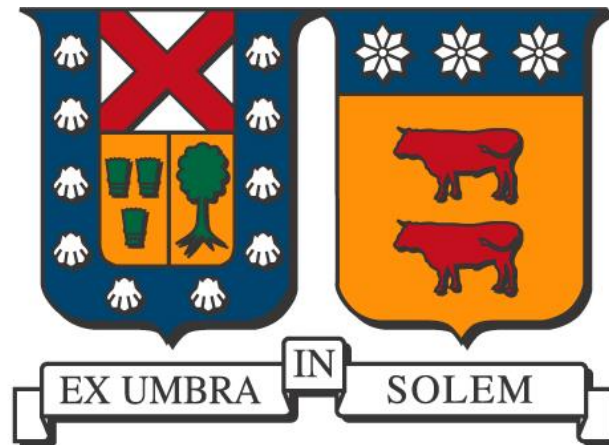


**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**

**DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA**

**VALPARAÍSO - CHILE**



**“ANÁLISIS DE MANIPULACIÓN DE  
OBJETOS EN AMBIENTES  
VIRTUALES 3D”**

**PATRICIO IGNACIO LAZCANO MUÑOZ**

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL INFORMÁTICO**

**PROFESOR GUÍA: SR. HUBERT HOFFMANN N.  
PROFESOR CORREFERENTE: SR. SVEN VON BRAND L.**

**ENERO – 2017**

## Resumen

En la actualidad la representación de los objetos de gráficos tridimensionales son creados con ayuda de software especializado, los cuales necesitan un conjunto de operaciones para ser manipulados en tiempo real, tales como mover, rotar, escalar, etc. Estas operaciones son realizadas actualmente en programas especiales con varios dispositivos, pero el usuario común no dispone de los conocimientos y/o instrumentos adecuados, de manera que resulta confuso ejecutarlas. Por tal razón, el objetivo que este estudio busca, usando los dispositivos que posee un usuario común (como mouse y teclado), es poder realizar las distintas acciones de manipulación 3D y determinar cuáles son más amigables e intuitivas para el usuario. Por esta razón se genera una aplicación ejecutable, donde se hacen pruebas de manipulación, para luego contestar una encuesta asociada y poder analizar los resultados.

## Abstract

Nowadays the representation of the three dimensional graphics objects are created with the help of specialized software, which need a set of operations to be manipulated in real time, such as move, rotate, scale, etc. These operations are made today in special programs with several devices, but the common user doesn't have the appropriate knowledge and/or instruments, so it ends up being confusing to execute them. Therefore, the goal of this investigation, using the devices that can be attained by a common user (such as a mouse or a keyboard), it's to be able to perform different actions of 3D manipulation and to determine which ones are the most friendly and intuitive for the user. Because of this an executable application is generated, where manipulation tests are made, then an associated survey can be answered and the results can be analyzed.

# Índice

1. Introducción .....	4
2. Definición del Problema .....	5
3. Objetivos.....	6
3.1 Objetivo General .....	6
3.2 Objetivos Específicos .....	6
4. Estado del Arte .....	7
5. Organización.....	12
6. Desarrollo de Sistema Manipulación 3D .....	14
6.1 Rotación .....	16
6.2 Movimiento.....	17
6.3 Escalamiento.....	18
6.4 Cambio de Color .....	20
6.5 Cambio de Figura.....	21
6.6 Menú Avanzado .....	23
7. Encuesta de Manipulación.....	27
7.1 Primera sección de encuesta .....	27
7.2 Segunda sección de encuesta .....	33
7.3 Tercera sección de encuesta .....	36
7.4 Cuarta sección de encuesta.....	40
7.5 Quinta sección de encuesta .....	43
8. Conclusiones .....	44
9. Referencias/Bibliografía.....	48
9.1 Referencias .....	48
9.2 Bibliografías .....	49
10. Anexos .....	50
10.1 Anexo 1.....	50

## 1. Introducción

En este estudio se aborda la realización de un conjunto de operaciones necesarias para la manipulación de objetos en ambientes virtuales 3D, mediante la creación de un programa manejado por los dispositivos de mouse y teclado, junto a un instrumento de medición (encuesta) para analizar su facilidad de uso.

En la actualidad estas acciones se administran con sistemas de diseño asistidos por computador o "computer aided design" (CAD), donde se maneja un rango de herramientas computacionales que proveen ayuda a distintos profesionales como ingenieros, arquitectos, diseñadores, entre otros.

Estas herramientas se pueden dividir en programas de dibujo 2D basadas en un plano de coordenadas XY (ancho, altura) con entidades geométricas vectoriales como puntos, líneas, arcos y polígonos, que se pueden operar a través de una interfaz gráfica. Además está el modelado 3D basado en un espacio tridimensional de coordenadas XYZ (ancho, altura, profundidad) donde se añaden superficies y sólidos. Estas últimas entidades 3D se pueden mover, girar y ver de distintos ángulos, así como ser escaladas más grandes o más pequeñas, entre otros métodos, permitiendo la iluminación en la etapa de procesamiento. Para realizar estas diferentes acciones el usuario necesita que las operaciones sean parecidas a la vida real, ósea que sean lo más intuitivas posibles, generando la ilusión de que el software entiende lo que el usuario quiere ver, ya que de esta manera se ahorra tiempo destinado a la capacitación y al entrenamiento del usuario. De tal forma que se abarca este tema creando un software, utilizando OpenGL (Open Graphics Library) que es una especificación estándar que define una API multilenguaje y multiplataforma para escribir aplicaciones que produzcan gráficos 2D y 3D [1], buscando así posibles formas intuitivas del manejo de manipulación de geometrías 3D.

## 2. Definición del Problema

Hay diversas formas de seleccionar objetos 3D al igual para la manipulación, pero muchos de estos métodos están más enfocados a trabajar otro tipo de dispositivos con más grados de libertad o degrees of freedom (DOF), que hacen referencia al número de movimientos independientes que se pueden realizar. Esto no es lo mismo que comparar las dimensiones en las que funciona un dispositivo, dado que una maquina puede operar en dos o tres dimensiones, pero podría tener más de tres grados de libertad. Por lo tanto, un grado de libertad es la capacidad de moverse a lo largo de un eje (movimiento lineal) o de rotar alrededor de un eje (movimiento rotacional). Por ejemplo un automóvil, que se considera como un cuerpo rígido viajando en un plano bidimensional, posee 3 grados de libertad, dos de posición (traslación) y uno de orientación (ángulo de rotación). El derrape del automóvil es un buen ejemplo para asociar los 3 grados de libertad que posee. Dado esto, para la manipulación de objetos 3D existen diversos dispositivos, como por ejemplo guantes con sensores, los cuales tienen un alto grado de libertad y permiten interactuar eficazmente con el objeto, pero el problema es que el usuario común no dispone de estos instrumentos y conocimientos previos para ejecutar las acciones, sino que ocupa un sistema de computador que actualmente poseen los dispositivos de entrada mouse y teclado, que poseen menor grados de libertad, pero al ser estos unos dispositivos de uso habitual actualmente, es lo que se necesita ocupar para lograr manipular los objetos de forma más sencilla e intuitiva.

## **3. Objetivos**

### **3.1 Objetivo General**

Mediante un software, realizar las diferentes acciones de manipulación de objetos 3D, tales como traslación, rotación, escalamiento, cambio de color y cambio de figura, usando los dispositivos de mouse y teclado, y efectuar un análisis para determinar las maneras en que éstas sean más amigables e intuitivas para el usuario común.

### **3.2 Objetivos Específicos**

- Creación de un software desarrollado en lenguaje de programación C++, que permita desarrollar efectivamente la manipulación de objetos en ambientes virtuales 3D, para poder analizar el comportamiento de estos al utilizar los dispositivos de mouse y teclado.
- Estudiar los tipos de manipulación antes indicados por separado y determinar las mejores prácticas para su operación, logrando que éstas tengan una facilidad de uso para el usuario.
- A través del desarrollo de un indicador de medición (encuesta), analizar los resultados y poder determinar cuáles son las formas más amigables e intuitivas para la manipulación de estos objetos en un usuario común, evaluando, además, que se cumplan los factores de efectividad, eficiencia y satisfacción de usabilidad del programa.

## 4. Estado del Arte

La manipulación de objetos en ambientes virtuales 3D es una forma de interacción que se produce generalmente entre un usuario y el sistema, del cual surgen diversas operaciones a ser aplicadas en los objetos, tales como mover, rotar, escalar, etc.

Este contexto surge en la computación gráfica, la cual es una rama de las ciencias de la computación que estudia un conjunto de técnicas que permiten la representación tridimensional de los objetos de la vida real en un ambiente virtual (aunque no solo de objetos tridimensionales, y no sólo de objetos de la vida real). En la actualidad, los gráficos por computador se emplean en una gran variedad de aplicaciones, tales como en interfaces gráficas de usuario, tipografía digital, paseos arquitectónicos virtuales, aplicaciones médicas y de ingeniería, juegos de vídeo, cine, entre otras.

La computación gráfica 3D trata acerca de la síntesis de una imagen bidimensional a partir de un modelo geométrico tridimensional. De acuerdo con la complejidad de los cálculos empleados en la generación de las imágenes, las técnicas se clasifican en prerendering y real-time rendering [2].

La gráfica necesita una representación la cual consiste en un conjunto de píxeles que se obtienen a partir de una idea de más alto nivel; como puede ser la descripción de la gráfica en términos de líneas, arcos, colores etc. o incluso en términos de objetos tridimensionales, puntos de vista e iluminación.

El cómo llegar de estas descripciones de alto nivel al conjunto de píxeles final es algo de lo que las diferentes partes del sistema se deberán encargar; por lo general el programador dispone de una serie de librerías de programación gráfica que le permiten escribir aplicaciones sin tener que llegar a conocer en detalle el hardware sobre el que se ejecutará su código, y sin tener que escribir desde el comienzo muchos procedimientos que, además, distan de ser triviales. Ejemplos de estas librerías son Direct3D de Microsoft y OpenGL de SGI [3]. Con esta última se trabajará para el desarrollo de la manipulación de objetos.

OpenGL, ofrece la independencia con respecto a la plataforma de hardware y el sistema operativo en que se trabaje, brindando una enorme portabilidad a sus productos, también permitiendo construir formas geométricas a partir de primitivas, ubicar los objetos en el espacio tridimensional y seleccionar el punto de vista de la escena, aplicar el color a los objetos a partir de las condiciones de iluminación o mediante la utilización de texturas, convertir la descripción matemática de los

objetos y la información sobre el color en píxeles de la pantalla, proceso que se llama rasterización.

A pesar de lo ya descrito, OpenGL resulta insuficiente para ciertas tareas como crear interfaces gráficas con un mayor grado de interactividad. Debido a esto se condujo al desarrollo de librerías AUX y GLUT (OpenGL Utility Toolkit). Estas dos permiten gestionar las ventanas, capturar eventos de teclado o mouse, y dibujar algunos objetos sencillos. La librería GLUT presenta un abanico de utilidades más amplio que la librería AUX, teniendo soporte para un mayor número de plataformas. Por lo tanto GLUT es la que más conviene, poseyendo rutinas para el dibujado de diversas primitivas geométricas (tanto sólidas como en modo wireframe) que incluyen cubos, esferas y tetraedros, teniendo una mayor funcionalidad para la manipulación interactiva de objetos 3D. También tiene soporte para la creación de menús emergentes.

La librería GLUT ofrece además las siguientes presentaciones [1]:

- Ventanas múltiples para render.
- Procesamiento de eventos de entrada iniciados por el usuario (callbacks).
- Variados dispositivos de entrada.
- Menús desplegados.
- Rutinas para generar objetos estándares.

Actualmente existen diversos programas computacionales para crear representaciones gráficas más conocidos como CAD (Computer Aided Design). Estos softwares son ampliamente utilizados para la animación computacional y efectos especiales en películas, publicidad y productos de diferentes industrias, donde el software realiza cálculos para determinar una forma y tamaño óptimo para una variedad de productos y aplicaciones de diseño industrial.

En diseño industrial y de productos, CAD es utilizado principalmente para la creación de modelos de superficies o sólidos en 3D, o bien, dibujos de componentes físicos basados en vectores en 2D. Sin embargo, CAD también se utiliza en los procesos de ingeniería desde el diseño conceptual y hasta el layout de productos, a través de fuerza y análisis dinámico de ensamblajes hasta la definición de métodos de manufactura. Esto le permite al ingeniero analizar interactiva y automáticamente las variantes de diseño, para encontrar el diseño óptimo para manufactura mientras se minimiza el uso de prototipos físicos [4].

Software CAD son:

- NX
- Solid Edge
- Autodesk Maya
- Softimage XSI
- Autodesk 3ds Max
- Blender

Estos programas mencionados anteriormente tienen el detalle de ser software para usuarios experimentados, lo cual se escapa de este análisis, pero ayudan a comprender que existen otros métodos para la interacción 3D.

Este estudio se centrará en el uso de OpenGL utilizando el lenguaje de programación C++. Entonces para poder utilizar las librerías OpenGL y GL Utility Toolkit (GLUT) es necesario incluir el archivo glut.h (`#include <GL/glut.h>`).

Tal como se muestra en la **Figura 1** dentro de la función main se encuentran las funciones necesarias para la visualización correcta del espacio de trabajo en pantalla. Estas funciones se describen brevemente a continuación [5]:

- **glutInit()** es la función que inicializa la librería GLUT y negocia con el sistema de ventanas la apertura de una nueva ventana.
- **glutInitDisplayMode()** define el modo en el que se debe dibujar la ventana.
- **glutInitWindowSize()** define el tamaño de la ventana en píxeles (anchura y altura).
- **glutInitWindowPosition()** define la distancia horizontal y vertical con respecto de la esquina superior izquierda del monitor donde la ventana deberá aparecer.
- **glutCreateWindow()** crea propiamente la ventana, y el string que se pasa como argumento, es utilizado como nombre de la nueva ventana.
- **glutDisplayFunc(display)** define que la función display que es pasada como argumento sea ejecutada cada vez que GLUT determine que la ventana debe ser dibujada (la primera vez que se muestra la ventana) o redibujada (cuando se maximiza, cuando se superponen varias ventanas, etc).

- **glutMainLoop()**, esta función se encarga de pasar el control del flujo del programa a GLUT, de manera que cada vez que ocurra un “evento” sean llamadas las funciones definidas como callbacks hasta que la ventana se cierre.

```
#include <GL/glut.h>

int main(int argc, char** argv){

    glutInit(&argc, argv);
    glutInitDisplayMode (GLUT_RGB | GLUT_DEPTH | GLUT_DOUBLE);
    //tamaño de la ventana
    glutInitWindowSize(ANCHO, ALTURA);
    //posicionamiento de la ventana
    glutInitWindowPosition(512, 512);
    glutCreateWindow ("NombreWindow");

    glutDisplayFunc(display);

    glutMainLoop();
    return 0;
}
```

**Figura 1: Código de ejemplo para uso de librería GLUT**

Luego de dibujar algo en la ventana, es necesario utilizar una función callback para poder utilizar los dispositivos de entrada del computador. En este caso para el teclado se ocupa la función **glutKeyboardFunc(keyboard)** donde habilita la manipulación del objeto al presionar alguna tecla, y para el mouse se utiliza la función **glutMouseFunc(mouse)**, para poder detectar el movimiento del mouse y los clics que ayuda de manera similar a la interacción del objeto.

Para poder realizar las manipulaciones como mover, rotar, cambio de tamaño, cambio de color, es necesario escribir funciones que vayan modificando los puntos en el espacio XYZ de la figura 3D en cada momento, con lo cual al realizar una operación se simula por pantalla que ésta ocurre con naturalidad, cuando realmente lo que ocurre es que se van actualizando las imágenes mostradas por pantalla redibujando los puntos y espacios de la figura.

Estos procesos se replicaran de tal forma que las opciones sean similares a lo mostrado en la **Figura 2**.

