



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat d'Informàtica de Barcelona



Facultat d'Informàtica de Barcelona
Grau en Enginyeria Informàtica
Especialitat de Computació

Estudi de percepció de Heightmaps en un entorn de Realitat Virtual

TREBALL DE FI DE GRAU
MEMÒRIA

Arnau Llobet Massallé

Director: Pere-Pau Vázquez Alcocer
Codirector: Elena Molina López
Tutor GEP: Joan Sardà Ferrer

17/01/2023

Resum

Un Heatmap és una representació visual bidimensional de dades amb colors, on tots els colors representen valors diferents. Els Heightmaps es poden considerar com una extensió dels Heatmaps però utilitzant la tercera dimensió per codificar els valors mitjançant alçada, a més de codificar-los per color.

Aquest tipus de tècniques de visualització serveixen per descriure la intensitat de les variables i la variància. Són especialment útils per a visualitzar patrons, i fins i tot per identificar anomalies.

Davant de la falta d'informació i estudis rellevants, aquest projecte pretén implementar una extensió d'un software existent que permeti crear Heatmaps i Heightmaps en un entorn de realitat virtual. S'avaluarà la viabilitat de la solució i es farà un estudi de percepció.

Resumen

Un Heatmap es una representación visual bidimensional de datos con colores, en la que todos los colores representan valores diferentes. Los Heightmaps se pueden considerar como una extensión de los Heatmaps, pero utilizando la tercera dimensión para codificar los valores mediante altura, además de codificarlos por color.

Este tipo de técnicas de visualización sirven para describir la intensidad de las variables y la varianza. Son especialmente útiles para visualizar patrones, e incluso identificar anomalías.

Ante la falta de información y estudios relevantes, este proyecto pretende implementar una extensión de software existente que permita crear Heatmaps y Heightmaps en un entorno de realidad virtual. Se evaluará la viabilidad de la solución y se realizará un estudio de percepción.

Abstract

A Heatmap is a two-dimensional visual representation of data with colors, where all colors represent different values. Heightmaps can be thought of as an extension of Heatmaps but using the third dimension to encode values by height, in addition to encoding them by color.

These types of visualization techniques serve to describe the intensity of the variables and the variance. They are particularly useful for visualizing patterns, and even for identifying anomalies.

Given the lack of relevant information and studies, this project aims to implement an extension of an existing software that allows creating Heatmaps and Heightmaps in a virtual reality environment. The feasibility of the solution will be assessed and a perception study will be carried out.

Índex

1. Introducció i contextualització	5
1.1. Context	5
1.2. Conceptes	6
1.2.1. Realitat Virtual	6
1.2.2. Immersive Analytics	6
1.2.3. Heatmap	6
1.2.4. Heightmap	7
1.3. Descripció del problema	8
1.3.1. Problemes de visualització	8
1.3.2. Falta d'estudis rellevants	8
1.3.3. Falta d'eines que suportin Heightmaps	8
1.4. Actors implicats	8
2. Justificació	9
2.1. Estudis previs	9
2.2. Solucions existents	9
2.3. Conclusions	10
3. Abast	10
3.1. Objectius	10
3.2. Requisits	11
3.2.1. Requisits funcionals	11
3.2.2. Requisits no funcionals	11
3.3. Obstacles i riscos	12
4. Metodologia i rigor	12
4.1. Eines de seguiment	13
5. Planificació temporal	13
5.1. Descripció de les tasques	13
5.2. Recursos	16
5.2.1. Recursos humans	16
5.2.2. Recursos materials	16
5.3. Taula de tasques i diagrama de Gantt	17
5.4. Gestió de riscos	18
5.4.1. Impossibilitat d'assolir una representació convencional	19
5.4.2. Integració amb el software IATK	19
5.4.3. Experimentació amb usuaris	19
5.4.4. Disponibilitat dels cascos RV	19
6. Desenvolupament del plug-in	19
6.1. Introducció a Unity	20
6.2. Introducció a IATK	20
6.3. Implementació de les noves tècniques de visualització	24
6.3.1. Obtenció de vèrtexs en l'espai	25

