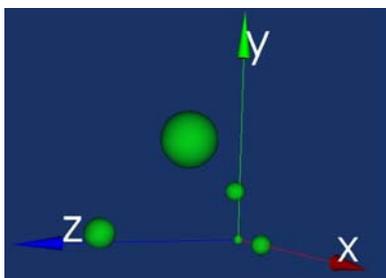


Figura 1: Visualización generada con el Scatter Plot 3D donde el elemento de representación es una esfera.

2.1. CARACTERÍSTICAS

Los Scatter Plots 3D presentan ciertas ventajas y limitaciones respecto a los modelos en 2D. A continuación se detallan algunas de ellas.

2.1.1. Ventajas

- En un Scatter Plot 3D mantener la misma densidad de puntos que en un Scatter Plot 2D implica aumentar el número de datos experimentales a mostrar (mayor espacio muestral). Si se mantiene el número de puntos del scatter plot inicial (2D), existe mayor descripción de las relaciones existentes entre variables, dado que se incorpora una característica más de los datos. En la figura 2 se puede observar el mismo conjunto de datos representado por un Scatter Plot en dos dimensiones y por uno en tres dimensiones. Es claro que en el segundo los datos se muestran más espaciados, esto depende, por supuesto, de cómo sean mapeados los atributos.
- Permite incrementar el número de atributos que se pueden visualizar simultáneamente. Agrega la tercera dimensión lo cuál ya agrega una dimensión al mapeo visual, la coordenada Z, y permite mapear otros atributos a características extras como, por ejemplo, el tamaño del objeto.
- El uso de Scatter Plots 3D con glifos para representar los datos brinda la posibilidad de utilizar técnicas de generación procedural de formas [5]. Estas técnicas permiten aumentar el número de dimensiones de los datos a mostrar explotando la forma de los glifos, aprovechado así la habilidad pre-atentiva del sistema visual humano para discriminar formas.

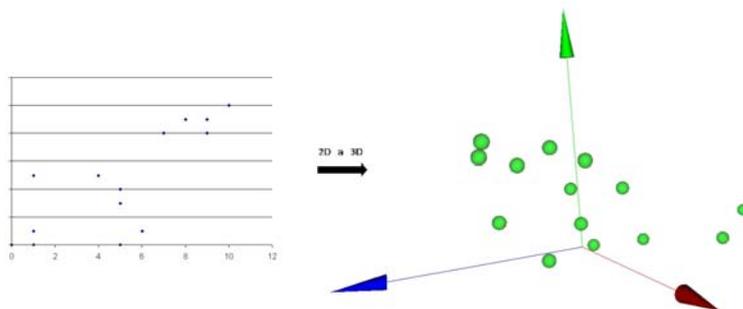


Figura 2: Representación de un conjunto de datos en 2D y en 3D

- Si se logra un mapeo de atributos eficiente, y se proveen las interacciones necesarias para la navegación y consulta, el poder expresivo de un Scatter Plot 3D puede asistir en el análisis de relaciones complejas entre múltiples variables.

2.1.2. Limitaciones

- A medida que aumenta la dimensionalidad se incrementa de forma exponencial el número de datos experimentales necesarios para poder estimar de manera exacta una función de aproximación. En la mayoría de los casos, la información que se pierde por considerar alguna característica extra de los datos, mapeada en la tercera dimensión, se compensa por un mapeo más exacto en un espacio de menor dimensión. En otras palabras, no es recomendable abusar de la multidimensionalidad si no es absolutamente necesario y el resultado no es visualmente ilustrativo.
- Trasladar representaciones de información en 2-dimensiones a 3-dimensiones no es una tarea simple, ya que la dimensión extra afecta enormemente el modo en que la información puede ser presentada. Es importante considerar que la visualización debe realizar un uso eficiente de la nueva dimensión. Además, se debe evitar que la nueva representación sea mal interpretada por el usuario como consecuencia de un mapeo inapropiado.
- Es necesario tener especial consideración respecto de la percepción de la distancia espacial. El tamaño de los objetos puede provocar que el usuario no perciba la perspectiva correcta de la información mostrada; es decir, se dificulta la discriminación entre las distintas profundidades de los objetos.
- Una desventaja proveniente del uso de objetos tridimensionales es la oclusión, que se da cuando un objeto tapa a otro ocultándolo en el espacio muestral. Este tipo de problema se presenta principalmente cuando la densidad de items de datos a mostrar es grande, o cuando simplemente un objeto muy grande se posiciona por delante de objetos más pequeños. Este tipo de efecto no es exclusivo del espacio 3D sino que está presente también en entornos 2D.
- Si las múltiples dimensiones mostradas en un volumen 3D pueden ser separadas en 2 o más dimensiones 1D o 2D de información ortogonal no existe beneficio alguno en el uso de una visión 3D. Esto es, los atributos de información son independientes unos de otros; lo que conlleva a que el usuario no descubra ninguna nueva relación a partir de una visión integrada.