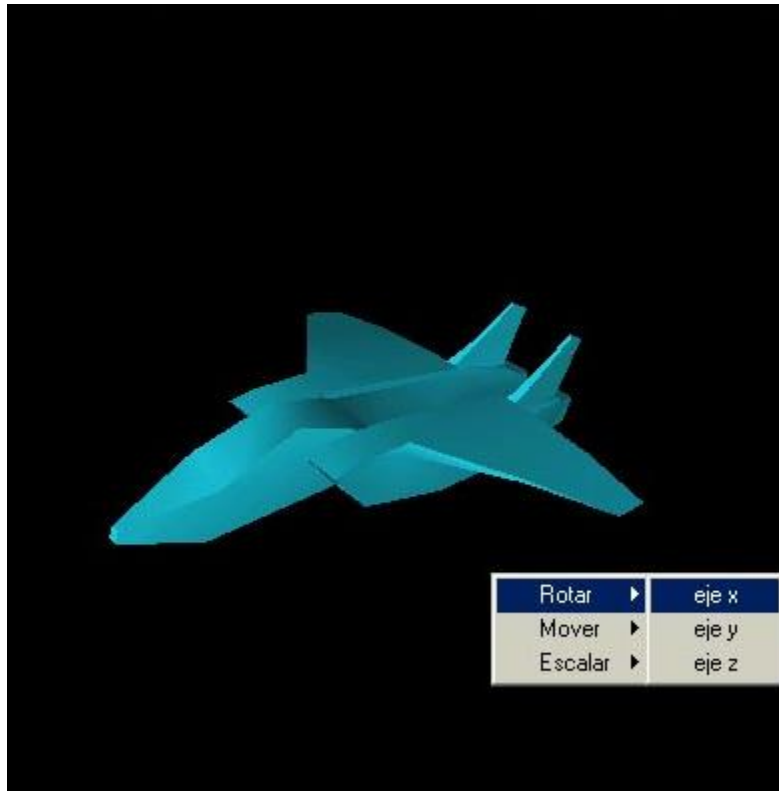


Figura 2: Ejemplo de Menú interactivo [fuente: <http://www.oocities.org/valcoey/mouse.html>]

## 5. Organización

Se tiene planificado realizar un programa ejecutable que se maneje a través de los dispositivos de entrada mouse y teclado, en el cual se puedan manipular distintos objetos 3D. Para esto se elegirá la forma de aparición de una figura 3D, que en este caso puede ser leyendo datos desde un archivo externo para la creación de la figura al inicio del programa, tales como tamaño, posición, tipo de figura, entre otros. O dejando como estándar una figura que por defecto aparezca al inicio del programa con tamaño, forma, posición y color ya definidos.

Después vienen los procesos de manipulación de objetos 3D, en donde se tendrá solo un tipo de figura a la vez en pantalla, entonces ésta estará seleccionada por defecto, dejando de lado el proceso de selección y poder concentrarse solo en la manipulación. Aquí se tiene pensado poder realizar las distintas acciones a través de opciones desplegables que se mostrarán al hacer clic derecho con el mouse en pantalla (tal como el ejemplo mostrado en la **Figura 2**).

De comienzo se hará la traslación, la cual consistirá en elegir un eje de coordenadas en el cual se quiere mover la figura, a través de la opción elegida con el menú del mouse, y luego desplazarla. También incluida la acción con botones del teclado. En este caso, si es posible, se mostrará un eje de coordenadas para una mejor visualización y comprensión de esta manipulación.

En rotación, tal como en la traslación, se podrá elegir un eje en el cual se desea rotar, para luego girar la figura con la acción del mouse y con botones del teclado.

Para poder escalar la figura se seleccionará a través del menú del mouse los ejes involucrados en los que se quiera aumentar o disminuir el tamaño, y aplicar la acción con mouse y botones del teclado.

Después de poder realizar las manipulaciones mencionadas anteriormente, se procederá a ver si es posible la manipulación que abarca el cambio de color en la figura, en donde se tienen pensada 3 opciones, que son primeramente desplegar por pantalla una paleta de colores que se seleccionará en las opciones del menú con el mouse, lo otro sería ingresar con el teclado el código del color que se desea cambiar, o la tercera opción es que se tengan por defecto en el menú del mouse algunos pocos colores primarios y secundarios que al seleccionarlos se cambie inmediatamente el color de la figura 3D. De forma similar con el teclado elegir una tecla para que al presionarla vaya cambiando en una lista de los colores del sistema o que estos estén asignados a varias teclas.

También se intentará aplicar la acción de cambiar la figura en tiempo real de ejecución, en donde esté la opción de seleccionar la figura que se quiera transformar mediante el menú desplegable con el mouse y realizar un método con el teclado parecido al cambio de color, asignando estas figuras a ciertas teclas específicas, de manera que al ser presionadas, la figura por pantalla cambie a la que esté asociada.

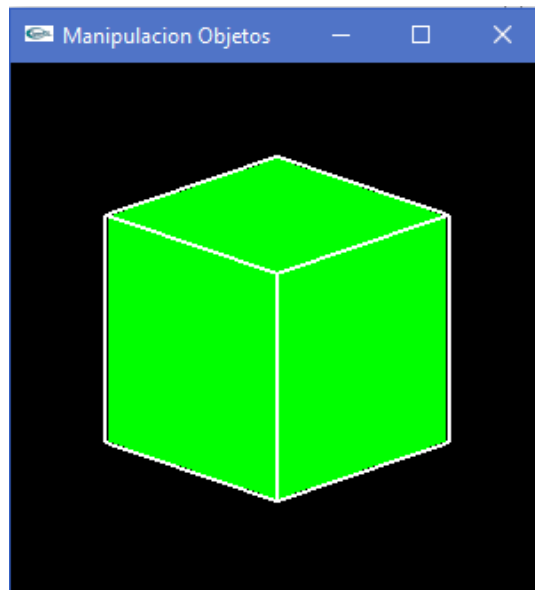
Para finalizar, se generara un instrumento de medición (encuesta) para que distintos tipos de usuarios prueben la aplicación y puedan responder sus experiencias clasificando las distintas manipulaciones relacionadas al programa.

Esta planificación está diseñada de tal forma que se pueda demostrar que se realizará un diseño amigable y un fácil uso para el usuario que utilice el programa.

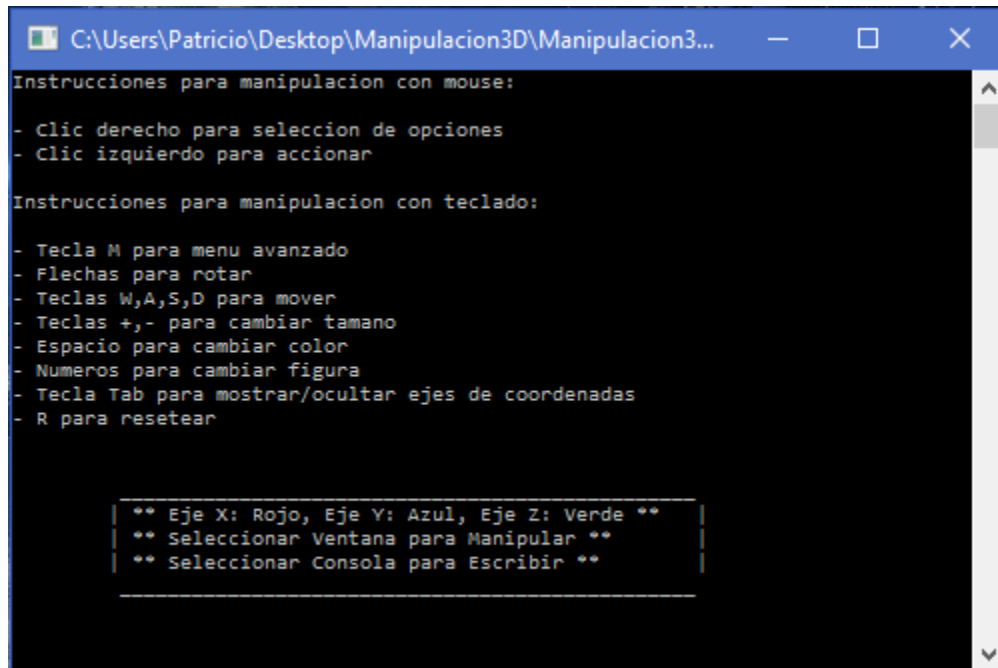
## 6. Desarrollo de Sistema Manipulación 3D

Para este estudio se trabaja principalmente la manipulación de objetos 3D con dos dispositivos, el mouse y teclado, ya que a pesar de estos tener menos grados de libertad (DOF), son los dispositivos de mayor uso y accesibilidad para los usuarios corrientes de computadores. De esta manera se aplica un mismo tipo de manipulación para los distintos dispositivos, pudiendo así analizar con cuál es más intuitivo para los usuarios.

El desarrollo comienza con la creación de un programa escrito en lenguaje C++, donde a partir de una ventana se aplica las distintas manipulaciones. Para facilitar la comprensión del usuario que ocupa el programa se muestra un cubo en la ventana principal junto con instrucciones de uso en la consola de comandos, tal y como se observa en la **Figura 3** y **Figura 4**.



**Figura 3: Ventana Principal de Manipulación**



```
C:\Users\Patricio\Desktop\Manipulacion3D\Manipulacion3...
Instrucciones para manipulacion con mouse:
- Clic derecho para seleccion de opciones
- Clic izquierdo para accionar

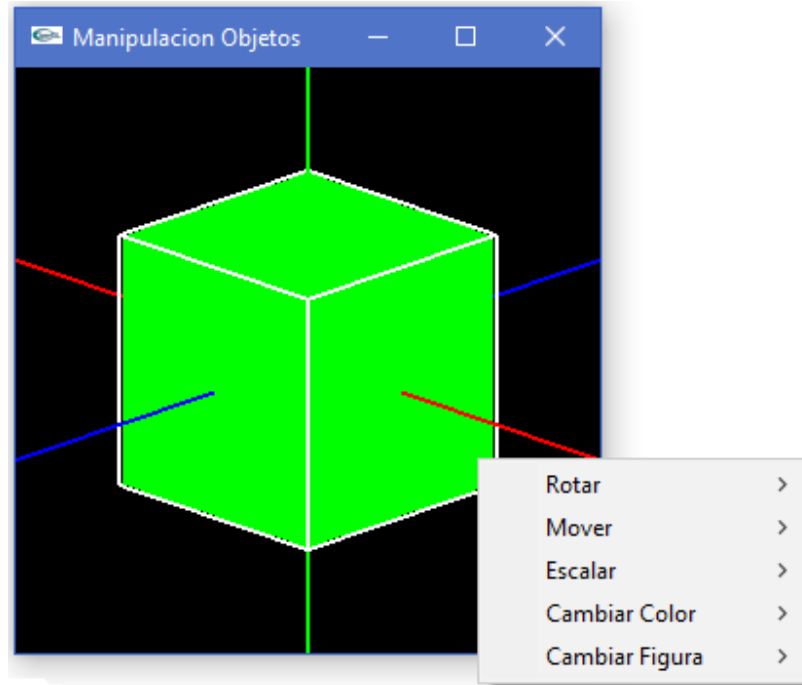
Instrucciones para manipulacion con teclado:
- Tecla M para menu avanzado
- Flechas para rotar
- Teclas W,A,S,D para mover
- Teclas +,- para cambiar tamaño
- Espacio para cambiar color
- Numeros para cambiar figura
- Tecla Tab para mostrar/ocultar ejes de coordenadas
- R para resetear

** Eje X: Rojo, Eje Y: Azul, Eje Z: Verde **
** Seleccionar Ventana para Manipular **
** Seleccionar Consola para Escribir **
```

**Figura 4: Instrucciones en Consola de Comandos**

Para la figura en 3D se pensó en aplicarle luz a ésta para que se notara el efecto de sombra y profundidad, lo cual estéticamente se ve bien, pero se llegó a el problema de que OpenGL no admite directamente tener distintos colores de un material con la luz activa, lo cual producía conflicto al querer incorporar ejes de coordenadas de diferentes colores. Esto al escaparse del objetivo principal se dejó de lado y en cambio para hacer más notorio que cada objeto conserve el aspecto 3D se dibujó mallas de color blanco por el contorno de cada figura, junto con 3 líneas perpendiculares de color verde, rojo y azul que atraviesan el objeto, simulando los distintos ejes de coordenadas XYZ, para que de esta forma ayude al usuario a tener una noción de donde y como está el objeto cuando se le aplique algún tipo de manipulación, pudiendo ocultarlo a decisión del usuario con la tecla “Tab” del teclado.

Luego del primer paso se procedió a generar un “Menú Desplegable” al hacer clic derecho con el mouse sobre la ventana de manipulación, en donde se muestran las distintas opciones de “Rotar”, “Mover”, “Escalar”, “Cambiar Color”, “Cambiar Figura”, como en la **Figura 5**.

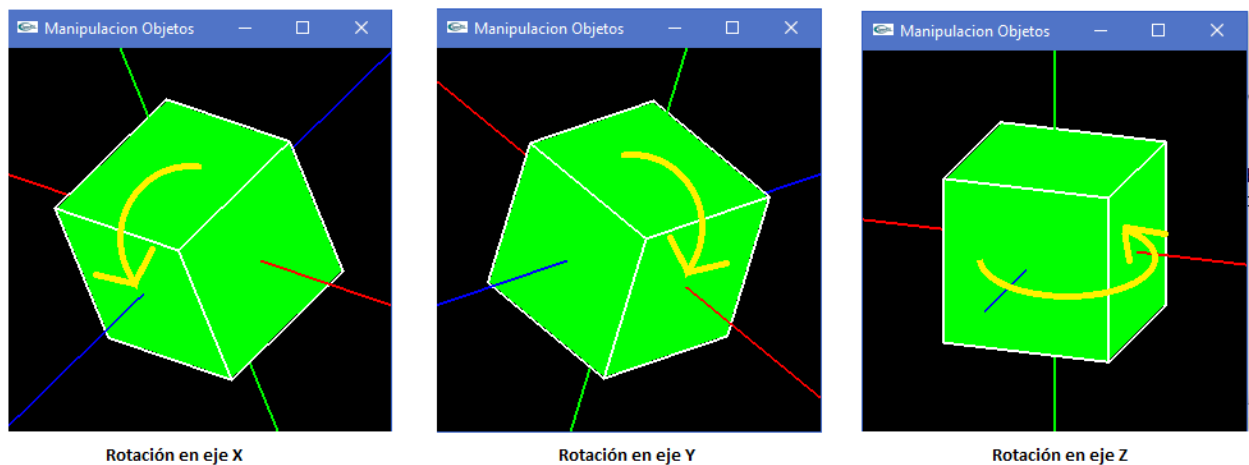


**Figura 5: Menú Desplegable de Manipulación**

## 6.1 Rotación

En la manipulación con el mouse orientada a "Rotar" se tiene las opciones de rotar en cada uno de los distintos ejes XYZ (Rojo: Eje X; Azul: Eje Y; Verde: Eje Z), manteniendo presionado el clic izquierdo en pantalla y desplazando éste hacia donde se quiera rotar el objeto. Tal proceso se muestra en la **Figura 6**.

Este método se realizó de esta manera debido a que simula como si se tomara el objeto con la mano y se quisiera girar hacia la dirección indicada, lo cual se asemeja a un ámbito cotidiano, que es lo que se intenta buscar en este estudio, para que el usuario sienta que la acción realizada es natural o intuitiva. Además este método es común entre los usuarios de computador en otros tipos de programas, lo cual ayuda a la persona a recordarlo con más facilidad.



**Figura 6: Rotación de objeto en sus distintos ejes**

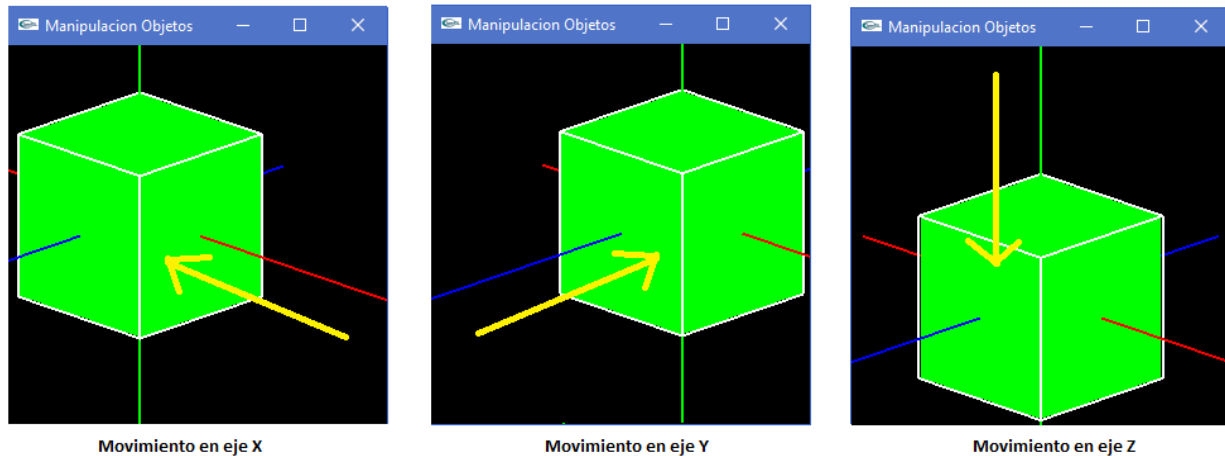
En el caso del teclado se cambió un poco la metodología empleada al rotar, dado que para realizar esta acción se presiona las teclas de las flechas (Arriba, Abajo, Izquierda, Derecha) y al ser solo 4 botones no se puede realizar todas las direcciones de rotación como lo es con el mouse. Entonces las rotaciones acá son de forma horizontal (con respecto al eje Z) y vertical (con respecto al plano XY). La razón de esta decisión fue para que el usuario se sienta familiarizado con el aspecto de las flechas en dirección hacia donde se quiera rotar el objeto.

Para una rotación con otros tipos de ángulos se creó el menú avanzado, el cual se abarcará en detalles más adelante.