6.3.2. Tècnica Heightmap	25
6.3.2.1. Creació de la malla	25
6.3.2.2. Gradient de color	27
6.3.2.3. Renderització de la malla	28
6.3.3. Tècnica Heatmap	30
6.3.3.1. Creació de la quadrícula	30
6.3.3.2. Creació de la llegenda	30
6.4. Exemples	33
6.4.1. Heatmap	34
6.4.2. Heightmap	35
7. Estudi	36
7.1. Estudis rellevants de RV	37
7.2. Disseny de l'experiment	38
7.2.1. Dades utilitzades	38
7.2.2. Tasques assignades	38
7.2.2.1. Enquesta demogràfica	38
7.2.2.2. Introducció a l'experiment	38
7.2.2.3. Tasca principal	38
7.2.2.4. Qüestionari de satisfacció	39
7.2.3. Selecció dels valors a estimar	39
7.2.4. Configuració de les visualitzacions	39
7.2.4.1. Paletes de colors	39
7.2.4.2. Configuració de les visualitzacions Heatmap	40
7.2.4.3. Configuració de les visualitzacions Heightmap	42
7.2.5. Desenvolupament de l'aplicació de RV	45
7.2.5.1. Menú principal	46
7.2.5.2. Escena Heatmap	47
7.2.5.3. Escena Heightmap	48
7.3. Participants	49
7.4. Resultats	51
7.4.1. Qüestionari d'avaluació	51
7.4.2. Anàlisi dels resultats	54
8. Pressupost	59
8.1. Costos de personal	59
8.2. Costos genèrics	61
8.2.1. Amortitzacions	61
8.2.2. Costos indirectes	61
8.2.3. Costos genèrics totals	62
8.3. Contingències	63
8.4. Imprevistos	63
8.5. Pressupost final	64
8.6. Control de gestió	64
9. Sostenibilitat	65

9.1. Autoavaluació	65
9.2. Dimensió econòmica	65
9.3. Dimensió ambiental	66
9.4. Dimensió social	66
10. Conclusions	67
10.1. Treball futur	68
11. Referències	69

1. Introducció i contextualització

En els últims anys, la realitat virtual (RV) ha permès l'aparició de noves tècniques de visualització amb molt potencial. Gràcies a les tècniques de visualització tridimensional (3D), ara l'usuari disposa d'un major espai per explorar i interactuar lliurement amb les dades.

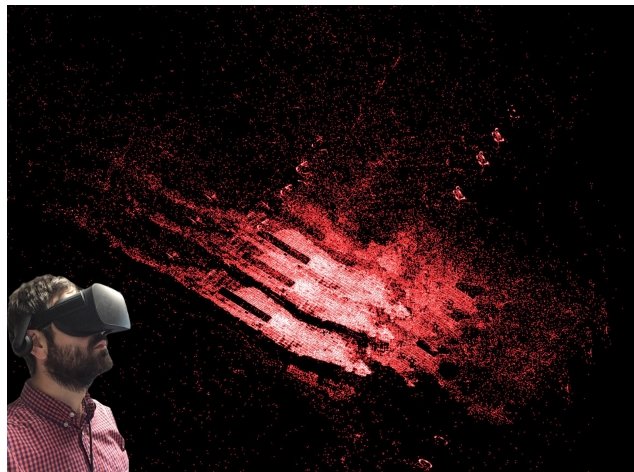


Figura 1. Usuari visualitzant dades amb un dispositiu de RV. [1]

Aquest tipus de tècniques també poden presentar alguns inconvenients. Encara que en alguns casos la percepció de profunditat sigui major, l'ús de dispositius RV pot provocar fatiga o fins i tot marejos a l'usuari. Les configuracions d'entorn sumen una complexitat addicional. Això, sumat a la falta d'informació i estudis de percepció, pot suposar una problemàtica de cara a l'usuari final.

Davant d'això, aquest treball de fi de grau (TFG) pretén desenvolupar i avaluar les tècniques de visualització de *heatmap* i *heightmap* en un entorn de realitat virtual.

1.1. Context

Dins del Grau en Enginyeria Informàtica, impartit per la Facultat d'Informàtica de Barcelona, existeixen diferents mencions. Aquest Treball de Fi de Grau (TFG) forma part de l'especialitat de computació.

El projecte està dirigit per Pere-Pau Vázquez, que actualment treballa en el departament de Computer Science, i és membre del grup ViRVIG [2]. Aquest grup va dedicar a la recerca de gràfics per computador, visualització, i realitat virtual, entre d'altres.

1.2. Conceptes

A continuació, es defineixen els següents conceptes per ajudar al lector a entendre correctament el treball.