2.2. Glifos como elementos de representación.

En base a todo lo expuesto hasta aquí, se ha diseñado e implementado un Scatter Plot 3D basado en glifos, al que llamaremos “SPG”.

Los glifos consisten en objetos gráficos en 3 dimensiones que representan uno o más valores en una única locación del espacio. Son formas o imágenes generadas por mapeo de los componentes de la tupla de datos a sus atributos gráficos. Un único glifo puede utilizarse para representar muchas propiedades o atributos de los datos en un punto dado del espacio, de forma tal que resultan ser herramientas muy útiles a la hora de interpretar una gran cantidad de información a primera vista.

Existen muchos tipos de glifos, generados a partir de distintas figuras geométricas. El SPG se basa en un glifo formado por una esfera semi-transparente en su centro y una cantidad variable de picos sobre la superficie de esa esfera. Además se debe tener en cuenta que la altura de dichos picos puede variar como así también su color. Este glifo se puede observar en la figura 3.

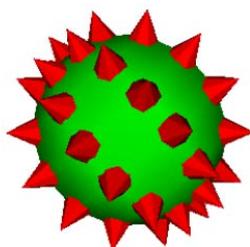


Figura 3: glifo SPG

2.3. Implementación del SPG

El scatter plot “SPG” es una aplicación que toma un conjunto de datos de entrada que pueden residir en un archivo o ser creados proceduralmente y genera una visualización en 3D basada en glifos [Figura 4], donde por aca tupla se genera un glifo y se posiciona en un determinado punto del espacio de mostrado.

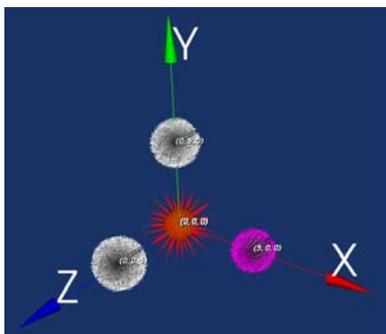


Figura 4: Visualización SPG

2.3.1. Librería VTK

Para implementar el Scatter Plot 3D con glifos se utilizó la librería VTK 5, la cual es una librería implementada y diseñada bajo los conceptos de la programación orientada a objetos. La misma

está compuesta por librerías de C++ y una capa interpretada que permite manipular las clases compiladas usando Java, Tcl y Python.

Una aplicación básica en VTK consiste en dos partes: la construcción del pipe para procesar los datos y la creación de los objetos gráficos para mostrarlos. Uno de los objetos básicos del modelo gráfico de VTK es el `vtkActor`, cuyas instancias representan objetos en la escena. En particular, `vtkActor` combina las propiedades del objeto (color, tipo de sombreados, etc.), la definición de la geometría y la orientación en el sistema de coordenadas del mundo.

Al implementar el SPG utilizando `vtkActor` para representar los distintos objetos involucrados en las escenas generadas, notamos una muy baja performance al intentar visualizar conjuntos de datos grandes (de más de 100 nodos), es por esto que se optó por la utilización de la clase `vtkLODActor`, que se comporta de manera similar a `vtkActor` con la única diferencia de que genera objetos a mucha menor resolución, lo que induce a visualizaciones menos atractivas visualmente pero mucho más manipulables a la hora de aplicar interacciones que involucren la exploración de la escena.

2.3.2. Mapeo de Atributos Gráficos

En una primera instancia, el SPG permite mapear atributos de los items de dato a 6 atributos gráficos del glifo, con posibilidad de extender el mapeo a 8 atributos si se agregan las interacciones necesarias.