## 6.2 Movimiento

La siguiente manipulación es “Mover” la figura, donde se le realiza una traslación leve al objeto dando la sensación que se mueve fluidamente. Al igual que el caso anterior se aplica la misma acción manteniendo apretada la tecla izquierda del mouse y desplazándolo en dirección a donde se quiera mover el objeto.

La **Figura 7** lo representa. También se agregó la opción de mover el objeto en los 3 distintos ejes a la vez para dar la notoriedad de una traslación más libre.



**Figura 7: Movimiento de objeto en sus distintos ejes**

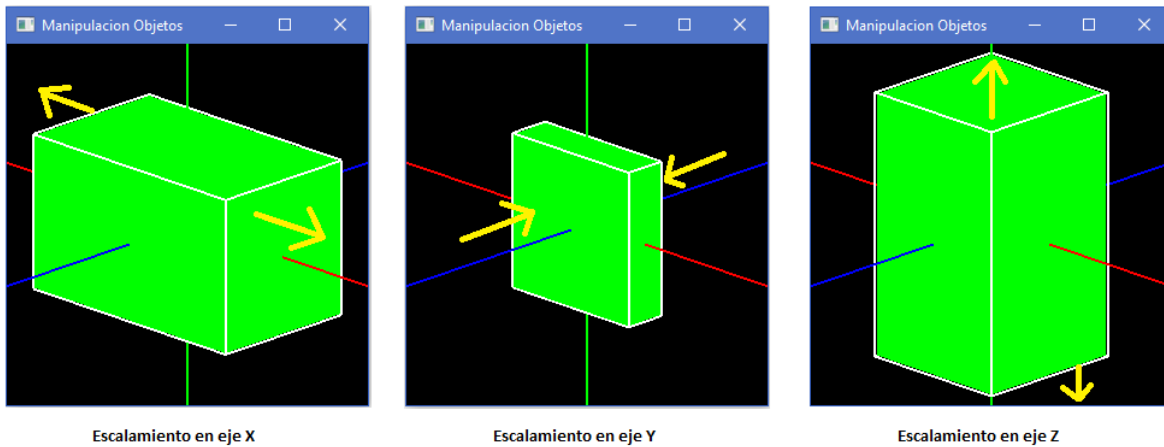
Para este caso el método también se pensó para que el usuario sintiera una similitud con el mundo real, de tal manera que se asemeja como si se tomara el objeto con la mano y se moviera en la dirección indicada dependiendo del eje seleccionado. Además de tener la cuarta opción de moverlo en todos los ejes a la vez para una mayor sensación de libertad.

Con el teclado se intentó buscar un método distinto al de las flechas, ya que éstas quedaron reservadas para la acción de rotación. Entonces se decidió por las teclas "W", "A", "S", "D", que se asemejan a las teclas de las flechas (siendo: "W", "S": arriba y abajo; "A", "D": izquierda y derecha). Siendo este método más interiorizado por los usuarios de videojuegos [6], estando como un estándar, y que en este caso ayuda a familiarizarse con la acción de mover el objeto. Aunque a diferencia de las opciones con el mouse, acá también se cambió la metodología empleada al mover, teniendo solamente movilidad en forma horizontal (en el plano XY), y vertical (en el eje Z). Para que de esta manera el usuario pueda ajustarse con naturalidad a la acción de mover.

### 6.3 Escalamiento

Se continuó con la manipulación de "Escalar" la figura, donde se realiza un ajuste de tamaño al objeto en sus distintos ejes XYZ. Siguiendo los pasos anteriores la acción se realiza manteniendo presionada la tecla izquierda del mouse y desplazando este hacia la dirección que se quiera escalar. En este caso al seleccionar un eje y luego aplicarle escalamiento, se produce que la figura se

“expande” o “contrae” por los dos extremos de ese eje, tal y como se muestra en la **Figura 8**.



**Figura 8: Escalamiento de objeto en sus distintos ejes**

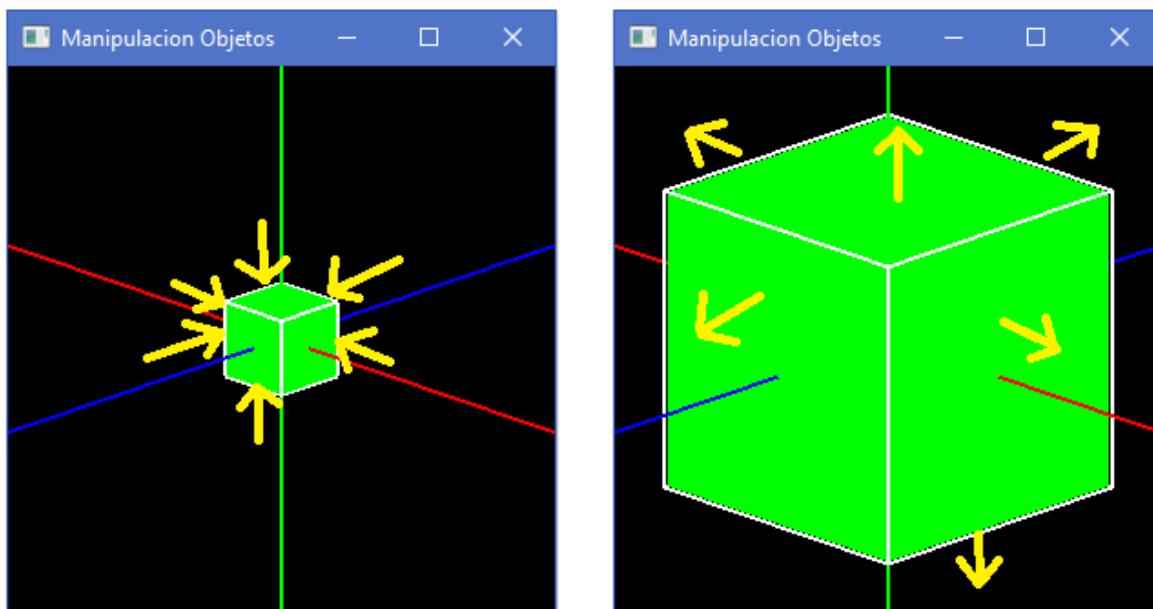
Aquí también se agregó una cuarta opción para escalar el objeto en todos los ejes a la vez, dando de esta forma la sensación de “agrandar” o “disminuir” el objeto, como en la **Figura 9**.

La razón de que al escalar se produzca un efecto por los dos extremos de un eje se debe a que de esta manera se ayuda al usuario a la comprensión de esta acción, ya que de lo contrario se hubiese tenido que agregar opciones extra, como por ejemplo escalar solo un lado positivo de un eje y luego uno negativo, lo cual podría saturar el proceso que se quiere lograr realmente.

Con el teclado, como indica las instrucciones de la **Figura 4**, solo se tienen dos teclas para realizar la manipulación de escalamiento, que son “+” y “-”. Las cuales solo escalan el objeto en todos los ejes a la vez, teniendo que con “+” se da la sensación de “agrandar” la figura, y con “-” lo contrario, ósea “disminuir”.

Se utilizaron estas teclas para que el usuario asociara el “mas” (+) con el aumento de tamaño, y el “menos” (-) con la disminución de tamaño, y de esta forma ayudar a que éste recuerde con mayor facilidad estas funciones. Tal y como se utiliza esta misma idea de aumentar y disminuir en otros tipos de programas gráficos.

Del mismo modo anterior, para un escalamiento con mayor libertad en el teclado se creó un menú avanzado, detallándolo más adelante.



Escalamiento en eje XYZ

**Figura 9: Escalamiento de objeto en todos los ejes a la vez**

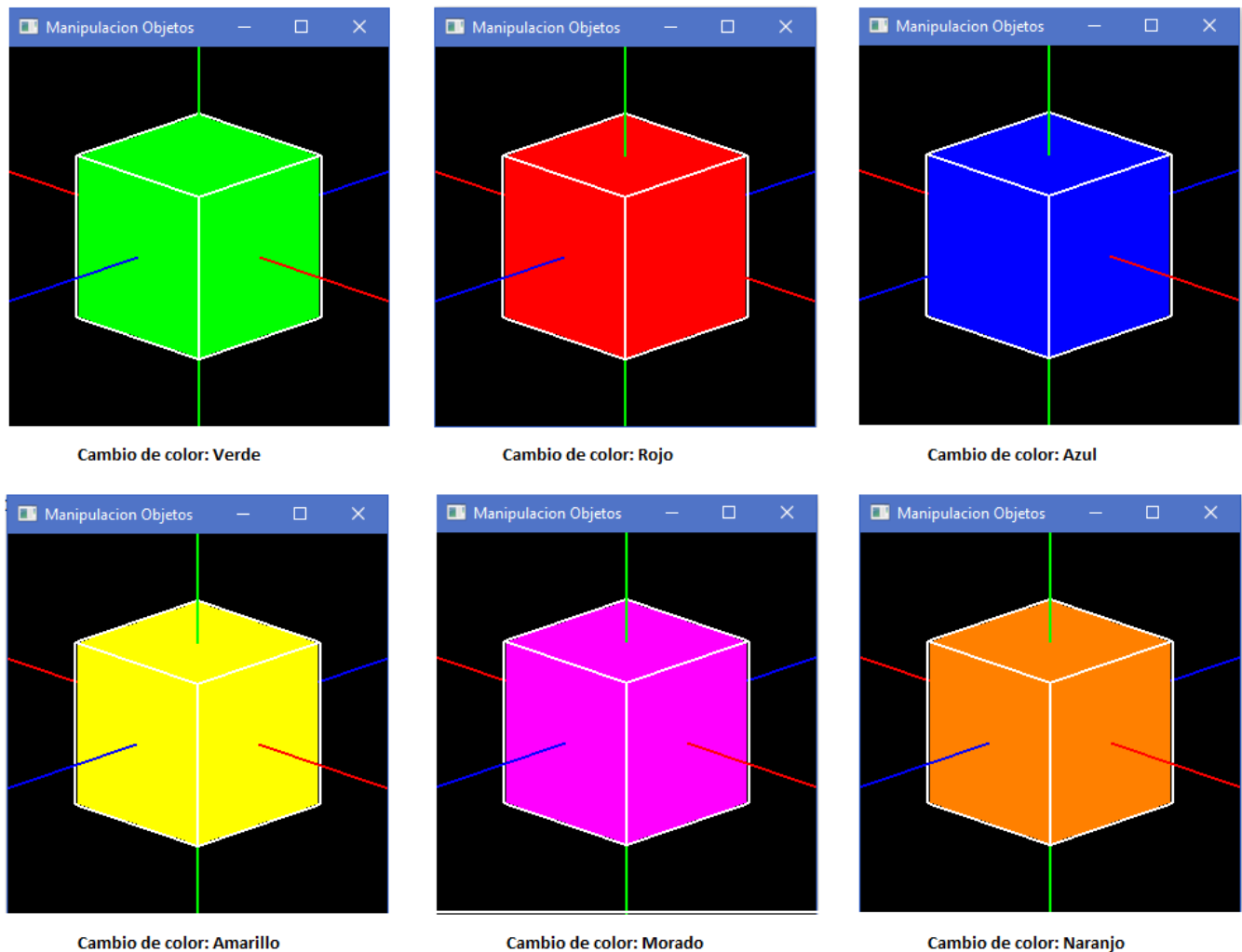
#### 6.4 Cambio de Color

Se prosiguió con la manipulación de “Cambiar Color” a la figura, teniendo en este caso solamente que seleccionar con el mouse la opción mostrada en el menú desplegable de manipulación, para que se produzca la acción. Teniendo 6 opciones distintas, las cuales abarcan los colores primarios y secundarios, que son el Verde, Rojo, Azul, Amarillo, Morado y Naranja [7]. Tal y como se muestra en la **Figura 10**.

La metodología ocupada con el mouse está hecha para que el usuario con solo leer la opción y seleccionarla pueda cambiar el color del objeto.

En cambio con el teclado se aplicó la lógica de solamente tener que presionar la tecla de “Espacio” para cambiar el color al “siguiente” en la lista. De esta forma se tiene que los colores están en el orden <Verde, Rojo, Azul, Amarillo, Morado, Naranja>, de manera tal que si el color actual es el Azul, al presionar la tecla “Espacio”, éste cambiara al color Amarillo. De la misma manera si el color actual es Naranja y se presiona “Espacio”, el color cambiara a Verde. Siendo así una lista circular. Aquí el defecto está en que si se quiere volver al primer color hay que dar la vuelta entera a la lista, sin poder elegir directamente el color como se realiza

con el mouse. Pero éste fue el método elegido más cercano de posible facilidad para el usuario.

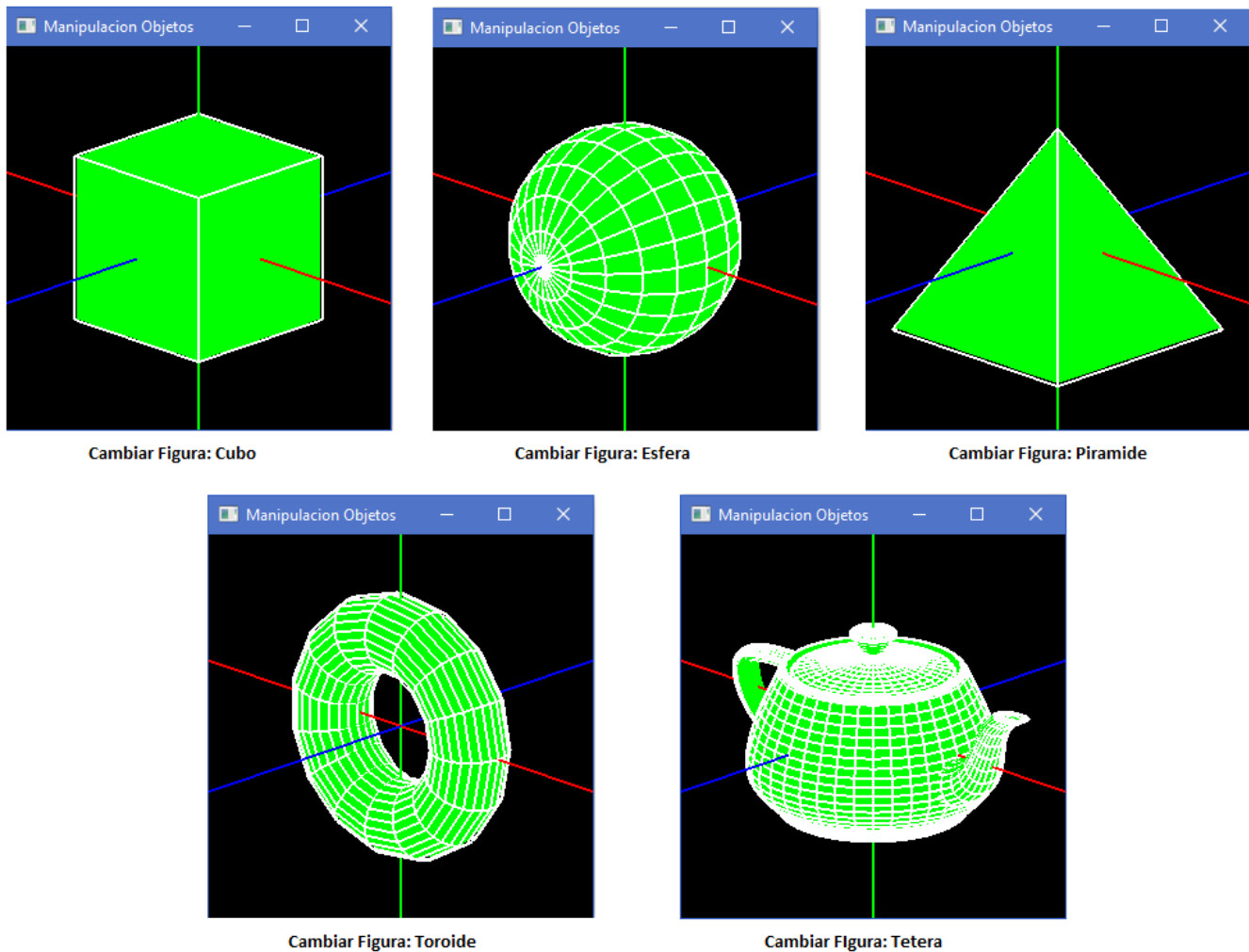


**Figura 10: Cambio de Color de objeto**

## 6.5 Cambio de Figura

Como último se tiene la manipulación de "Cambiar Figura", teniendo al igual que el caso anterior, seleccionar con el mouse una de las 6 opciones distintas del menú desplegable de manipulación. Siendo las 5 primeras las figuras de "Cubo", "Esfera", "Pirámide", "Toroide" y "Tetera", como en la **Figura 11**. Y como 6ta opción el "Mostrar/Ocultar Ejes", la cual se incluyó en esta sección debido a que

los ejes son considerados como otra figura más dentro del entorno de manipulación.



**Figura 11: Cambio de Figura**

Con el mouse esta acción es similar a la anterior, teniendo el usuario solo que leer y seleccionar la opción para cambiar la figura.