1.2.1. Realitat Virtual

La realitat virtual (RV) és el terme utilitzat per descriure un entorn tridimensional que simula la “realitat” i pot ser explorat i interactuat per una persona.

En la majoria dels entorns de RV es fan servir dispositius com les ulleres estereoscòpiques, que solen incloure una pantalla dividida per mostrar a cada ull una imatge diferent. Això crea un efecte 3D estereoscòpic [3]. Aquests dispositius també es caracteritzen per tenir un so estèreo i poder fer seguiment de la posició del cap.

La combinació entre aquest tipus de dispositius *hardware* i les aplicacions *software*, permet crear una experiència sensorial on l'usuari se sent totalment immers en l'entorn i té la sensació que està interactuant amb elements reals.

1.2.2. Immersive Analytics

Immersive Analytics investiga com es poden utilitzar noves tecnologies d'interacció i visualització per donar suport al raonament analític i a la presa de decisions. Es basa en tecnologies com ara grans superfícies tàctils, entorns immersius de realitat augmentada i virtual, pantalles hàptiques i altres tecnologies modernes.

1.2.3. Heatmap

Un mapa de calor (heatmap) [4] és una representació gràfica de dades on els valors es representen per color.

Està format per una matriu bidimensional on les cel·les són de mida fixa i cada dimensió representa una variable discreta. El color de cel·la representa la magnitud d'alguna mesura de les dues variables combinades.

Els mapes de calor poden descriure la densitat o intensitat de les variables i la variància. Són especialment útils per a visualitzar patrons, i fins i tot per identificar anomalies. Cal dir que aquesta tècnica només accepta dades numèriques. En la figura següent es pot veure un exemple.

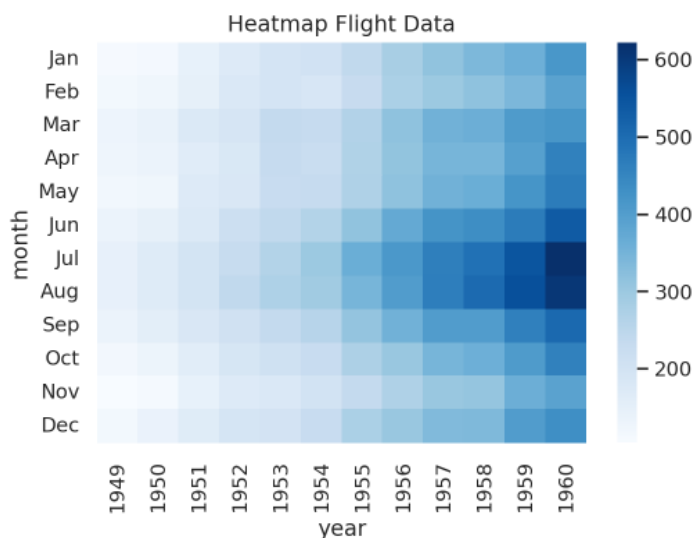


Figura 2. Representació heatmap del dataset "flights" de la llibreria seaborn. Conté el nombre de passatgers d'una aerolínia que van volar des l'any 1949 fins el 1960. Elaboració pròpia usant el mètode seaborn.heatmap de Python.

1.2.4. Heightmap

Els mapes de calor tridimensionals, també coneguts com a mapes d'alçada 3D (heightmap) [4], es poden considerar com una extensió dels heatmaps codificant la el fenòmen o magnitud mitjançant alçada, a més de codificar-lo per color. Aquesta tècnica sovint s'associa a visualitzacions geogràfiques en què les elevacions del paisatge es representen amb l'alçada. El color també pot substituir-se completament o usar-se per codificar un atribut addicional.