Los 6 atributos gráficos básicos son los siguientes:

- Posición del glifo (coordenadas x, y, z): Se pueden mapear atributos escalares a las coordenadas x, y, z de la escena, definiendo la posición del glifo.
- Radio de la Esfera: Se puede mapear un atributo al radio de la esfera, definiendo su tamaño. La aplicación SPG se encarga de normalizar los datos mapeados a este atributo gráfico, de forma tal que todas las esferas quedarán con un tamaño de entre 1 y 50.
- Color de los Conos: Se puede mapear un atributo al color de los conos. A nivel del prototipo se restringe la cantidad de colores posibles a una cantidad finita, impactando la cardinalidad del conjunto de datos a mapear a este atributo sobre la calidad de mapeo visual.
- Cantidad de Conos: Por último, se puede mapear un atributo a la cantidad de los Conos del glifo. Estos datos también serán normalizados por la aplicación (procurando que no se intenten generar más datos de los que soporte la misma, ya que si la cantidad de conos es muy grande la performance de la visualización se degrada demasiado). Estableciéndose entonces una cantidad máxima de conos (50) y una cantidad mínima (1) para asegurar que el glifo mantenga su forma.

Los primeros tres atributos dan la posición del glifo en las coordenadas de la escena. La aplicación SPG brinda también la posibilidad de visualizar esta posición en forma numérica mediante etiquetas que se posicionan por delante del glifo, como se observa en la figura 4. Eventualmente, estas etiquetas se podrían utilizar para mapear más datos, pero debe tenerse sumo cuidado de no sobrecargar demasiado la vista, es por eso que en el SPG inicial no se da uso a esa facilidad.

La visualización muestra como referencia los ejes XYZ a partir de los cuales se posicionan los glifos. La longitud de estos ejes es variable, y se adapta al conjunto de datos mostrado. Es decir, si el conjunto de datos mostrado tiene todos los glifos posicionados cerca del origen, entonces la longitud de los ejes será pequeña; en cambio si los glifos se encuentran esparcidos se calcula la posición del más lejano al origen y en base a eso se determina la longitud apropiada de los ejes.

Como se mencionó al inicio de esta sección, es posible mapear dos atributos adicionales a los glifos, aumentando la cantidad de datos mapeados a atributos gráficos de 6 a 8. Esto es posible sólo

si se agregan las interacciones adecuadas sobre la visualización, que permitan revelar detalles que de otra forma no serían claramente perceptibles por el usuario.

Los posibles atributos a mapear serían:

- Longitud de los conos: Se puede utilizar la altura de los conos de los glifos para mapear un dato adicional.
- Color de las Esferas: Se podría mapear un atributo al color de las esferas, con las mismas restricciones que para el color de los conos.

Estos dos atributos gráficos no se encuentran dentro de los atributos gráficos básicos porque su mapeo introduce graves problemas. Al mapear un dato a la altura de los conos se obtiene una escena con glifos de altura variables, lo que provoca cierta dificultad a la hora de percibir el tamaño real de las esferas. En consecuencia se lograría mapear un dato más pero se perdería detalle sobre otro atributo. Es por esto que en caso que se desee hacer uso de este atributo gráfico es necesario incorporar la interacción “**Mostrar/Ocultar Conos**”. De esta manera se podría distinguir entre las distintas longitudes de los conos cuando estos estén visibles, y ocultarlos para detectar los distintos tamaños de las esferas.

En la figura 5 se puede observar el efecto de esta interacción. En la figura de la derecha se muestra una visualización generada con el SPG en la cual la variabilidad de la longitud de los conos dificulta apreciar el tamaño de las esferas, que es el mismo para todos los glifos. Propiedad que si se observa en la figura de la izquierda.

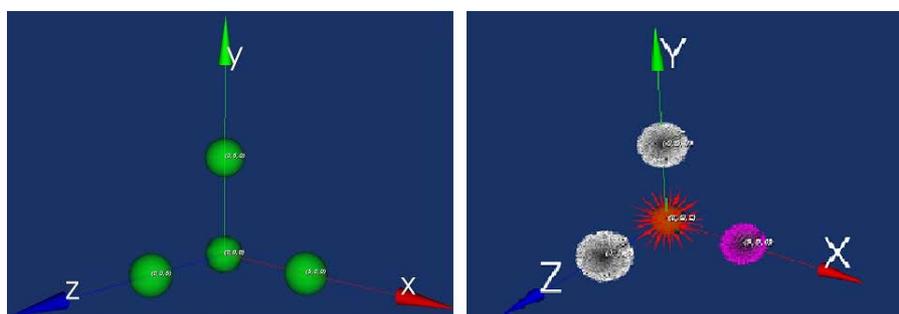


Figura 5: Visualización generada con el SPG con los conos ocultos (izquierda) y con los conos visibles (derecha).