Y con el teclado se consideró un nuevo método, el cual consiste en asignarle un número a cada figura, siendo en este caso 5 figuras, por lo que quedan de la siguiente manera <1: Cubo, 2: Esfera, 3: Pirámide, 4: Toroide, 5: Tetera>. De tal manera que al presionar las teclas numéricas la figura cambiara por pantalla con respecto al número asignado. Este método fue pensado para que el usuario

asociara el orden de los números a las figuras, para que luego de experimentar éste pueda recordar las conexiones y cambiar la figura con mayor rapidez.

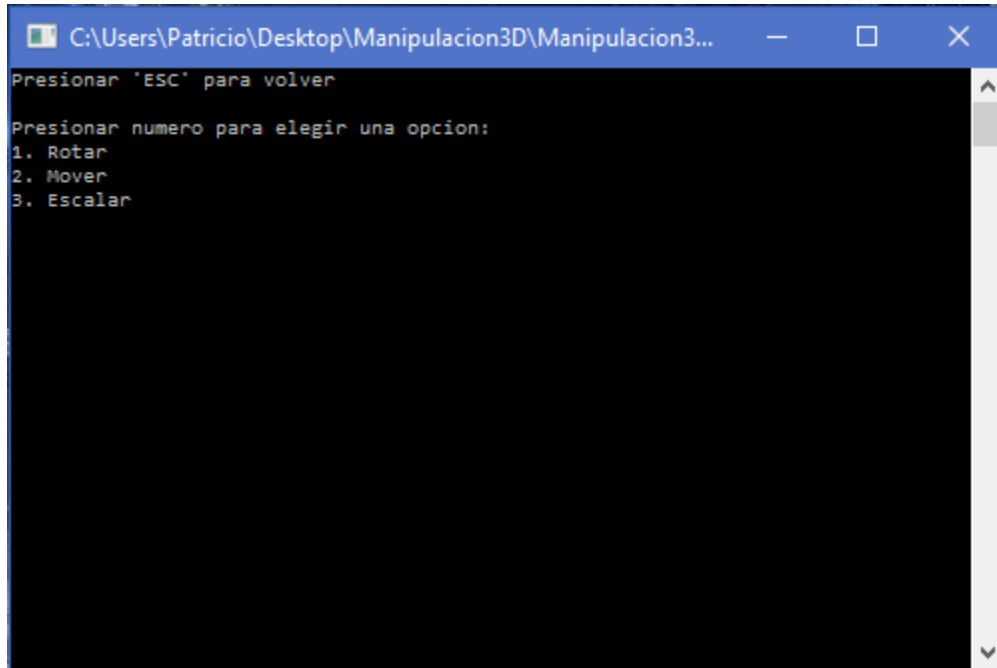
Esta acción se produce ocultando las otras figuras y solo dibujando por pantalla la seleccionada. Por lo tanto todas las demás manipulaciones que se realicen a una cierta figura se aplicaran al mismo tiempo a las otras, debido a que las demás solamente están ocultas pero activas a la vez.

Para una mayor comodidad del usuario se creó la opción de “Resetear” el programa oprimiendo la tecla “R”, para ocasiones en las que se apliquen variadas manipulaciones al objeto y este se “deforme” o “cambie” más de lo usual, queriendo después volver al estándar inicial de la figura. Para esto lo que hace internamente el programa es inicializar todas las variables desde el comienzo nuevamente y llamar a la función main desde el principio como si se iniciara el programa por primera vez, dando la sensación de resetear la figura como se comenzó.

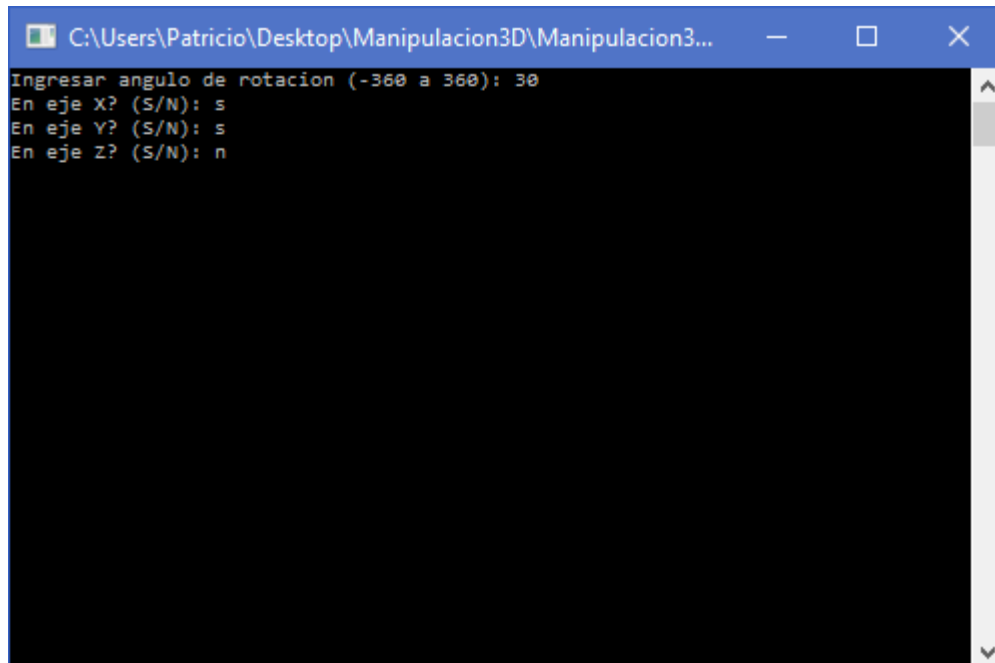
## 6.6 Menú Avanzado

Como extra se agregó al programa un “menú avanzado”, presionando la tecla “M”, el cual dispone de las opciones “Rotar”, “Mover” y “Escalar” la figura, que se despliegan al presionar las teclas numéricas “1”, “2” y “3” respectivamente, tal como muestra la **Figura 12**, pudiendo ingresar manualmente por consola detalles más específicos de manipulación.

Para la primera acción de “Rotar”, se solicita por consola ingresar un ángulo de rotación que varía entre los números -360 y 360, tal como el rango de ángulos utilizado matemáticamente. Esto debido a que para los ángulos negativos rotara en sentido opuesto a los positivos. Para esto se pide además indicar en cuales de los ejes XYZ se quiere realizar la acción, teniendo de esta forma la capacidad de realizar esta manipulación en más de un eje a la vez, como indica la **Figura 13**.



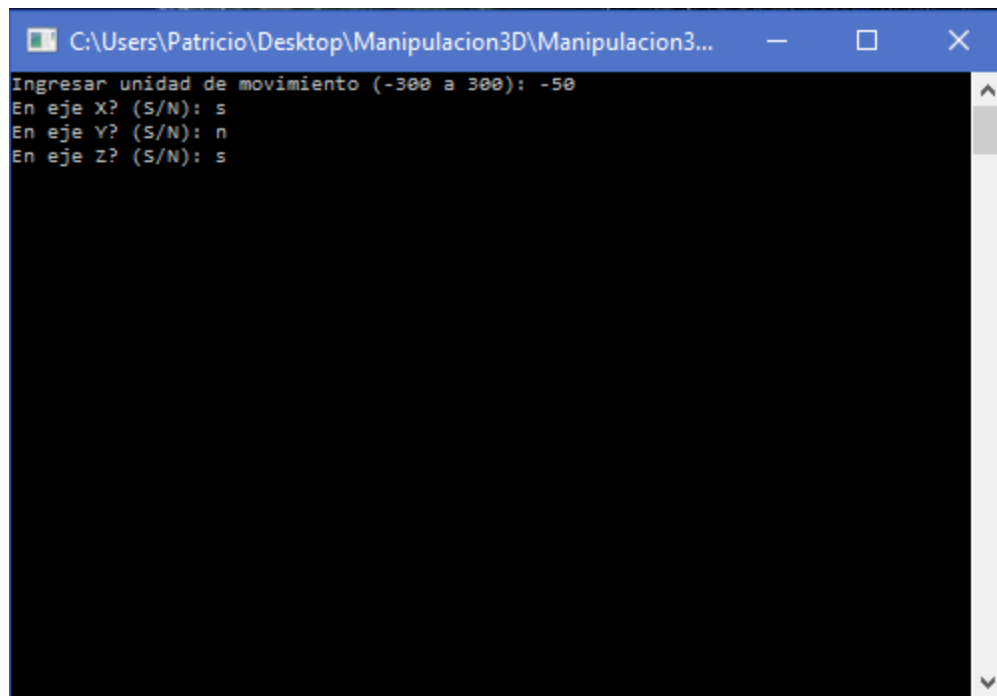
**Figura 12: Menú Avanzado**



**Figura 13: Rotación en Menú Avanzado**

Como segunda opción se tiene “Mover”, donde en esta ocasión también se solicita ingresar unos valores, pero que van desde -300 al 300. A esto se le llamó unidad de movimiento. Preguntando nuevamente los ejes en los que se quiere realizar la acción, como indica la **Figura 14**.

La razón sobre la elección del rango de valores a ingresar se debe a que son el valor mínimo y máximo ideal para que la figura no desaparezca de la ventana de manipulación, estando desde el centro. Además se pregunta otra vez sobre los distintos ejes para que de esta forma la manipulación pueda realizarse en más de un eje a la vez.



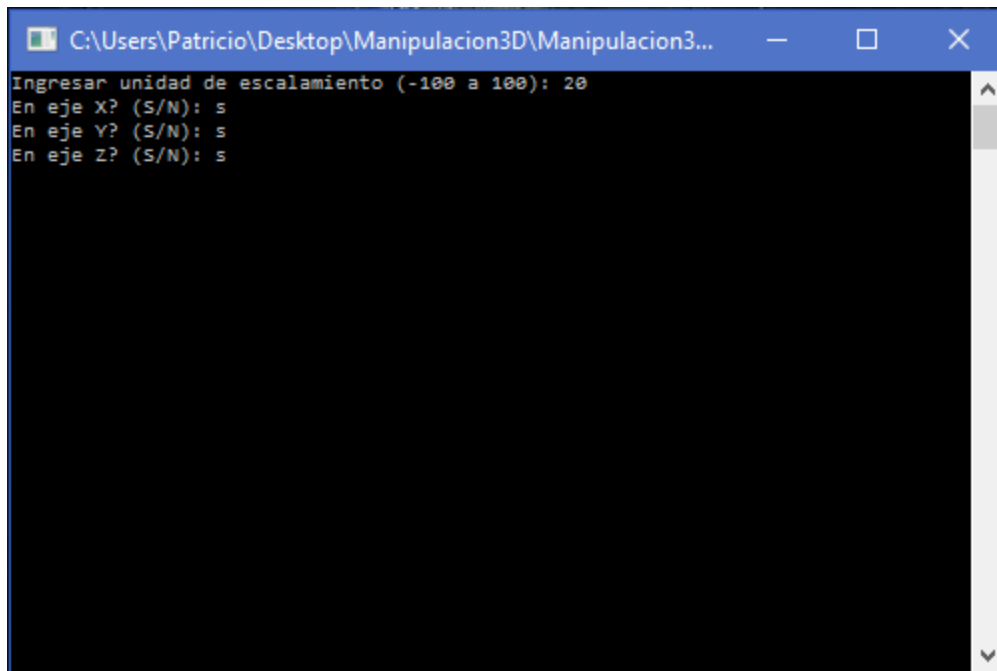
**Figura 14: Movimiento en Menú Avanzado**

Para finalizar se tiene la acción de “Escarlar”, solicitando que se ingrese un valor de escalamiento que varía entre -100 y 100. Y al igual que en las dos opciones anteriores se pregunta otra vez los ejes en los cuales se quiera realizar la manipulación, tal y como muestra la **Figura 15**.

Nuevamente la decisión sobre la elección de los valores a ingresar es debido a que la figura no se sobresalga de la ventana de manipulación. Y las preguntas sobre los ejes para que se pueda escalar en más de un eje a la vez.

Este menú avanzado no se realizó a prueba de errores, teniendo solamente la seguridad mínima al ingresar los datos por consola. Ya que la seguridad se escapa del objetivo de este estudio se tiene como supuesto un usuario “bueno” que ingrese datos correctamente sin mal intención.

Como se observa, estas acciones a pesar de poder realizarlas en el menú principal con el mouse y teclado, están hechas para experimentar una forma de manipulación más detallada y “avanzada”, pudiendo de esta manera analizar qué tan intuitivo encuentra este proceso el usuario.



```
C:\Users\Patricio\Desktop\Manipulacion3D\Manipulacion3...
Ingresar unidad de escalamiento (-100 a 100): 20
En eje X? (S/N): s
En eje Y? (S/N): s
En eje Z? (S/N): s
```

**Figura 15: Escalamiento en Menú Avanzado**

## 7. Encuesta de Manipulación

Para poder analizar detenidamente la facilidad de uso se le solicito a un grupo variado de 63 usuarios que llevaran a cabo las tareas del programa “Manipulación 3D” y luego contestaran una encuesta asociada al tema (Ver **Anexo 1**) que se generó para el desarrollo de este estudio.

La ISO 9241-11:1998 “Guidance on usability”, define la usabilidad como:

La medida con la que un producto se puede usar por usuarios determinados para conseguir objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso concreto [8].

De esta manera, las preguntas de la encuesta están enfocadas a medir estos 3 factores principales, que se define cada uno como [8]:

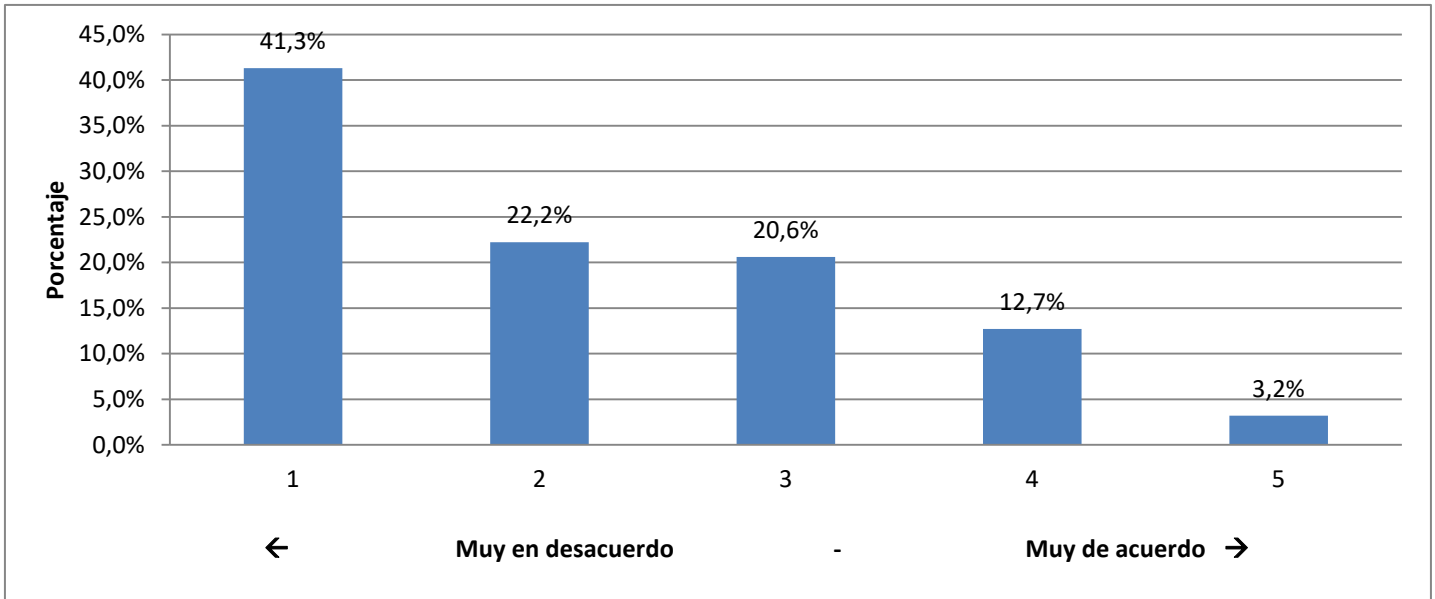
- Efectividad: exactitud e integridad con la que los usuarios alcanzan los objetivos especificados, y por tanto implica la facilidad de aprendizaje, la ausencia de errores del sistema o la facilidad del mismo para ser recordado.
- Eficiencia: recursos empleados (esfuerzo, tiempo, etc.) en relación con la exactitud e integridad con la que los usuarios alcanzan los objetivos especificados.
- Satisfacción: un factor subjetivo que implica una actitud positiva en el uso del producto.

Pudiendo así analizar de mejor manera las operaciones que son más intuitivas para el usuario.

### 7.1 Primera sección de encuesta

De esta manera el cuestionario comienza con la primera sección de preguntas enfocada al tiempo ocupado en las tareas, para evaluar la eficiencia del programa. Seguido de la dificultad en realizar las tareas realizadas, para medir la efectividad.