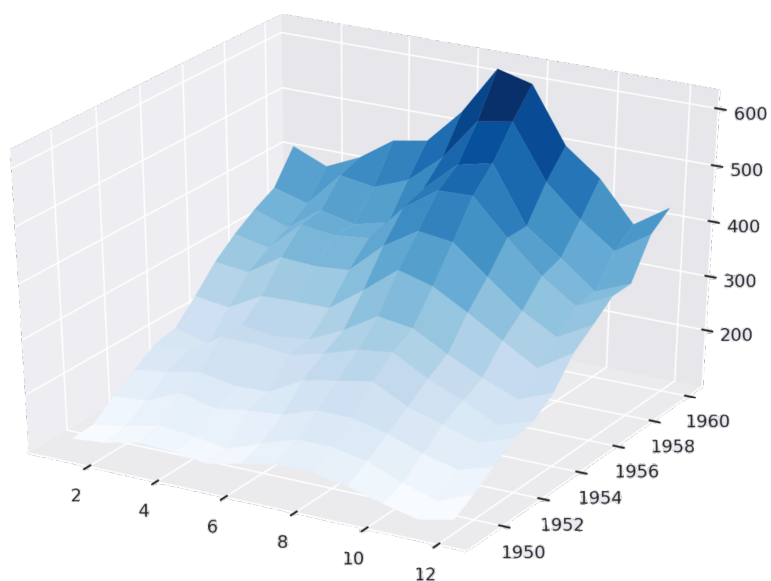


Figura 3. Representació heightmap del dataset "flights" de la llibreria seaborn. Conté el nombre de passatgers d'una aerolínia que van volar des l'any 1949 fins el 1960. Elaboració pròpia amb el mètode plot_surface de mpl_toolkits.mplot3d.

1.3. Descripció del problema

A continuació s'exposen els principals problemes a resoldre.

1.3.1. Problemes de visualització

Les tècniques de visualització 3D poden tenir problemes com l'oclusió i la distorsió en la percepció, que poden conduir a una interpretació incorrecta de les dades [6]. Per això, aquestes tècniques sovint poden ser considerades innecessàries. Tècniques com els heightmaps solen presentar dificultats en la configuració de paràmetres com el color, l'alçada i la mida dels eixos.

1.3.2. Falta d'estudis rellevants

Les tècniques bidimensionals són sovint les més utilitzades per a visualitzar dades estadístiques i abstractes. En canvi, les visualitzacions tridimensionals es fan servir habitualment en la ciència, l'enginyeria i el disseny. Les versions 3D de les tècniques de visualització estadística, com ara gràfics de barres i gràfics de dispersió, encara s'utilitzen habitualment. Tot i això, existeixen pocs estudis que intentin definir uns estàndards de visualització per a RV.

1.3.3. Falta d'eines que suportin Heightmaps

Existeixen diverses eines que permeten crear visualitzacions de dades immersives a Unity. Tanmateix, aquestes aplicacions només admeten certes tècniques de visualització, com ara gràfics de dispersió o gràfics de barres.

Actualment, no hi ha cap eina open source per a Unity que integri la tècnica Heightmap.

1.4. Actors implicats

En aquest projecte hi ha diversos actors implicats. En primer lloc, hi ha el grup format per les persones que contribueixen directament en la realització del projecte:

- Desenvolupador. És la persona encarregada d'implementar la solució i assegurar-ne el correcte funcionament. Només hi ha un únic desenvolupador: Arnau Llobet.
- Director i codirector del treball de fi de grau. Pere-Pau Vázquez i Elena Molina, departament de Computer Science, que guiaran i supervisaran el projecte.
- Testers. Serà un conjunt reduït de persones que realitzaran una sèrie de tests sobre el producte per donar *feedback* i fer una avaluació de la solució.

El producte va dirigit a totes aquelles persones que treballin amb la realitat virtual i la visualització de dades. Sobretot aquells que utilitzin tècniques de visualització similars

com els heatmaps o gràfics de barres en 3D. Poden ser des d'investigadors fins a analistes.

El grup de persones, que es poden beneficiar directament dels resultats del projecte, està format pels desenvolupadors i usuaris que ja fan ús del software de codi obert. El producte que s'implementarà serà una extensió per una aplicació ja existent [6]. Així doncs, desenvolupadors d'aquesta podran provar la solució i fins i tot millorar-la o implementar-ne de similars.

2. Justificació

En primer lloc, es detallaran els estudis previs relacionats amb la utilització de mapes d'alçada en entorns de realitat virtual.

2.1. Estudis previs

Una de les grans problemàtiques és la falta d'estudis rellevants. La gran majoria treballs previs tracten la percepció en tècniques de visualització 2D. En canvi, són pocs els estudis relacionats amb visualitzacions tridimensionals com els heatmaps en un entorn de RV. Tot i això, després de fer recerca, s'ha trobat un estudi referent a l'ús de la tècnica de visualització heightmap.

Comparative Analysis with Heightmaps in Virtual Reality Environments [6] és un treball que analitza i estudia la comparació de múltiples heightmaps en un entorn de realitat virtual. Està realitzat per M. Kraus, J. Buchmüller, Daniel Schweitzer, D. A. Keim i J. Fuchs. Aquest treball proposa un nou mètode de comparació i en demostra l'aplicabilitat mitjançant un cas d'ús. Fa una anàlisi comparativa de dades de sobre delinqüència.