Algo similar ocurre con el Color de las Esferas. Es claro que el usuario es incapaz de distinguir el color de las mismas si éstas se encuentran tapadas por los conos. Aquí también surge la necesidad de la interacción “**Mostrar/Ocultar Conos**”, que permitirá hacer visible las esferas limpias distinguiendo así el color que se les ha asociado.

2.3.3. Interacciones

Además de la explicada en la sección anterior, el SPG brinda otras interacciones al usuario para lograr una exploración de los datos más amigable. A continuación se explican cinco posibles interacciones:

- **Mostrar/Ocultar Conos:** Consiste simplemente en hacer visibles u ocultar los conos de los glifos, dejando visibles (en caso de ocultarlos) sólo las esferas. La necesidad de contar con esta interacción fue explicada en la sección anterior.

- **Mostrar/Ocultar Etiquetas:** Se mencionó anteriormente que la aplicación SPG muestra mediante etiquetas la posición de cada uno de los glifos. Esta información puede provocar molestias cuando la cantidad de datos a mostrar es muy grande, los glifos se encuentran muy cerca espacialmente, o se hace un zoom out de la vista, generando una visualización poblada de etiquetas que tapan el detalle de lo que en realidad se desea mostrar. Se desprende entonces la necesidad de contar con una interacción que permita ocultar estas etiquetas, y hacerlas visibles cuando el usuario así lo requiera. En la figura 6 se puede observar el efecto de aplicar esta interacción a una visualización generada por el SPG sobre un conjunto de datos de 80 nodos. Es claro que la imagen de la izquierda (donde las etiquetas están ocultas) resulta mucho más ilustrativa que la de la derecha.

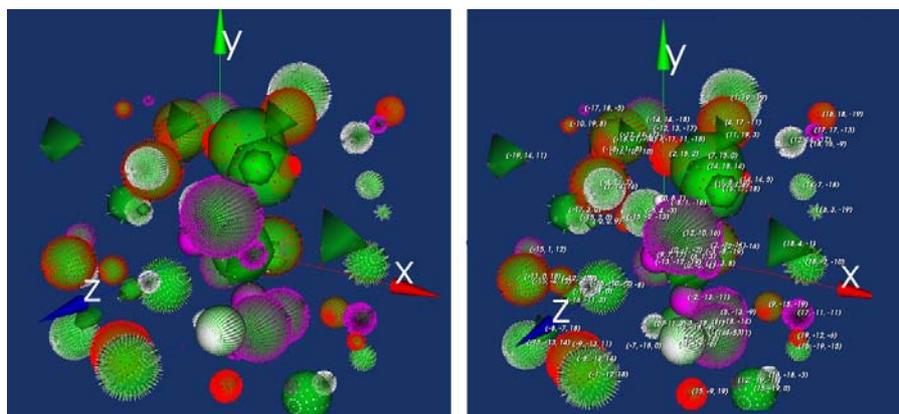


Figura 6: Visualización generada con el SPG con etiquetas ocultas (izquierda) y con los etiquetas visibles (derecha).

- **Etiqueta Bajo Demanda:** Como alternativa a la interacción anterior el usuario puede solicitar ver una etiqueta correspondiente a un único nodo. Esta interacción se puede observar en la figura 7.

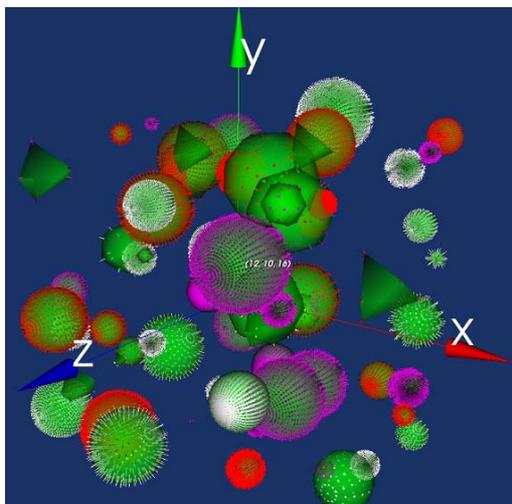


Figura 7: “Interacción Etiqueta bajo demanda”.