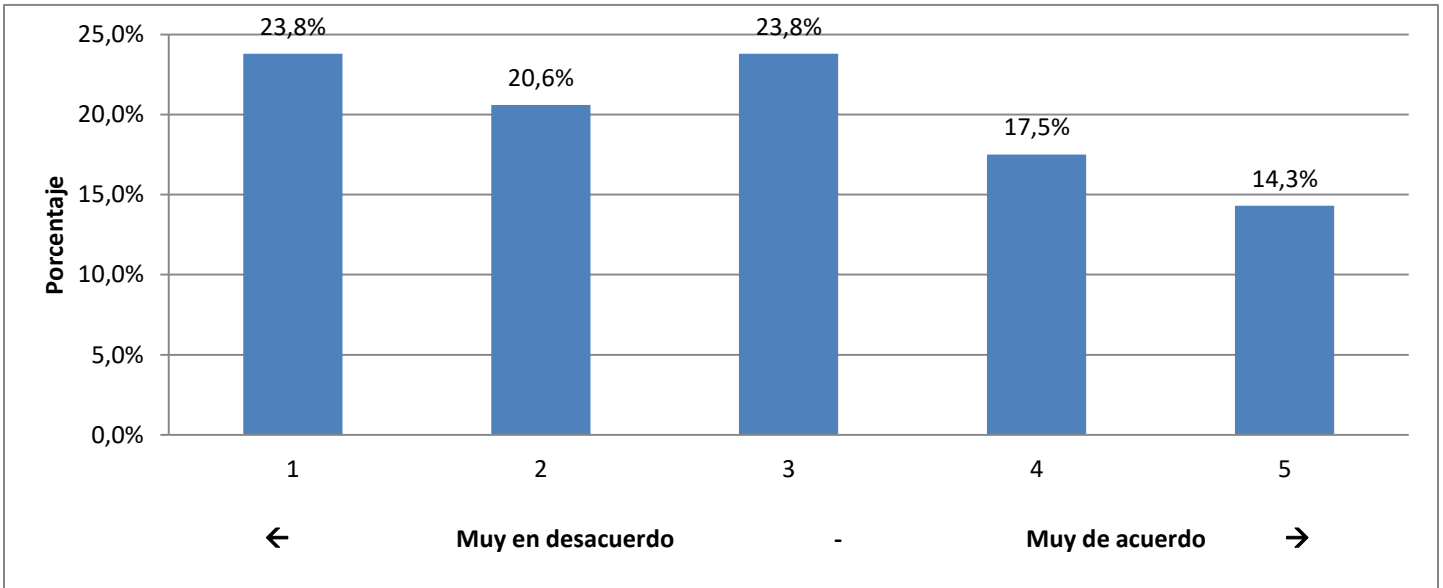
Para esto se le pide al usuario responder si le tomo mucho tiempo realizar las acciones de manipulación. El **Gráfico 1** muestra las respuestas que van del rango 1 al 5, siendo 1 “Muy en desacuerdo” y 5 “Muy de acuerdo”



**Gráfico 1: ¿Tomo mucho tiempo realizar las acciones de manipulación?**

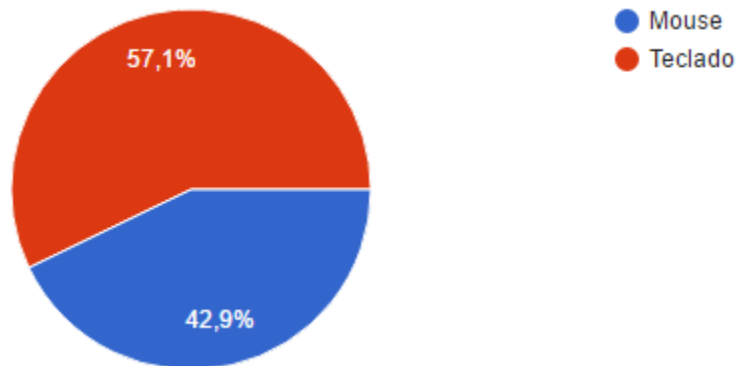
De estos datos se puede desprender que en general la tendencia está hacia que al usuario no le ocupa mucho tiempo el poder realizar las distintas manipulaciones del programa.

Luego se tiene el **Gráfico 2**, ocupando el mismo rango del 1 al 5, representa los resultados de la pregunta hacia el usuario si le requirió más tiempo ejecutar las manipulaciones al primer intento. Con lo cual para este caso el gráfico de barras está más equilibrado entre los dos extremos, con una leve tendencia a que el usuario no le requirió tanto tiempo aprender en primera instancia el uso del programa, aunque es un asunto debatible debido a los porcentajes que tienden hacia el otro extremo.



**Gráfico 2: ¿Requirió más tiempo ejecutar las manipulaciones al primer intento?**

Se prosigue con el dispositivo que logró operar con mayor rapidez estas acciones de manipulación, y como se aprecia en el **Gráfico 3**, se ve la tendencia con mayor porcentaje hacia el teclado.

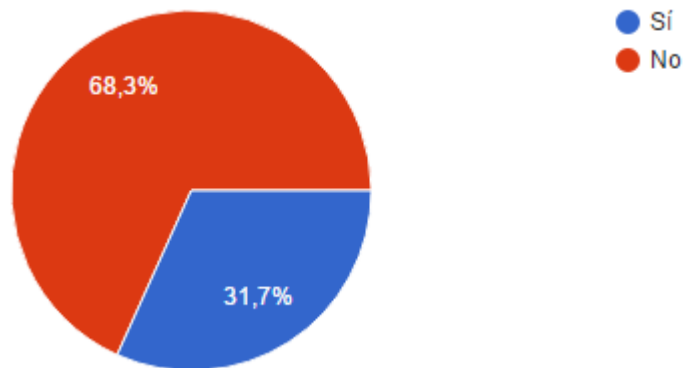


**Gráfico 3: Dispositivo que logro operar con mayor rapidez las manipulaciones**

A pesar de no ser una diferencia tan grande de porcentaje, esto puede deberse a que con el teclado la acción se producía continuamente luego de presionar un

botón y en cambio con el mouse primero se requiere seleccionar la opción a realizar y luego aplicarla.

Después se pregunta a los usuarios si hubo alguna tarea que no se pudo realizar, la cual muestra los resultados en el **Gráfico 4**. De manera tal que un gran porcentaje indica que no tuvo problemas, mientras que un menor porcentaje indica que tuvo ciertas complicaciones en poder realizar al menos una acción de todas las mostradas en el programa.



**Gráfico 4: ¿Hubo alguna tarea que no se pudo realizar?**

Pero analizando las respuestas de la gente en la pregunta siguiente, en donde debían mencionar cuales fueron estas tareas sin realizar, fueron en mayor parte complicaciones técnicas como volver con la tecla "Esc" al menú principal o errores de entrada de datos en el menú avanzado. Por lo que en realidad las acciones principales de manipulación "Rotar", "Mover", "Escalar", "Cambiar Color", "Cambiar Figura" no hubo mayores dificultades en su totalidad.

Se continua preguntando al usuario cual tarea le resulto más fácil realizar, y el dispositivo asociado. Para esto se puede ver los porcentajes de cada acción del mouse y teclado en la **Tabla 1**.

Relacionando de esta manera con lo anterior, donde se mencionó que con el teclado se realizaban más rápido las opciones de manipulación, por ende, en este caso, más fácil de usar. Y la acción de cambiar color es la que tiene un mayor porcentaje, siendo ésta entonces la más fácil entre los usuarios encuestados.

Se descartaron 4 respuestas en esta pregunta por no cumplir con el enfoque deseado.

	Mouse	Teclado	Total
Mover	6,92%	11,54%	18,46%
Rotar	10,00%	13,08%	23,08%
Escalar	4,62%	10,00%	14,62%
Cambiar Color	10,77%	14,62%	25,38%
Cambiar Figura	7,69%	10,77%	18,46%
Total	40,00%	60,00%	

**Tabla 1: ¿Cuál tarea resulto más fácil realizar y con qué dispositivo?**

De forma contraria, se le preguntó al usuario cual tarea resultó más difícil realizar las acciones, y qué dispositivo. Se ven los resultados en la **Tabla 2**.

	Mouse	Teclado	Total
Mover	14,71%	11,76%	24,47%
Rotar	17,65%	5,88%	23,53%
Escalar	32,35%	14,71%	47,06%
Cambiar Color	0,00%	0,00%	0,00%
Cambiar Figura	0,00%	2,94%	2,94%
Total	64,71%	35,29%	

**Tabla 2: ¿Cuál tarea resulto más difícil realizar y con qué dispositivo?**

Como se observa en la **Tabla 2**, al ver los mayores porcentajes, se tiene que el mouse fue el dispositivo con el que los usuarios encontraron más dificultad de uso, junto a la acción de “Escalar”. Analizando los comentarios de las respuestas, se tiene que esto pudo deberse a que el usuario no está tan familiarizado con escalar una figura en sus distintos ejes XYZ por separado.

En esta ocasión se descartaron 34 respuestas, por no cumplir con el enfoque buscado, debido a que gran parte de estas respuestas fueron orientadas al uso general del menú avanzado y otro gran porcentaje indicando que no se encontró dificultad alguna.

Como último en esta primera sección, se le preguntó al usuario cuál acción de manipulación pudo recordar con más claridad y con qué dispositivo. Esta pregunta se enfoca a saber que acción se le queda grabada en la memoria al usuario después de interactuar un tiempo con el programa, y éste recuerde como realizar dicha acción sin tener que volver a leer las instrucciones. Para esto se observa la **Tabla 3**.

	Mouse	Teclado	Total
Mover	8,76%	12,41%	21,17%
Rotar	10,95%	12,41%	23,36%
Escalar	8,76%	8,76%	17,52%
Cambiar Color	6,57%	13,14%	19,71%
Cambiar Figura	7,30%	10,95%	18,25%
Total	42,34%	57,66%	

**Tabla 3: ¿Cuál acción pudo recordad con mayor claridad y con qué dispositivo?**

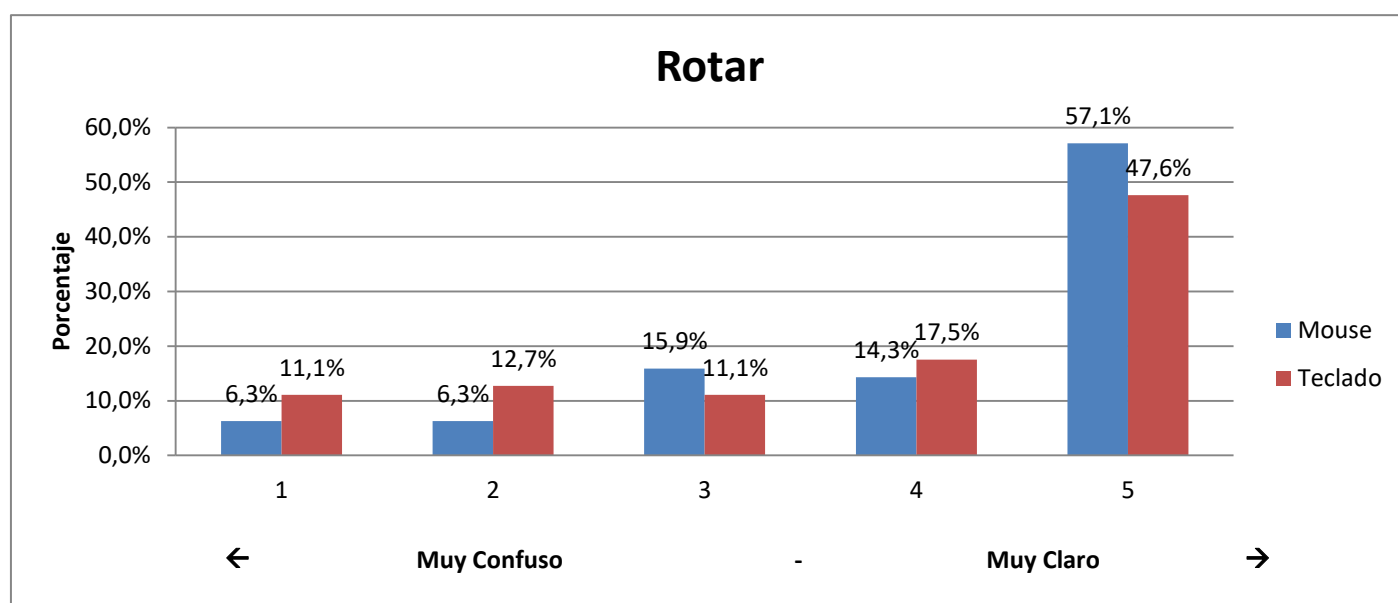
De esto se tiene que las acciones del teclado fueron las que se recordaron con mayor claridad, y la acción de “Rotar” con mayor porcentaje en general, pero en específico la acción que más se logró recordar fue “Cambiar Color”. Al analizar las respuestas se desprende que esta última acción fue mayormente recordada por el hecho de que solo se realizaba con una sola tecla, mientras que las demás acciones con el teclado requerían de más teclas. Otro dato interesante es que los usuarios que recordaban más con el mouse fue debido a que visualizaban directamente el tipo de instrucción al presionar la tecla derecha del mouse, desplegándose el menú de manipulación.

Para este caso se descartaron 7 respuestas por no cumplir con el enfoque deseado.

## 7.2 Segunda sección de encuesta

Al continuar en la segunda sección, se hace énfasis en calificar la usabilidad de cada acción de manipulación (“Rotar”, “Mover”, “Escalar”, “Cambiar Color”, “Cambiar Figura”) dependiendo del dispositivo usado (mouse o teclado), para que de esta forma se pueda analizar la tendencia de facilidad de cada dispositivo correspondiente a la acción de manipulación. Estando la calificación entre un rango del 1 al 5, siendo 1 “Muy Confuso” y 5 “Muy Claro”.

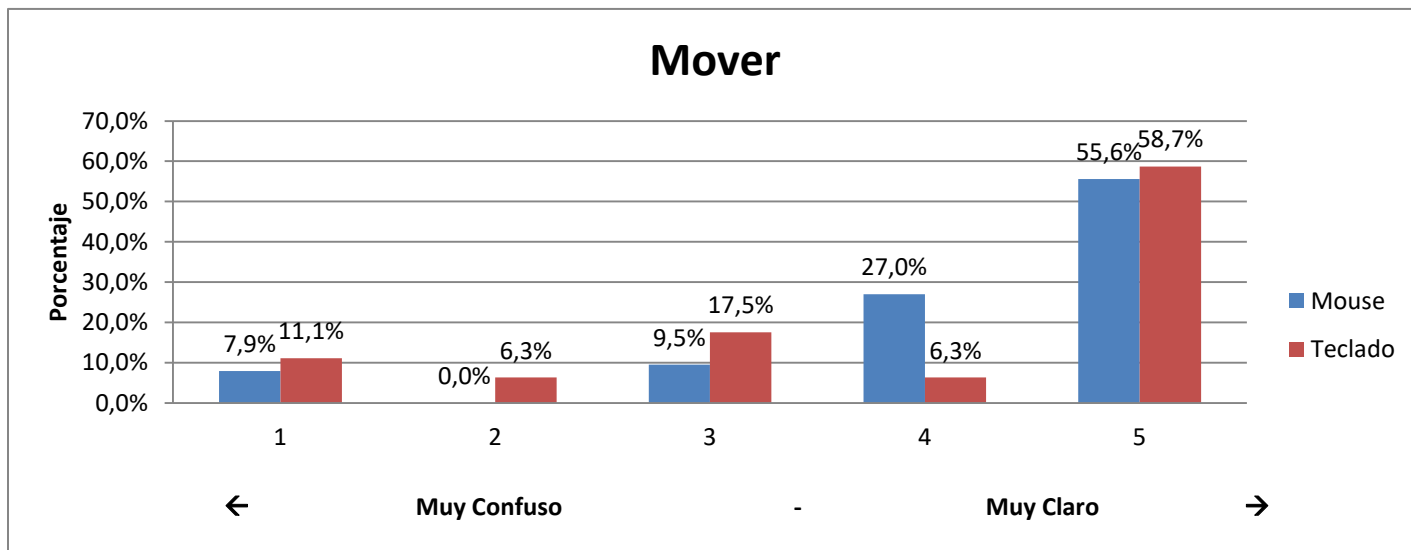
La acción “Rotar”, como muestra el **Gráfico 5**, tiene una tendencia hacia que esta manipulación no implica mayores complicaciones, quedando muy claro mayormente con el mouse. Y con un bajo porcentaje del total de encuestados se presentó confusión de esta acción con el teclado.



**Gráfico 5: Calificación de la acción “Rotar” con mouse y teclado**

De manera similar, con la acción de “Mover”, tal como se figura en el **Gráfico 6**, nuevamente hay una tendencia a que la manipulación fue en gran porcentaje bien clara, casi equiparando los porcentajes entre los dos dispositivos, pero con una leve inclinación mayormente hacia el teclado.

En este caso, en menor porcentaje, hubo una pequeña confusión con el teclado.