Els resultats d'aquest estudi indiquen que en tasques de detecció i extracció d'un valor, les taxes d'error són més baixes i requereixen més temps. Així doncs, els autors conclouen que si es té en compte la relació entre cost i benefici, els heightmaps poden ser adequats en tasques específiques d'anàlisi comparativa.

A diferència de l'estudi relacionat, en aquest projecte els participants realitzen únicament tasques d'extracció de valors. També es recopila informació sobre la usabilitat de les tècniques utilitzades i l'avaluació de les tasques.

2.2. Solucions existents

El projecte se centra a desenvolupar un *plug-in* o extensió per a *Immersive Analytics Toolkit* (IATK) [1]. Aquest és un software codi obert per a Unity que ajuda a crear visualitzacions de dades interactives i escalables en entorns RV. IATK permet crear visualitzacions personalitzades a través de scripts senzills.

Existeixen altres toolkits com DXR [7], que també serveixen per a crear visualitzacions de dades immersives a Unity. Aquestes aplicacions, però, només suporten algunes tècniques de visualització, com scatterplots o barcharts. De moment, encara no existeix un toolkit open source per a Unity [8] que permeti crear visualitzacions immersives personalitzables amb heightmaps.

2.3. Conclusions

No hi ha suficients estudis rellevants de percepció utilitzant la tècnica de heightmap en entorns de RV. Tampoc existeix un software gratuït suporti aquesta tècnica.

Per aquest motiu s'ha decidit implementar una extensió per una de les eines existents que integri també heightmaps. Un cop implementada la solució, s'ha avaluat la tècnica en un estudi de percepció. Per a dur a terme aquest estudi, també s'ha implementat la tècnica de visualització Heatmap.

3. Abast

En un projecte com aquest el temps de desenvolupament és limitat, per tant, és essencial definir els objectius i requisits. També és important identificar i definir els possibles obstacles i riscos.

3.1. Objectius

L'objectiu principal d'aquest treball és el desenvolupament, implementació i avaluació de les tècniques heatmap i heightmap en un entorn de realitat virtual. Per tal d'assolir aquest propòsit es defineixen els següents subobjectius.

1. Desenvolupar una extensió per a IATK que suporti la creació de visualitzacions personalitzades usant la tècnica heightmap.
 - 1.1. Assolir la representació heightmaps fent servir corbes tridimensionals.
 - 1.2. Permetre la creació d'escenes amb diferents paràmetres de configuració com alçada, color i mida dels eixos entre d'altres. Aquests paràmetres han de ser configurables.
 - 1.3. Integrar la nova tècnica amb les funcionalitats existents.
2. Desenvolupar una extensió per a IATK que suporti la creació de visualitzacions personalitzades fent servir la tècnica heatmap.
 - 2.1. Aconseguir una representació en 2D. Afegint una escala de referència del color associat a cada valor.

- 2.2. Permetre la creació d'escenes amb diferents paràmetres de configuració com alçada, color i mida dels eixos entre d'altres. Aquests paràmetres han de ser configurables.
- 2.3. Integrar la nova tècnica amb les funcionalitats existents.
3. Avaluar les dues tècniques mitjançant un estudi de percepció comparatiu entre les tècniques heatmap i heightmap.
 - 3.1. Creació d'una aplicació VR per a fer els tests als usuaris.
 - 3.2. Testing amb usuaris i recull de dades.

3.2. Requisits

Els requisits es poden classificar en funcionals i no funcionals. Els primers expressen tot allò que el producte ha de fer, mentre que els segons estan relacionats amb la qualitat del producte. A continuació es llistaran els requisits que ha de complir el producte desenvolupat.

3.2.1. Requisits funcionals

- Integració amb software existent. El producte és un plug-in d'un software IATK per Unity. Per tant, s'ha de poder adaptar a la seva interfície i funcionalitats.
- Creació de visualitzacions configurables. El plug-in ha de permetre a l'usuari crear heatmaps i heightmaps amb configuracions diferents.
- Creació de visualitzacions interactives. L'usuari ha de poder interactuar amb l'entorn per canviar la perspectiva, la posició o la mida del gràfic.
- Compatibilitat amb dispositius RV. És important que la solució sigui compatible amb el major nombre de dispositius. En aquest cas dependrà dels dispositius que siguin compatibles amb Unity.