- **Agregar Identificadores:** Esta interacción permite al usuario asignar identificadores a los atributos gráficos, para facilitar otro tipo de interacciones. Por ejemplo interacciones de filtrado, donde el usuario deberá indicar sobre que atributo se desea efectuar el filtrado, y para esto necesita una forma de nombrarlos dependiente de lo que está mostrando. Por ejemplo, si se está visualizando una base de datos de un conjunto de asociados a una Obra Social, y el color de los conos representa el sexo de los asociados, entonces el usuario podría mediante esta interacción registrar esta relación en la vista.
- **Zoom Semántico:** Esta es una interacción un poco más compleja que las anteriores, mediante la cual se brinda detalle bajo demanda. Estos datos no formarán parte de los glifos, sino que se presentarán en algún formato alternativo. Por ejemplo: al hacer click sobre un glifo se abrirá una ventana que muestre las propiedades del item de dato asociado a ese glifo que no han sido mapeadas a atributos gráficos.
- **Explotar Glifos:** Es posible agrupar visualmente varios datos que presenten cierta similitud en un único glifo, el usuario podrá en ese caso seleccionar ese glifo y mediante esta interacción “explotarlo” para ver los datos agrupados en el mismo.

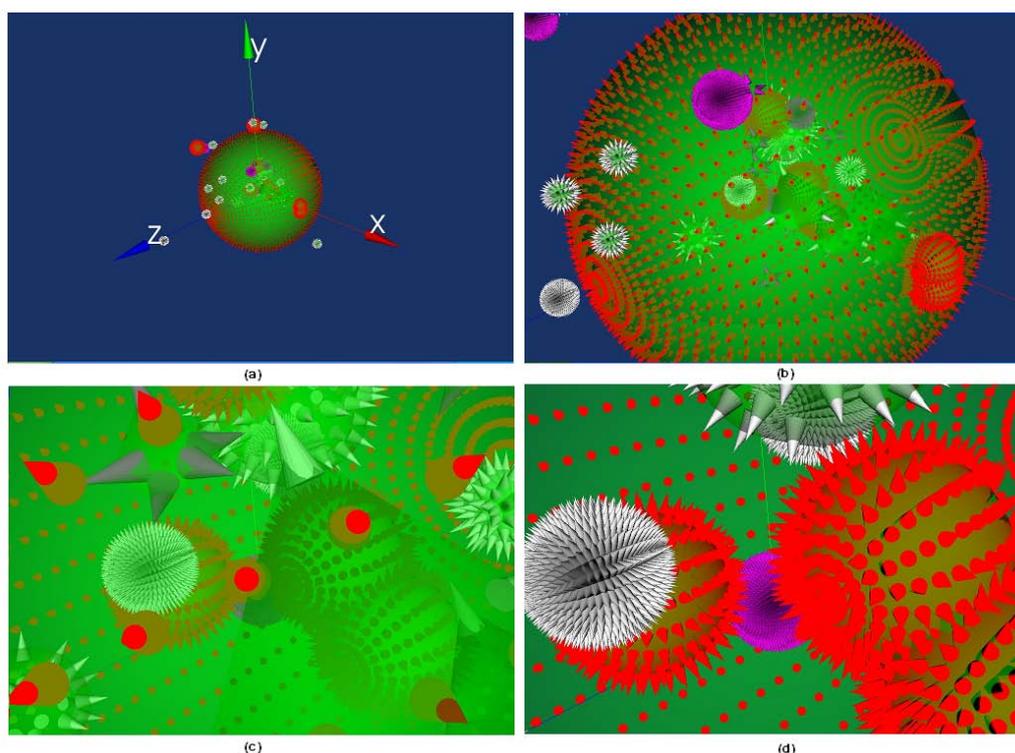


Figura 8: Secuencia de imágenes que ilustran la interacción “Explotar un Glifo”.