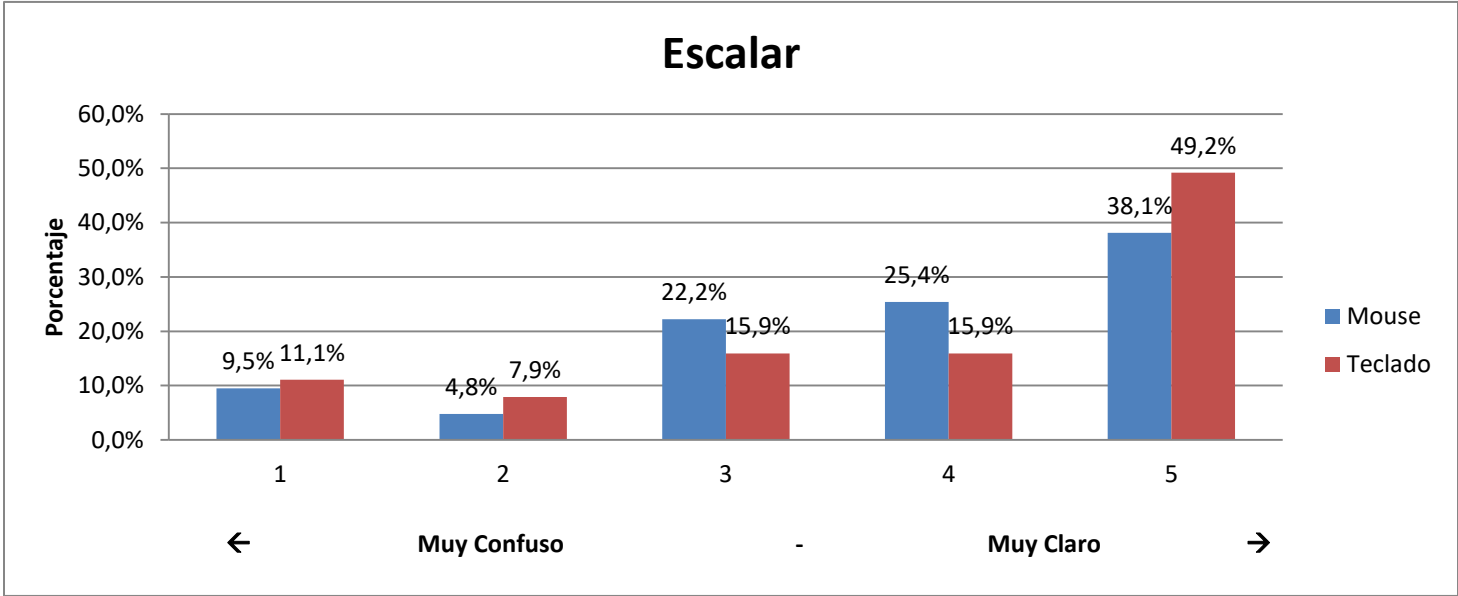


**Gráfico 6: Calificación de la acción “Mover” con mouse y teclado**

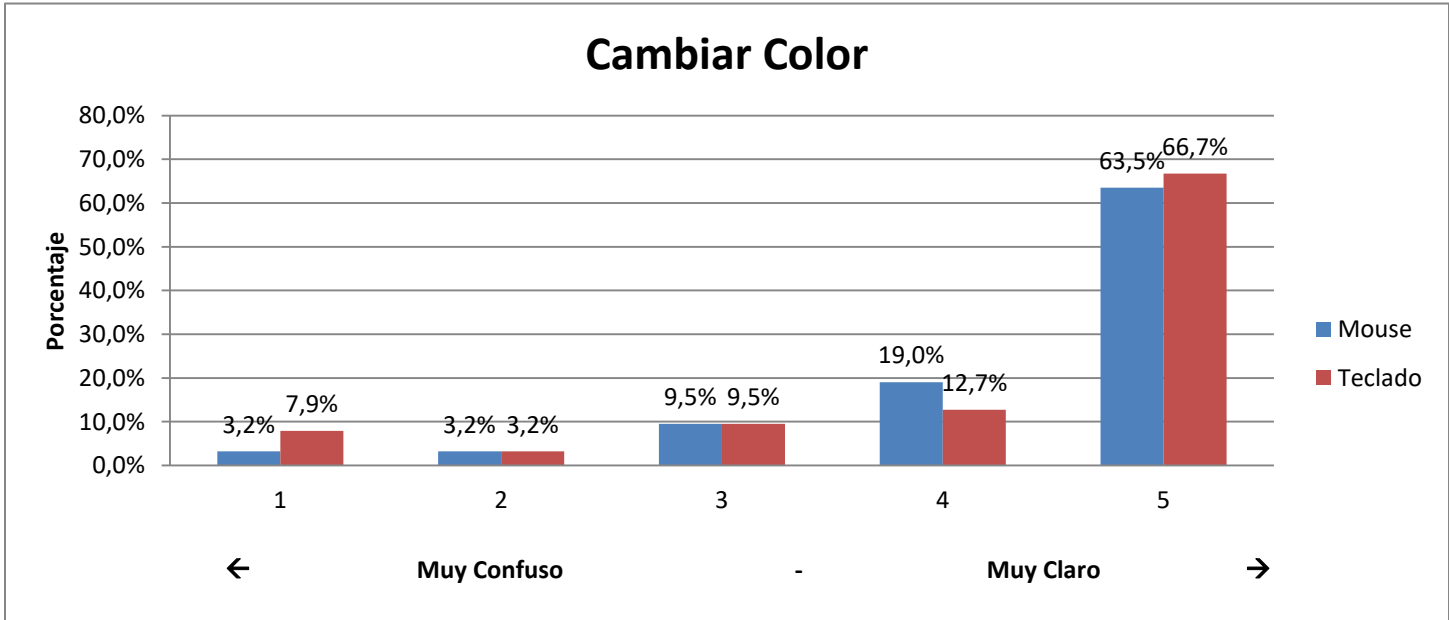
En la acción de “Escalar”, como muestra el **Gráfico 7**, hay una distribución un poco más equilibrada entre los rangos, pero manteniendo la tendencia hacia que la acción fue muy clara, teniendo con el teclado el mayor porcentaje. Y siendo muy confuso en menor medida con ambos dispositivos. Esto se puede relacionar con la **Tabla 2** donde se mencionaba que esta manipulación fue la que se encontró más difícil. De tal manera que eso puede explicar porque en esta acción se produjo confusión en general y la claridad de ésta no sobrepasó el 50% con ningún dispositivo.

Continuando con la acción de “Cambiar Color”, el **Gráfico 8**, muestra cómo cambia el efecto de los porcentajes, siendo mucho mayores en torno a que la acción fue muy clara con ambos dispositivos, teniendo una leve mayoría el teclado. Y en baja cantidad se produjo confusión con este mismo dispositivo ya mencionado.

De igual manera que en el punto anterior, esto se puede relacionar con la **Tabla 3**, donde esta manipulación fue la mayormente recordada con el teclado, debiéndose a que solamente se ocupaba una tecla, siendo ésta una forma más fácil de recordar y por consiguiente una acción más clara.

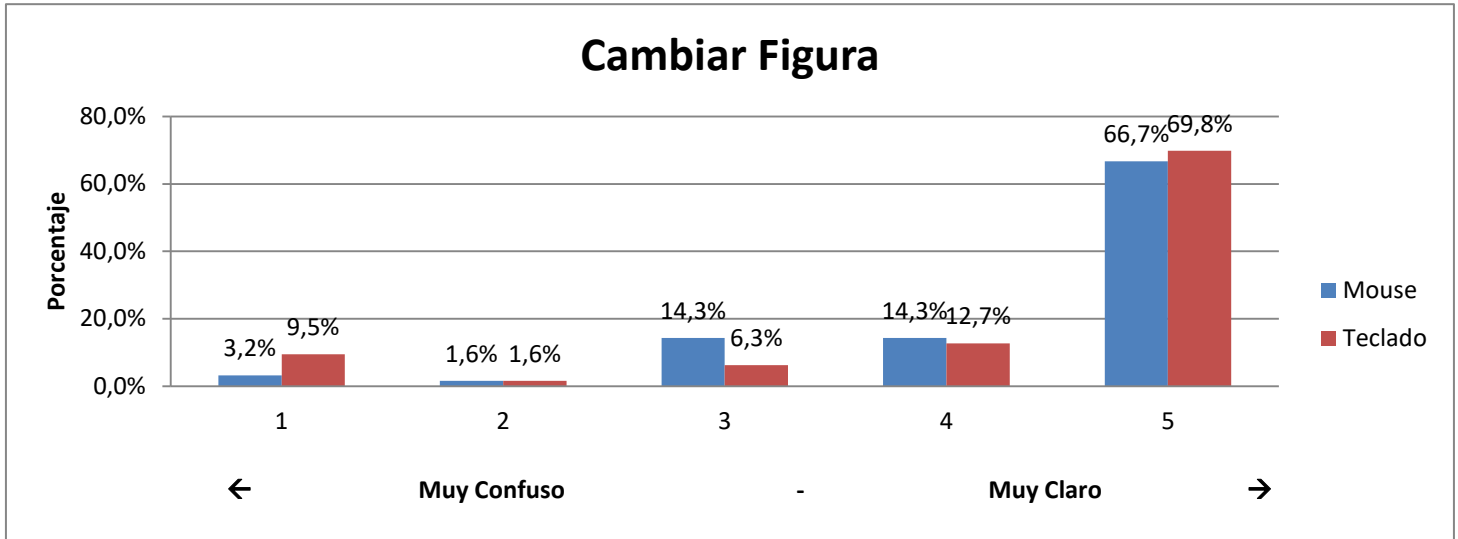


**Gráfico 7: Calificación de la acción “Escarlar” con mouse y teclado**



**Gráfico 8: Calificación de la acción “Cambiar Color” con mouse y teclado**

Por último se califica la acción de “Cambiar Figura”, y tal como muestra el **Gráfico 9**, otra vez hay una fuerte tendencia a que esta manipulación fue muy clara, teniendo los mayores porcentajes de claridad con respecto a las demás acciones. Para este caso nuevamente quedo más claro esta manipulación con el teclado, y con este mismo, en menor porcentaje, se encontró confuso.

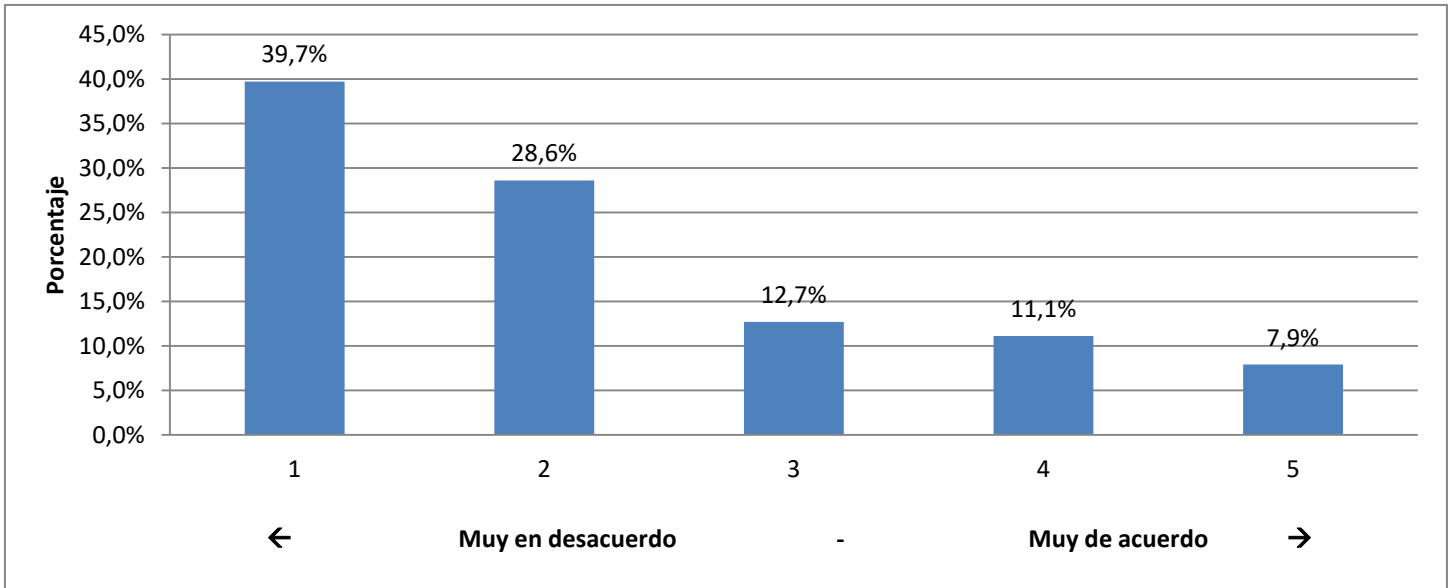


**Gráfico 9: Calificación de la acción “Cambiar Figura” con mouse y teclado**

### 7.3 Tercera sección de encuesta

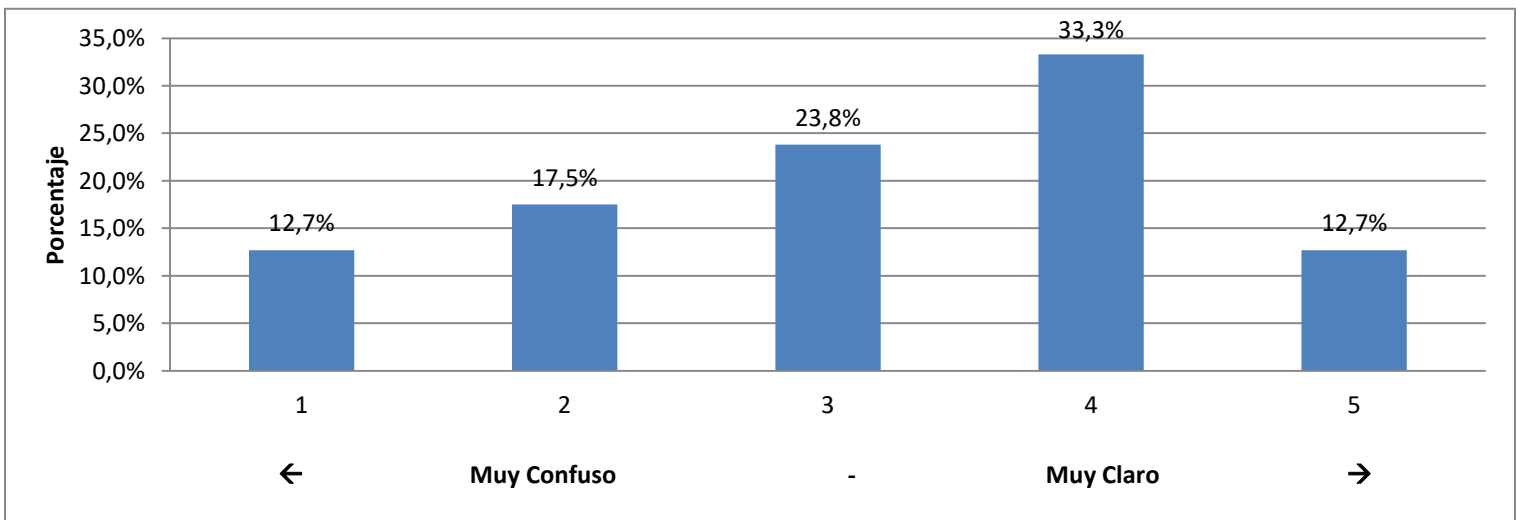
En la tercera sección se abarca preguntas dirigidas en su mayoría a la satisfacción por parte del usuario, que a pesar de ser factores más subjetivos son muy importantes a la hora de evaluar que el usuario encuentre agradable el uso de un programa.

Como primera pregunta de esta sección se le pregunta al usuario si cree que es necesario tener conocimientos previos o aprender otras cosas antes de poder manejar el programa de Manipulación 3D. Teniendo un rango de respuestas del 1 al 5, siendo 1 “Muy en desacuerdo” y 5 “Muy de acuerdo”. Entonces, tal como se observa en el **Gráfico 10**, la gran mayoría de los encuestados respondió con tendencia al desacuerdo, ósea que creen en mayor parte que no hay que tener conocimientos previos para el uso de la aplicación. Esto se asocia a que en general es intuitivo de ocupar o se pueden seguir sin problemas las instrucciones indicadas en ésta.