3.2.2. Requisits no funcionals

- Usabilitat. Les configuracions dels entorns de realitat virtual són complexes a nivell de *hardware*. Cal utilitzar dispositius que siguin compatibles entre si. Per aquest motiu és important facilitar al màxim la usabilitat a nivell de *software*.

- Reusabilitat. Aquest producte és una extensió d'un software open source ja existent. Per tant, és vital que es pugui aprofitar el producte, ja sigui per millorar-lo o implementar extensions similars.
- Eficiència. Aquest és un factor a tenir en compte per a poder visualitzar volums grans de dades.

3.3. Obstacles i riscos

A continuació s'exposaran les principals dificultats que es van preveure a l'inici del projecte:

- Representació de la tècnica. Els heightmaps se solen representar amb corbes tridimensionals. La implementació d'uns shaders que s'adeqüin a la tècnica pot suposar un repte.
- Integració amb el software. Com que es tracta d'una extensió, caldrà anar amb cura amb les funcionalitats existents. Poden aparèixer *bugs* o errors en la creació d'escenes, per aquest motiu serà necessari testejar la solució abans d'experimentar amb usuaris.
- Experimentació amb usuaris. Pot ser difícil trobar voluntaris suficients per a venir al laboratori a realitzar els tests. Amb pocs usuaris és difícil obtenir uns resultats representatius.
- Disponibilitat dels cascos de RV. El desenvolupament s'haurà de fer en el laboratori de la universitat i el dispositiu s'haurà de compartir amb altres persones, és a dir, que no sempre estarà disponible.

4. Metodologia i rigor

Per tal d'assolir els objectius establerts, és essencial definir una metodologia que s'adeqüi a les necessitats del projecte. Actualment, es poden diferenciar dos grans grups de metodologies de desenvolupament de *software*.

En el primer grup hi ha les metodologies tradicionals, que es caracteritzen per definir els requisits a l'inici del projecte. Els cicles de desenvolupament són poc flexibles i no permeten fer canvis.

En segon lloc, les metodologies àgils, que es caracteritzen per tenir una alta flexibilitat i agilitat. A més permeten adaptar el *software* a les necessitats que van sorgint pel camí [9] [10].

És molt probable que s'hagin de redefinir alguns requisits o implementar noves funcionalitats a mesura que s'avança en el desenvolupament. Per aquest motiu s'ha escollit una metodologia àgil.

Entre les diverses metodologies, s'utilitzarà *Scrum*, aquesta permetrà iterar sobre *sprints* o blocs de temps curts i fixos (entre dues i quatre setmanes) en els que es dissenyarà, desenvoluparà i es provarà la solució. La idea serà realitzar un parell de *sprints*, el primer per la implementació del plug-in i el segon per la creació de les visualitzacions per a l'estudi de percepció.

4.1. Eines de seguiment

Un cop definida la metodologia, cal detallar quines són les eines que ens han ajudat a fer un seguiment per validar els objectius definits.

Per poder fer un control de versions s'ha fet servir *Github* [11]. Aquesta eina permet emmagatzemar el nostre codi i restaurar versions antigues. També ha permès treballar amb diferents branques dins del mateix projecte. Això ha resultat especialment útil per afegir noves funcionalitats i depurar bugs.

Per organitzar i fer un seguiment de les tasques a realitzar, s'ha utilitzat *Trello* [12]. Aquesta eina permet crear taulells amb llistes de tasques. S'ha definit una llista per cada possible estat d'una tasca: preparada, en procés, test i done. I s'han anat transicionant en aquest mateix ordre, des de preparada fins a done.

5. Planificació temporal

Amb la finalitat d'assolir els objectius i acabar aquest treball de fi de grau en la data estimada és necessari fer una bona planificació temporal.

Aquest treball ha començat el dia 19 de setembre de 2022 i la seva finalització està prevista per el dia 23 de gener de 2023. La dedicació diària ha estat d'aproximadament 4 hores. Considerant que el desenvolupament del projecte ha durat un total de 126 dies, la dedicació total és de 540 hores aproximadament.

5.1. Descripció de les tasques

En aquesta secció es detallen les tasques necessàries per a la realització del projecte. S'han agrupat les tasques en diferents blocs.