2.3.4. El Problema de la Oclusión

Durante el desarrollo e implementación de la aplicación SPG se detectó un problema importante, que se daba en caso que dos o mas items de datos fueran mapeados a glifos situados en locaciones espaciales muy cercanas. Esto daba lugar a visualizaciones donde algunos glifos quedaban ocultos detrás de otros, dado su inferior tamaño o su ubicación en la pantalla relativa al usuario. Se detectaron tres situaciones posibles:

- **Glifos Contenedores:** Son aquellos cuyas esferas son tan grandes que contienen en su interior otros glifos más pequeños.
- **Glifos Obstruyentes:** Son aquellos que se ubican por delante de otros, tapando parcialmente o totalmente los glifos situados por detrás.
- **Glifos Coincidentes:** Son aquellos cuyas coordenadas espaciales y radio de la esfera coinciden, de forma tal que resulta imposible identificar la existencia de más de un glifo en un mismo punto.

El problema que surgió a partir de la presencia de los Glifos Contenedores y de los Glifos Obstruyentes se solucionó permitiendo cierto grado de transparencia sobre la superficie de las esferas, brindando al usuario la posibilidad de discriminar que hay más allá de la superficie de las esferas que se encuentran más adelante (desde el punto de vista del usuario). La figura 8 ilustra esta característica mostrando una secuencia de 4 imágenes correspondientes a una visualización generada en SPG a partir de un conjunto de datos de 40 nodos. En la figura 8 (a) se muestra un glifo compuesto por un conjunto de otros glifos. En la figura (b) se ilustra un instante en el cual el usuario se acerca al glifo, en la figura (c) se está atravesando la superficie del glifo contenedor, y finalmente en la última imagen se puede observar el detalle de los datos contenidos por el mismo.

El problema de los Glifos Coincidentes aún no ha sido resuelto. Una posible solución consiste en hacer uso de las facilidades provistas por las etiquetas, agregando una etiqueta especial (solo visible sobre glifos coincidentes) que indique la cantidad de glifos situados sobre el mismo punto. Los datos correspondientes a los glifos situados en ese punto serían representados por un único glifo cuyas características estén gobernadas por un promedio de los valores asociados a cada uno de atributos gráficos de los Glifos Coincidentes individuales.

3. CASO DE ESTUDIO: BD DE INGRESANTES A LA UNS

Debido a que, con grandes volúmenes de información resulta demasiado complejo hacer inferencias sobre qué es lo que está ocurriendo con los datos, nuestro objetivo en este caso de estudio es descubrir los patrones presentes en el espacio de información subyacente de manera rápida y sencilla.

Para analizar el comportamiento del Scatter Plot SPG se han efectuado diferentes ensayos sobre una muestra de datos correspondientes a ingresantes a la UNS. Dichos datos están vinculados a la información de los alumnos que ingresan a la universidad en diferentes años a los cuales se les toma un examen de carácter nivelatorio de acuerdo a la carrera.

Cada ítem del conjunto de datos corresponde a un alumno, y esta compuesto por los siguientes atributos:

- Edad del Alumno.
- Sexo del Alumno.
- Número de Libreta del Alumno.
- Año de inscripción a la UNS.
- Nota obtenida en el examen nivelatorio correspondiente.

Atributo del Dato	Atributo Gráfico
Edad	Tamaño de la Esfera
Sexo	Color de la Esfera
Número de Libreta	Etiqueta
Año de Inscripción	Coordenada X
Nota Obtenida	Coordenada Y

(a) Mapeo 1

Atributo del Dato	Atributo Gráfico
Edad	Coordenada Y
Sexo	Coordenada Y
Número de Libreta	Etiqueta
Año de Inscripción	Tamaño de la Esfera
Nota Obtenida	Color de la Esfera

(b) Mapeo 2

Figura 9: Cuadros de Mapeos.