**Gráfico 10: ¿Es necesario tener conocimientos previos para manejar el programa?**

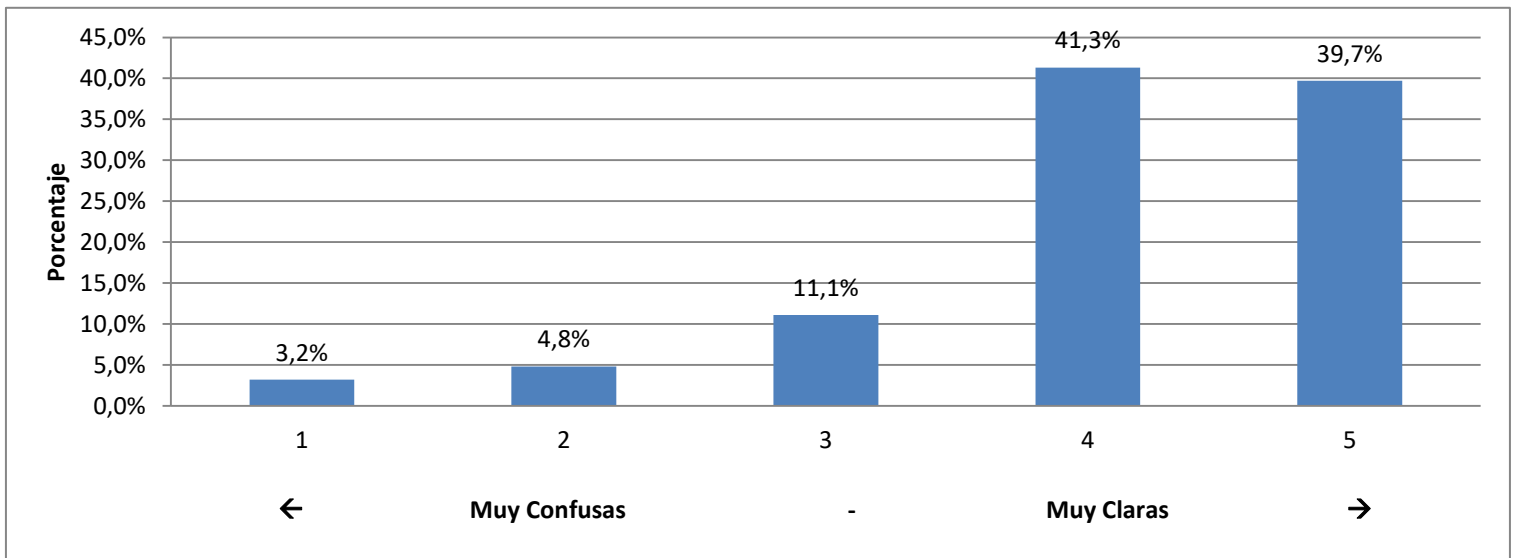
Se prosigue con la pregunta al usuario de como encontró la navegación por consola del menú avanzado. Teniendo un rango de respuesta del 1 al 5, siendo 1 "Muy Confuso" y 5 "Muy Claro". En el **Gráfico 11**, se observa que a pesar de haber una leve tendencia hacia que esta tarea fue más clara, se nota que todas formas que hay un porcentaje importante de usuarios que lo encontró confuso.



**Gráfico 11: ¿Cómo encontró la navegación por consola del menú avanzado?**

Esto se relaciona con lo visto anteriormente en la **Tabla 2**, en donde varios usuarios de esa pregunta dejaron comentarios al respecto de la dificultad que tuvieron al usar el menú avanzado y como tuvieron algún tipo de error al no entender las instrucciones correctamente.

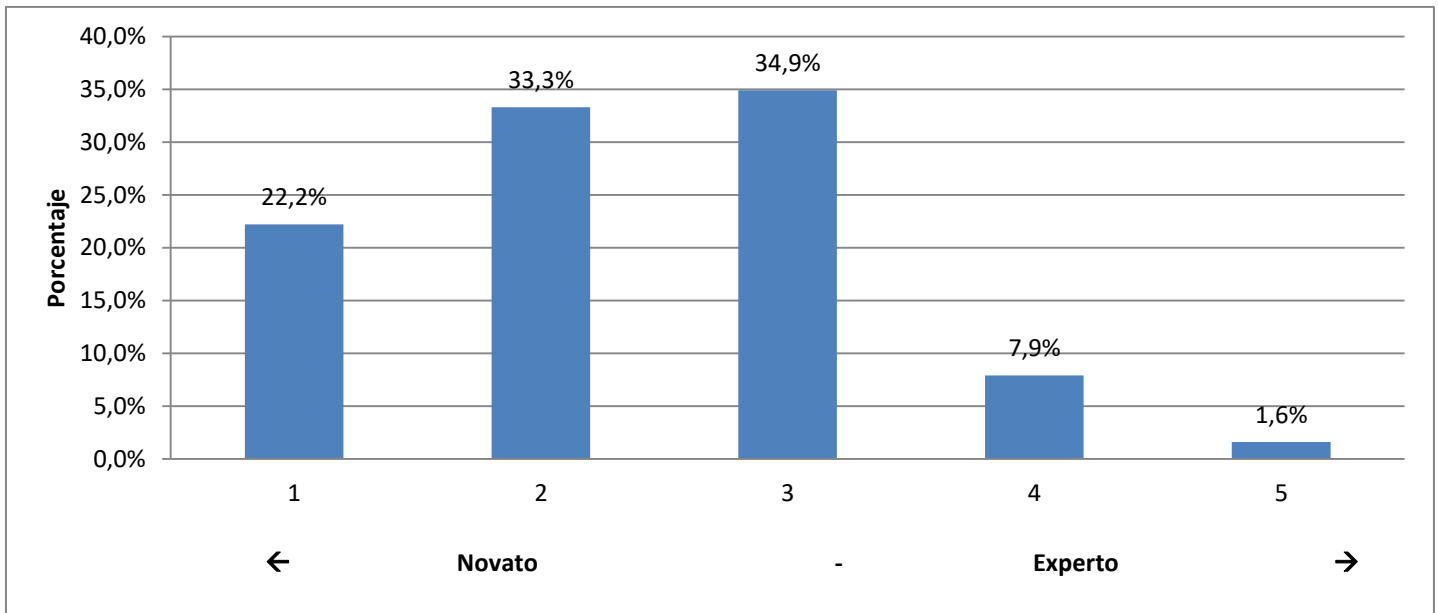
Al preguntar sobre como el usuario encuentra las descripciones e instrucciones que aparecen en el programa, hay una tendencia bien grande, de más de la mitad de los encuestados, que entiende muy claramente lo indicado en el programa, tal como muestra el **Gráfico 12**.



### Gráfico 12: ¿Cómo encontró las descripciones e instrucciones del programa?

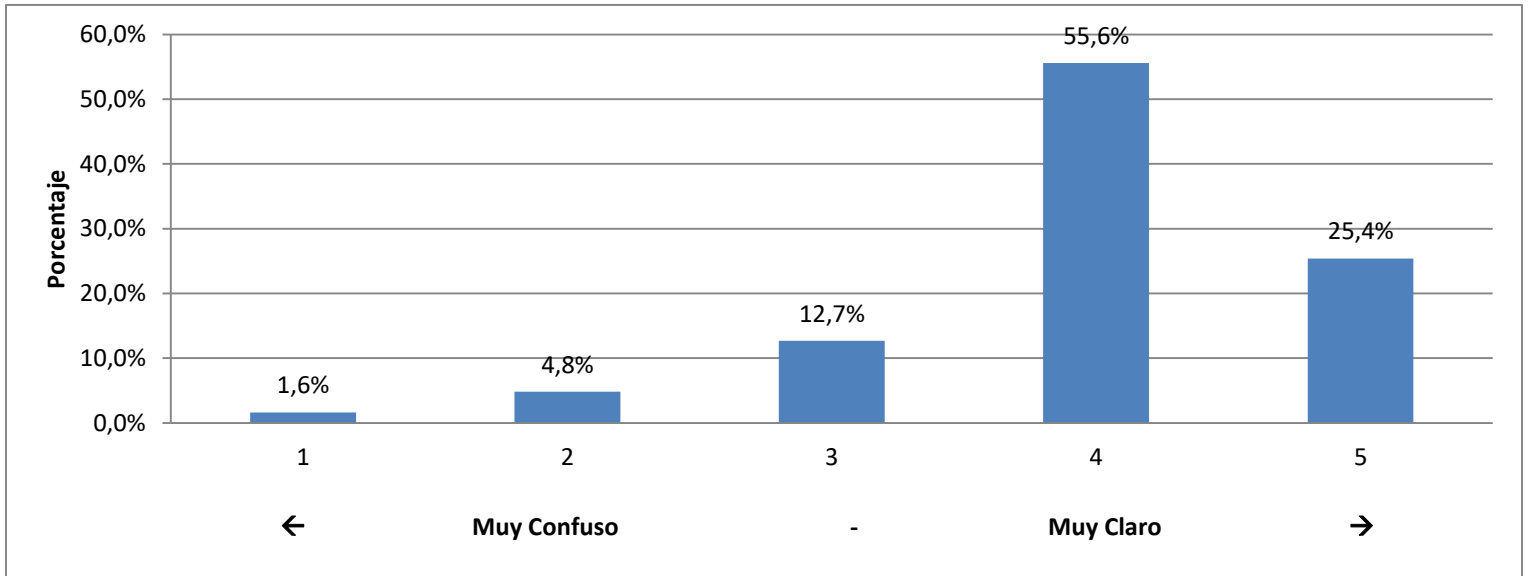
Se continúa preguntando por cual tipo de usuario se cree que es adecuado el programa, teniendo un rango de respuestas del 1 al 5, siendo 1 “Novato” y 5 “Experto”. Tal como se puede ver en el **Gráfico 13**, se observa que la mayor tendencia está hacia un tipo de usuario novato, ósea que no tiene mucha o nada de experiencia sobre el tema de manipulación de objetos virtuales 3D.

Esto se relaciona con el **Gráfico 10**, donde los usuarios respondieron en su mayoría que no se requieren conocimientos previos para usar la aplicación.



**Gráfico 13: ¿Para qué tipo de usuario cree que es adecuado el programa?**

La última pregunta de esta sección, abarca sobre la evaluación de la facilidad de uso del programa en general, teniendo un rango de respuestas del 1 al 5, siendo 1 “Muy Confuso” y 5 “Muy Claro”, donde hay una mayor tendencia a que el programa es muy claro, tal como muestra el **Gráfico 14**. Siendo de esta manera una forma de decir que el programa es fácil de usar en general.

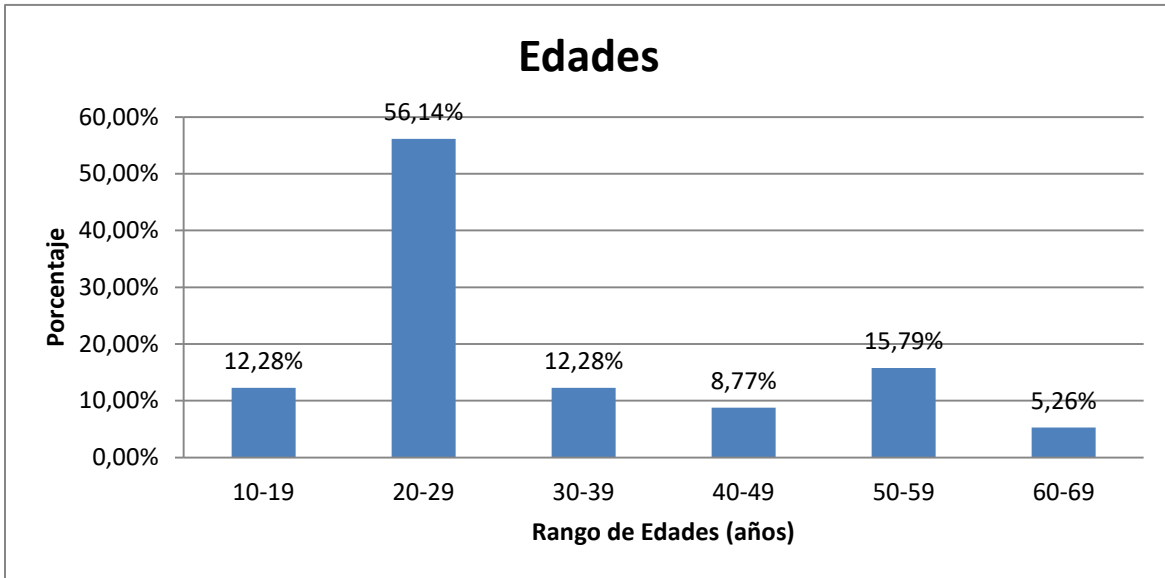


**Gráfico 14: ¿Cómo evaluaría la facilidad de uso del programa?**

#### 7.4 Cuarta sección de encuesta

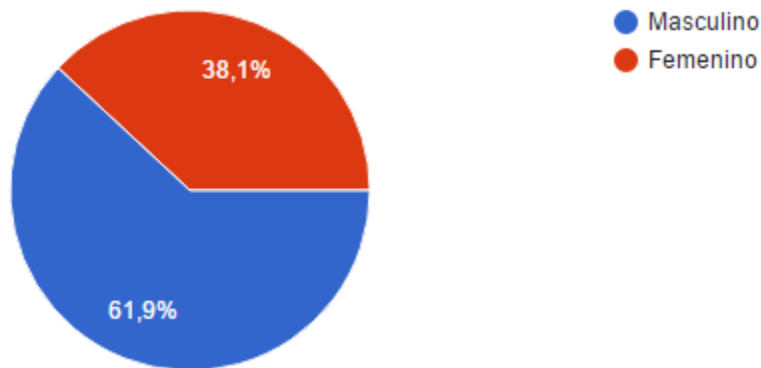
Como todos estos procesos tienen diferentes perspectivas entre los géneros, edades, ocupación de las personas, entre otros, es que se crea una cuarta sección sobre el ingreso de datos personales, de forma que poder realizar un análisis demográfico de los usuarios encuestados.

Un tema relevante a tomar en cuenta es la edad de los usuarios encuestados, ya que a cada generación, en general, le ha tocado una distinta experiencia con el uso de los computadores. Para esto se tiene el **Gráfico 15**, donde se observa que la mayor cantidad de encuestados son usuarios jóvenes, teniendo que levemente más de la mitad de estos están en el rango de 20-29 años.



**Gráfico 15: Edades**

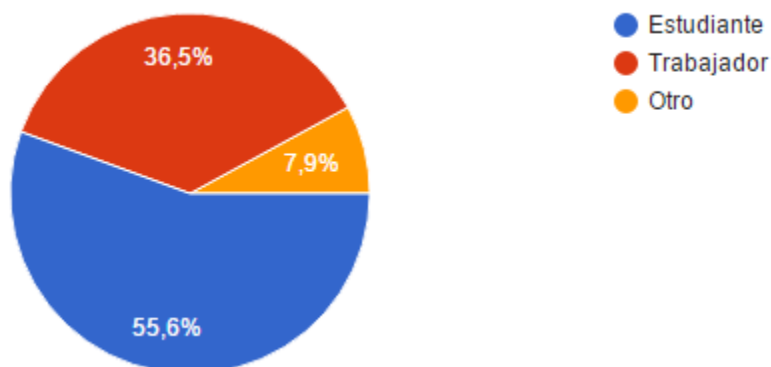
Se tiene que en el universo de encuestados hay una mayor cantidad de usuarios masculinos con respecto al femenino, tal como se figura en el **Gráfico 16**.



**Gráfico 16: Sexo**

La ocupación de los usuarios es mayormente de “Estudiante”, siendo estos más de la mitad del total de encuestados, y como segundo lugar queda que un porcentaje importante son “Trabajadores”, y un mínimo porcentaje es de otro ámbito. Esto se puede ver en el **Gráfico 17**.

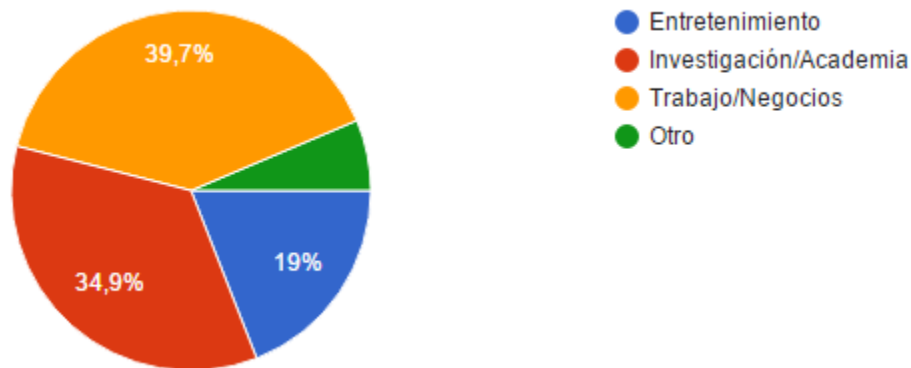
Los datos se relacionan con el **Gráfico 15**, donde se muestra que un gran porcentaje son jóvenes, que en este caso son en su mayoría estudiantes.



**Gráfico 17: Ocupación**

Una forma de poder evaluar la afinidad que el usuario tiene con respecto al computador, se le indicó que contestara cual era la principal actividad para la cual hace uso de este aparato. Tal y como muestra el **Gráfico 18**, hay dos actividades que destacan, que son el uso para “Investigación/Academia” y “Trabajo/Negocios”, siendo esta última la que levemente lleva el mayor porcentaje. En tercer lugar queda el uso para “Entretenimiento”, y como último “Otro”.

Esto indica como el usuario adquiere ciertas destrezas, dependiendo del uso que le da al computador, donde se pueden desprender conclusiones de él porque a ciertos tipos de usuarios le es más fácil entender o hacer uso de las distintas manipulaciones del programa.