GP - Gestió del projecte

GP1 - Contextualització i abast. Correspon al primer lliurament del curs de gestió de projectes. Conté la contextualització, la justificació de la solució, la definició dels objectius, els possibles obstacles i la metodologia que s'ha seguit. La duració ha estat de 35 hores aproximadament.

GP2 - Planificació. Correspon al segon lliurament del curs de gestió de projectes. El document es descriu la planificació temporal del projecte. La duració aproximada ha estat de 25 hores.

GP3 - Gestió econòmica i anàlisi de sostenibilitat. Correspon al tercer lliurament del curs de gestió de projectes. En aquest entregable es fa un pressupost del projecte i un informe de sostenibilitat. La duració aproximada ha estat de 20 hores.

GP4 - Documentació. Memòria del projecte. Duració aproximada de 100 hores.

GP5 - Reunions. Per a fer un correcte seguiment del projecte i assolir els objectius setmanals, caldrà fer reunions amb el tutor. El treball ha durat aproximadament 18 setmanes. La durada total d'aquesta tasca ha estat de 10 hores aproximadament.

GP6 - Presentació. Preparació de la presentació que es farà davant d'un tribunal. La duració aproximada d'aquesta tasca ha estat de 30 hores.

TP - Treball previ

TP1 - Preparació d'entorn. La preparació d'un entorn de RV implica la configuració de diversos dispositius i aplicacions. Per aquest motiu s'ha creat una tasca destinada a la preparació de l'equip i instal·lació del programari necessari. Aquesta tasca ha durat 15 hores aproximadament.

TP2 - Familiarització amb IATK. El desenvolupament s'ha fet partint del software IATK, per això és vital familiar-se amb aquesta eina. Aquesta tasca ha durat 25 hores aproximadament.

DP - Desenvolupament del plug-in

DP1 - Creació de shaders. Aquest és el primer pas per a poder crear els heatmaps i heightmaps. L'objectiu d'aquesta tasca és crear uns shaders que s'encarreguin de processar el color de cada visualització. La duració de la tasca és de 30 hores.

DP2 - Automatització de l'obtenció de les dades. Implementació d'un mòdul que sigui capaç de llegir un fitxer csv. Posteriorment, les dades obtingudes s'han processat i adequat a cada tècnica de visualització. La tasca ha durat 20 hores.

DP3 - Implementació de les tècniques de visualització. A partir dels shaders i les dades adequades, s'ha dut a terme la implementació de cadascuna de les

tècniques en la plataforma Unity. En total la tasca ha tingut una duració aproximada de 40 hores.

DP4 - Integració amb IATK. Les tècniques implementades s'han implementat per a que siguin configurables (alçada, color) per poder crear diferents visualitzacions sobre les mateixes dades. La tasca ha tingut una durada aproximada de 40 hores.

DP5 - Proves de validació. Abans de fer l'estudi amb usuaris és necessari provar la solució implementada i comprovar que és consistent. En aquesta tasca s'han provat tots els casos d'ús. També s'ha validat si l'extensió s'integra correctament amb el software existent. La tasca ha durat 20 hores aproximadament.

EU - Estudi amb usuaris

EU1 - Selecció de les dades. Processament de les dades que s'han utilitzat per fer l'estudi, seran dades que segueixin certs patrons o formin clústers. Les dades s'han adequat a cada tècnica. Aquesta tasca ha tingut una durada aproximada de 25 hores.

EU2 - Creació de visualitzacions. Un cop seleccionades les dades s'han creat una aplicació RV on les escenes mostren les visualitzacions creades. Aquesta ha tingut una estimació total de 45 hores.

EU3 - Estudi. Les visualitzacions creades s'han utilitzat per a fer els tests d'usuari. Aquesta tasca inclou la part més experimental. Aquesta tasca ha durat unes 35 hores aproximadament.

EU4 - Avaluació. Estudi de les dades recollides i experiències dels usuaris. Aquesta tasca ha durat un total de 35 hores.