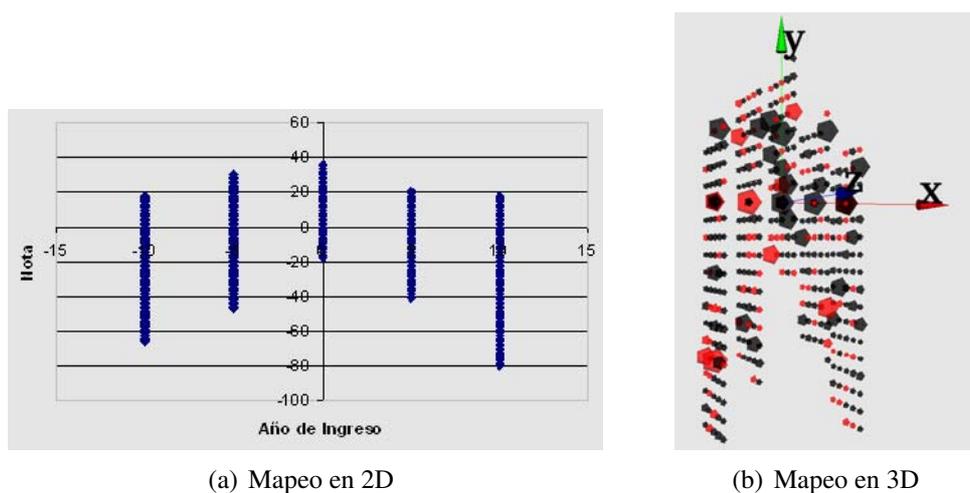


Figura 10: Comparación entre Visualizaciones generadas en 2D y 3D.

A la hora de representar un ítem de dato mediante atributos gráficos una visualización en dos dimensiones resultaría insuficiente, ya que solo permitiría mapear como máximo tres datos a atributos gráficos, de donde se desprende la necesidad de expandir la herramienta a tres dimensiones.

Con estos datos, se efectuaron diferentes mapeos a atributos gráficos con el fin de observar y comparar los resultados obtenidos, dichos mapeos se detallan en la figura 9.

Mapeo 1 El primer mapeo muestra los alumnos en 5 planos paralelos, cada uno representando un año de ingreso diferente. La ubicación de cada Glifo depende de la nota obtenida por el alumno representado. Si el Glifo se encuentra ubicado en una posición con valor de coordenada y mayor que cero corresponde a un alumno aprobado, si se encuentra ubicado en una posición con valor de coordenada y menor que cero corresponde a un alumno desaprobado, y en caso contrario (valor de coordenada y igual a cero) se trata de un alumno ausente. En la figura 11(a) se detalla la visualización obtenida mediante este mapeo.

Es claro que a primera vista esta visualización permite observar la diferencia entre la cantidad de alumnos aprobados y desaprobados por año, como así también permite la comparación entre años. Por ejemplo, de la figura 10(b) se puede inferir que en el año 2005 los alumnos presentaron un mejor desempeño que en los restantes años ya que por única vez la cantidad de alumnos aprobados es mayor a la de desaprobados.

A pesar de que este mapeo genera una visualización aceptable para el reconocimiento de patrones sobre el conjunto de datos, presenta también ciertas desventajas, como por ejemplo, que la posición de los alumnos dependa de la nota induce que el ángulo de visión influya sobre el entendimiento de la capacidad de visualizar correctamente los alumnos aprobados y desaprobados

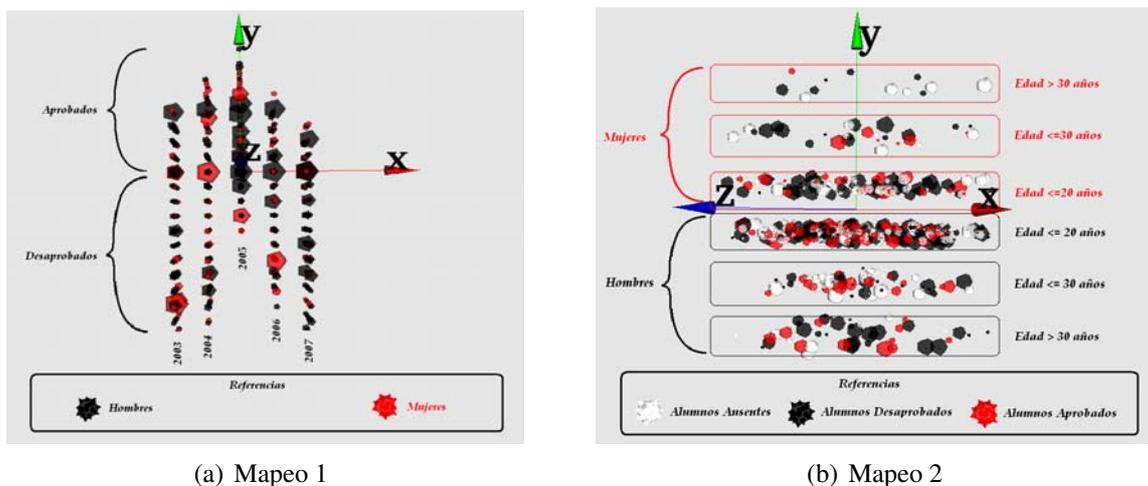


Figura 11: Visualización generada con el SPG para caso de estudio con referencias.

de cada año.