**Gráfico 18: Principal actividad para la cual hace uso de un computador**

## 7.5 Quinta sección de encuesta

Finalmente se deja la última sección para comentarios, opiniones y/o críticas, en donde se puede recoger datos extra que ayuden al análisis final y/o mejoras del programa.

Entre los comentarios de los usuarios con respecto a la usabilidad, opiniones y/o críticas generales del programa se pueden destacar los puntos que más sobresalen o se repiten, tales como:

- El programa resulto fácil de aprender e interactuar, pudiendo realizar la mayoría de las acciones sin dificultad alguna. Es sencillo e intuitivo, por lo que no son necesarios mayores conocimientos previos.
- Programa fácil de entender, teniendo instrucciones claras.
- Ocasionó algunos problemas las opciones del menú avanzado.
- Problemas en la visualización de la figura al escalarla en gran tamaño.
- Resulta bastante útil para observar un modelo tridimensional si no se posee algún software avanzado.
- Podría haber una combinación de mouse y teclado funcionando al mismo tiempo, de forma que se complementen para realizar una manipulación, resultando así una agilización del proceso.

## 8. Conclusiones

A través de este estudio se pudo concretar la creación de un software que admitiera la manipulación de objetos en ambientes virtuales 3D a través de los dispositivos de mouse y teclado. En este proceso desde el comienzo se logró mostrar una figura tridimensional mediante una ventana emergente, la cual tenía iluminación para dar la sensación de profundidad al objeto, pero debido a que esto produjo conflicto en el transcurso del desarrollo de las distintas manipulaciones, como la restricción de solo tener un color a la vez del material con la luz activa, se llegó a la conclusión que este método se podía simplificar quitando la iluminación y añadiendo el dibujo de mallas de color blanco por el contorno de la figura, lo cual en la acción de rotación en específico da la sensación de una manipulación más fluida, siendo de esta forma más notorio a la vista el giro del objeto.

Al inicio del proceso de programación, cuando se realizaban las tres manipulaciones principales de "Mover", "Rotar" y "Escalar", ocurría que el objeto quedaba desorientado a la vista, por lo cual se llegó a la decisión de agregar visualmente los ejes de coordenadas XYZ a la ventana con la figura, para que en todo momento se pueda seguir la posición y orientación del objeto con más exactitud. Esto ayudó de mejor manera a continuar el desarrollo de las manipulaciones.

Cuando se leyó en la literatura del tema de objetos 3D, se encontró que la mejor forma de realizar las manipulaciones era intentando asimilar lo más posible estas acciones a la vida cotidiana, como por ejemplo si una persona tocara un libro en una mesa y lo desplazara a través de ésta, entonces de manera similar se intentó asociar el uso del mouse con la mano de una persona. Por consiguiente, al aplicar la acción concreta de "Mover" la figura, ésta se asimila a que el mouse, como una mano, agarra el objeto y lo desplaza en la dirección deseada hasta soltarlo. Siguiendo la misma idea se desarrollaron las demás acciones para que de esta forma el usuario que las realice sienta que lo hizo de forma natural o intuitiva, siendo esto último uno de los mayores objetivos buscados en este estudio.

Con el mouse, a diferencia del teclado, se logró asimilar más la manipulación de objetos, pero teniendo en cuenta que se demora en tiempo más que las teclas, debido a que con el mouse es necesario primero seleccionar una opción de manipulación y luego aplicarla, esto debido a las limitaciones de botones y movimientos que posee. En cambio con el teclado están ya definidas todas las acciones en las teclas y solo se presionan para realizar las manipulaciones, pero estas al ser muchas más instrucciones que con el mouse es donde se produjo la dificultad, ya que con el mouse las instrucciones eran asimiladas al mundo cotidiano, en cambio con el teclado se realizó énfasis a que las funciones de las

teclas pudiesen ser recordadas con facilidad. Como por ejemplo para la acción de "Rotar" se relacionó las flechas del teclado, que tienen un sentido de dirección u orientación visualmente hacia donde se quiere girar el objeto. O la acción de "Mover", relacionando las teclas "WASD" para trasladar el objeto, que para los usuarios familiarizados con el uso del computador como entretención lo vinculan como las flechas al desplazamiento. Y la acción de "Escalar" con las teclas "+" y "-" que se relaciona visualmente en este caso con "agrandar" y "disminuir" el objeto respectivamente.

En este desarrollo como no se pueden realizar de la misma manera las manipulaciones con los dos distintos dispositivos, es que se tomó la decisión de adaptar éstas según las limitaciones del dispositivo para cumplir que las acciones sean de fácil uso e intuitivas. Como es el caso de la acción "Escalar", ya que con el mouse se elige el eje en el cual se desea modificar la figura, o todos los ejes a la vez, en cambio como se mencionó anteriormente, con el teclado solo está la opción de escalar el objeto en todos los ejes al mismo tiempo (sin tomar en cuenta el menú avanzado), siendo esto una decisión para que el usuario recuerde las instrucciones con mayor facilidad. De manera que se tomó decisiones de desarrollo similares con las demás manipulaciones.

El no tener todas las funciones incluidas en el teclado como en el mouse es que se desarrolló un "Menú Avanzado", el cual permite realizar las manipulaciones de forma más precisa con el teclado ingresando manualmente los datos por pantalla. Este proceso se llevó a cabo para que se pudiesen llevar a cabo las funciones faltantes con el teclado (aunque de forma distinta de solo tener que apretar una tecla) y para poder hacer que el usuario probara un método diferente, evaluando así su usabilidad. La cual según los comentarios de los usuarios, considerando una cantidad importante de estos, produjo cierto grado de confusión o problemas de uso, principalmente para usuarios que se consideraban a sí mismos como principiantes. Esto debido a dos grandes razones según lo medido a las pruebas con los usuarios, que fueron por no estar acostumbrados a un sistema de consola de comandos y por la razón de que el programa estaba hecho para que en el ingreso de datos se tuviera que ir cambiando entre la ventana de manipulación del objeto y la consola de comandos, lo cual confundía en parte el proceso.

De todas las acciones, la de "Cambiar Color" fue la más fácil de realizar por los usuarios, en especial con el teclado. También esta misma fue la que se pudo recordar con más claridad, debido posiblemente a que solo era una tecla para realizar toda la manipulación en comparación con las demás. Y la acción "Escalar" fue la más difícil a realizar por los usuarios, siendo en mayor medida con el mouse, esto puede deberse a una confusión de parte de algunos usuarios los

cuales comentaron que al aplicar el escalamiento por un eje individual se deforma la figura de su estado original solo en un extremo y no en todos los ejes a la vez, produciendo en primera instancia desconcierto por algo nuevo. Pero en rasgos generales no hubo mayor complicación al respecto.

Los usuarios al calificar las distintas manipulaciones con respecto a los dispositivos ocupados, se obtuvo que:

- "Rotar" fue más claro con el mouse
- "Mover" fue más claro con el teclado
- "Escarar" fue más claro con el teclado
- "Cambiar Color" fue más claro con el teclado
- "Cambiar Figura" fue más claro con el teclado

Por lo tanto el teclado fue el dispositivo favorito frente al mouse, siendo de más fácil uso e intuitivo para el usuario común, según los resultados y comentarios de estos.

La mayoría de los encuestados encontraron que no es necesario tener conocimientos previos para usar el programa, por lo que pueden confiar en sus instintos adecuadamente para el uso de la aplicación y seguir sin mayores problemas las instrucciones. Además el programa en general recibió buena crítica con respecto a su facilidad de uso.

Según los resultados obtenidos de la encuesta, para los usuarios en general el programa es bien efectivo, ósea que es de fácil aprendizaje y fácil poder recordar las acciones de manipulación apropiadamente, sin necesitar experiencia o conocimientos previos al respecto para su uso. También cumple con que éste es bien eficiente, ya que los usuarios en su mayoría requirieron de un esfuerzo mínimo y no tanto tiempo ocupado para alcanzar con exactitud los objetivos especificados. Y a pesar de ciertas complicaciones que tuvieron algunos usuarios con el programa de manipulación 3D, casi es su totalidad mostraron una actitud positiva en su uso, entendiendo claramente las descripciones e instrucciones, logrando de esta manera una gran satisfacción sin mayores frustraciones de uso.

Un hecho que se puede observar es que los usuarios de prueba al ser en gran parte estudiantes jóvenes, estos tienden a tener una mayor afinidad con la tecnología actual, siendo ésta una de las posibles razones por la cual se llegó a la conclusión que el programa es de fácil uso e intuitivo para estos usuarios. Esto también puede ser posible debido a que las principales actividades con el computador de los usuarios en su mayoría son Investigación/Academia y

Trabajo/Negocios, tendiendo los usuarios de esta forma una mejor experiencia en el uso adecuado de los sistemas computacionales y dispositivos asociados.

Una recomendación para una actualización a futuro sobre el programa, analizando los comentarios de los usuarios, sería modificar el menú avanzado visualmente y funcionalmente, para lograr que éste sea más amigable y de fácil uso para usuarios con menos experiencia. También agregar en esa misma sección más seguridad a prueba de errores.

Los análisis y conclusiones de este trabajo pueden aportar al desarrollo de aplicaciones básicas para usuarios comunes que tengan un objeto tridimensional visualizado en el computador y necesiten experimentar el manejo de éste para comprobar su estado o modificarlo rápidamente. Como ejemplo si es que en algún futuro cercano se masifica a mayor escala las impresoras 3D y se requiere imprimir la figura, se necesitarían pasos e instrucciones simples, interfaz amigable y fácil uso para este proceso con un usuario común, ya que actualmente esta tecnología hace uso de programas más experimentados con cierto nivel de conocimiento previo, como el software Blender [9], por mencionar alguno.

Un uso en concreto para el programa desarrollado en este estudio es que puede ser útil para la enseñanza de un profesor en el área de computación gráfica. Dado que contiene las manipulaciones básicas que se enseñan en un curso.

## 9. Referencias/Bibliografía

### 9.1 Referencias

- [1] David Blanchard, ¿Que es OpenGL?, <https://blanchardspace.wordpress.com/2013/02/24/que-es-opengl/> [citado 15/08/2015]
- [2] Yadira Ortiz, Computación Gráfica, <http://compugrafica2012.blogspot.cl/> [citado 15/08/2015]
- [3] Introducción a la Computación Gráfica, <https://computaciongrafica.files.wordpress.com/2008/01/tema1.pdf> [citado 15/08/2015]
- [4] CAD / Diseño Asistido por Computadora, [http://www.plm.automation.siemens.com/es\\_sa/plm/cad.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/plm/cad.shtml) [citado 15/08/2015]
- [5] INTRODUCCIÓN A OPENGL, <http://www4.tecnun.es/asignaturas/grafcomp/OpenGL/practica/capitulo1.pdf> [citado 15/08/2015]
- [6] WASD método natural para manejar videojuegos, <http://www.omicrono.com/2016/06/wasd-controlar-los-juegos/> [citado: 10/09/2016]
- [7] Colores Primarios y Secundarios de luz, <http://viridianasalper.com/colores-primarios-secundarios-y-terciarios/> [citado: 10/09/2016]
- [8] Estándares formales de usabilidad, <https://olgacarreras.blogspot.cl/2012/03/estandares-formales-de-usabilidad-y-su.html> [citado: 10/09/2016]
- [9] Programas para imprimir en 3D, <http://makermex.blogspot.cl/2015/04/que-programas-necesito-para-imprimir-en.html> [citado: 29/11/2016]

## 9.2 Bibliografías

1. Doug A. Bowman, Ernst Kruijff, Joseph J. LaViola, Jr., Ivan Poupyrev, 3D User Interfaces Theory and Practice, Marzo 2011

Este libro habla sobre la interfaz usuaria en tres dimensiones, y las investigaciones sobre la interacción y visualización 3D. El capítulo más relevante que ayuda al desarrollo de la memoria es el 5, ya que se ven técnicas de interacción 3D, y en específico sobre la selección y manipulación.

2. Roland Hess, Conceptos básicos de manipulación de objetos, [http://wiki.blender.org/index.php/Doc:ES/2.4/Books/Essential\\_Blender/03.2.Object\\_Manipulation\\_Basics](http://wiki.blender.org/index.php/Doc:ES/2.4/Books/Essential_Blender/03.2.Object_Manipulation_Basics)

Este capítulo de la wiki de Essential Blender, ayuda a comprender los conceptos básicos de la manipulación de objetos 3D, el cual es una forma adecuada para empezar a experimentar una vez que se aprende lo básico.

3. Demián Gutierrez, Computación Gráfica (Algunos Fundamentos), Universidad de los Andes en Venezuela, Octubre 2011, [http://www.codecompiling.net/files/slides/CG\\_clase\\_01\\_intro.pdf](http://www.codecompiling.net/files/slides/CG_clase_01_intro.pdf)

Esta presentación habla sobre que es la computación gráfica, sus aplicaciones, los componentes de un sistema gráfico, como se representa una imagen, la diferencia entre vectorial y raster, conceptos y fundamentos.

4. Manuel F. Bertoa y Antonio Vallecillo, Medidas de Usabilidad de Componentes Software, Abril 2006,

[http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol04/vol4issue2April2006/4TLA2\\_11Bertoa.pdf](http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol04/vol4issue2April2006/4TLA2_11Bertoa.pdf)

Este documento sirve para complementar las ideas sobre las medidas de usabilidad de un software y como validarlas. Adecuándose al estándar de usabilidad.

## 10. Anexos

### 10.1 Anexo 1

De un universo total de 63 usuarios encuestados, se tiene la encuesta de Manipulación 3D:

(<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfJbVwEip-U7b4ghLxC7rrtDJ393ObFGJDv3vGZiSdrexgDHg/viewform>)

1) En general, ¿le tomó tiempo realizar las acciones de manipulación?

Muy en desacuerdo      1      2      3      4      5      Muy de acuerdo

2) Durante el primer intento, ¿requirió más tiempo aprender a ejecutar las manipulaciones?

Muy en desacuerdo      1      2      3      4      5      Muy de acuerdo

3) ¿Con qué dispositivo operó más rápido estas acciones?:

a) Mouse      b) Teclado

4) ¿Hubo alguna(s) tarea(s) que no pudo realizar?

a) Si      b) No

5) Si respondió de manera afirmativa en la pregunta anterior indique cual(es):

---

6) ¿Cuál tarea le resultó más fácil realizar y con qué dispositivo (Mouse o Teclado)?

---

7) ¿Cuál tarea le resultó más difícil realizar y con qué dispositivo (Mouse o Teclado)?

---

8) ¿Cuál(es) instrucción(es) de manipulación pudo recordar con mayor claridad y con qué dispositivo?

---

Clasifique las siguientes acciones de manipulación:

**Rotar:**

9) Con mouse:

Muy Confuso      1      2      3      4      5      Muy claro

10) Con teclado:

Muy Confuso      1      2      3      4      5      Muy claro

**Mover:**

11) Con mouse:

Muy Confuso      1      2      3      4      5      Muy claro

12) Con teclado:

Muy Confuso      1      2      3      4      5      Muy claro

**Escalar:**

13) Con mouse:

Muy Confuso      1      2      3      4      5      Muy claro

14) Con teclado:

Muy Confuso      1      2      3      4      5      Muy claro

## **Cambiar Color:**

15) Con mouse:

Muy Confuso      1      2      3      4      5      Muy claro

16) Con teclado:

Muy Confuso      1      2      3      4      5      Muy claro

## **Cambiar Figura:**

17) Con mouse:

Muy Confuso      1      2      3      4      5      Muy claro

18) Con teclado:

Muy Confuso      1      2      3      4      5      Muy claro

19) ¿Cree que es necesario aprender otras cosas antes de manejar el programa?

Muy en desacuerdo      1      2      3      4      5      Muy de acuerdo

20) La navegación por consola a través del menú avanzado le resultó:

Muy Confuso      1      2      3      4      5      Muy claro

21) ¿Cómo le han parecido las descripciones e instrucciones que aparecen en el programa?

Muy Confusas      1      2      3      4      5      Muy claras

22) ¿Para qué tipo de usuario cree que es adecuado el programa?

Novato      1      2      3      4      5      Experto

23) ¿Cómo evaluaría la facilidad de uso del programa en general?

Muy Confuso      1      2      3      4      5      Muy claro

**Datos Personales:**

\*Los datos personales no serán publicados, se requieren solamente para fines académicos tal como el análisis demográfico\*

24) Nombre Completo: \_\_\_\_\_ (opcional)

25) Edad: \_\_\_\_\_

26) Sexo:

a) Masculino            b) Femenino

27) Ocupación:

a) Estudiante            b) Trabajador            c) Otro

28) Seleccione la principal actividad para la cual hace uso de un computador:

a) Entretenimiento    b) Investigación/Academiac) Trabajo/Negocios            d) Otro

29) Comentarios con respecto a la usabilidad del programa (opcional):

\_\_\_\_\_

30) Opiniones y/o críticas generales (opcional):

\_\_\_\_\_