Para recalcar los beneficios de la tercera dimensión en la figura 10(a) se muestra este mapeo proyectado en dos dimensiones. Observar que a pesar que es posible visualizar la cantidad de aprobados y desaprobados por año, como así también efectuar una comparación entre los distintos años; no es posible representar los demás atributos de cada ítem de dato. Como la edad, el sexo, el número de libreta, etc.

Mapeo 2 El segundo mapeo con el cual se experimentó se detalla en la figura 11(b). Según esta distribución los ítems de datos se disponen en regiones paralelas al plano xz , donde cada región representa un rango edades de los alumnos. Además, todos los glifos ubicados en posiciones con valor de coordenada y mayor que cero representan mujeres, y los ubicados en posiciones con y menor que cero representan hombres. El tamaño de la esfera denota el año de ingreso y el color la nota obtenida. En la figura 9(b) se detalla la visualización obtenida mediante este mapeo.

Como la posición del glifo no depende de la nota obtenida el ángulo de visión no influye sobre la vista de alumnos aprobados y desaprobados, pero sí influye al comparar o recalcar la edad de los mismos.

Esta visualización permite fácilmente efectuar comparaciones entre el sexo de los alumnos y la edad, aunque dificulta apreciar la nota obtenida.

De estos dos mapeos se deduce claramente que la forma en que se elija mapear los datos sobre atributos gráficos influye directamente sobre el insight del usuario sobre la visualización resultante.

4. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado una aplicación de Visualización que implementa la técnica Scatter Plot en tres dimensiones explotando la capacidad de representación de los Glifos.

La aplicación SPG permite una amplia flexibilidad respecto al conjunto de datos a representar, ya que permite el mapeo potencial de 8 datos a atributos gráficos. Adicionalmente provee interacciones que facilitan la exploración, consulta y navegación sobre el conjunto de datos, generando visualizaciones ilustrativas que permiten al usuario lograr insight sobre los patrones que presentan esos datos.

El uso potencial del SPG se extiende a todas las áreas de visualización presentadas en el capítulo uno, siempre y cuando los datos a mapear se ajusten a las restricciones establecidas en el capítulo tres.

5. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue parcialmente financiado por PGI 24/ZN12, Secretaría General de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

REFERENCIAS

- [1] B. G. Becker. Volume rendering for relational data. pages 87–91.
- [2] Benjamin B. Bederson and Ben Shneiderman. *The Craft of Information Visualization: Readings and Reflections*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2003.
- [3] Stuart K. Card, Jock D. Mackinlay, and Ben Shneiderman, editors. *Readings in information visualization: using vision to think*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 1999.
- [4] J. M. Chambers, W. S. Cleveland, B. Kleiner, and P. A. Tukey. *Graphical Methods for Data Analysis*. Wadsworth Internat. Group, 1983.
- [5] D. S. Ebert, R. M. Rohrer, C. D. Shaw, P. Panda, J. M. Kukla, and D. A. Roberts. Procedural shape generation for multi-dimensional data visualization. *Computers & Graphics*, 24:375–384, 2000.
- [6] J. Fekete and C. Plaisant. Interactive information visualization of a million items proceedings of ieeee symposium on information visualization, 2002.
- [7] R. Kosara, G. Sahling, and H. Hauser. Linking scientific and information visualization with interactive 3d scatterplots, 2004.
- [8] Sergio Martig, Silvia Castro, Pablo Fillotrani, and Elsa Estévez. Un modelo unificado de visualización. In *Proceedings 9º Congreso Argentino de Ciencias de la Computación.*, pages 881–892, 2003.
- [9] P. Rheingans and C. Landreth. Perceptual principles for effective visualizations, 1995.
- [10] Bernice E. Rogowitz, Lloyd A. Treinish, and Steve Bryson. How not to lie with visualization. *Comput. Phys.*, 10(3):268–273, 1996.
- [11] Ware, Colin. *Information Visualization: Perception for Design*. Morgan Kaufmann Publishers, 2000.