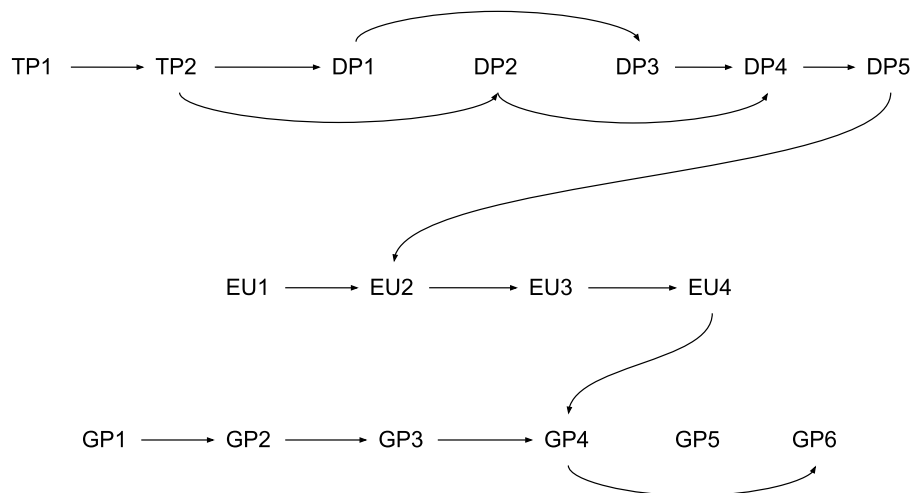


Figura 4: Dependències entre les tasques del projecte. Elaboració pròpia.

5.2. Recursos

A continuació es detallaran els recursos necessaris per al desenvolupament de les tasques. Existeixen dos tipus de recursos, els humans i els materials.

5.2.1. Recursos humans

Considerant que aquest és un treball individual, l'estudiant assumeix el rol d'investigador, desenvolupador, analista i cap de projecte. També ha estat l'encarregat de fer la documentació i la presentació del treball davant d'un tribunal.

Per a poder dur a terme algunes tasques, ha estat necessària la col·laboració de persones externes o testers que han participat en l'estudi.

L'estudiant ha rebut ajuda del director i codirector del projecte. El tutor del curs de gestió de projectes també ha ajudat a l'estudiant a supervisar la correctesa de la documentació.

5.2.2. Recursos materials

Seguidament, es llistaran els recursos necessaris per a la realització del projecte. En primer lloc, es descriuran els recursos de hardware.

1. Portàtil - Ordinador portàtil per a realitzar les tasques de gestió del projecte, implementació, anàlisis i documentació.
2. Cascos HTC Vive - Cascos de realitat virtual, necessaris per implementar i realitzar l'estudi amb usuaris.

També seran necessaris els següents recursos de software:

1. Unity - Entorn de desenvolupament.
2. IATK: Immersive Analytics Toolkit - Software per al qual es desenvoluparà l'extensió.
3. Visual Studio Code - Editor de codi desenvolupat per Microsoft.
4. Google Drive - Eina utilitzada per a l'elaboració de la memòria del projecte.
5. Github - S'utilitzarà com a repositori i eina de control de versions.
6. Trello - Per al seguiment i organització de les tasques.
7. Google Meet - Eina que s'utilitzarà per a les videotrucades. Per a poder fer les reunions de seguiment a distància.

Recurs	Tasca
Portàtil	Totes
Cascos HTC Vive	TP1, TP2, DP1, DP2, DP3, DP4, DP5, EU2, EU3

Unity	TP1, TP2, DP1, DP2, DP3, DP4, DP5, EU2, EU3
IATK	TP1, TP2, DP1, DP2, DP3, DP4, DP5, EU2, EU3
Visual Studio Code	DP1, DP2, DP3, DP4, DP5
Google Drive	GP1, GP2, GP3, GP4, GP6, EU3, EU4
Github	DP1, DP2, DP3, DP4, DP5
Trello	Totes
Google Meet	GP5

Figura 5: Taula dels recursos necessaris per cada tasca. Elaboració pròpia.

5.3. Taula de tasques i diagrama de Gantt

ID	Tasca	Duració	Dependències	Recursos
GP	Gestió del projecte	215h	-	-
GP1	Contextualització i abast	30h	-	Drive
GP2	Planificació	25h	GP1	Drive
GP3	Gestió econòmica i anàlisi de sostenibilitat	20h	GP2	Drive
GP4	Documentació	100h	GP3, EU4	Drive
GP5	Reunions	10h	-	Meet
GP6	Presentació	30h	GP4	Drive
TP	Treball previ	40h	-	-
TP1	Preparació d'entorn	15h	-	Unity, IATK, HTC Vive
TP2	Familiarització amb IATK	25h	TP1	Unity, IATK, HTC Vive
DP	Desenvolupament del plug-in	150h	-	-
DP1	Creació de shaders	30h	TP2	Unity, IATK, Visual Studio
DP2	Automatització de l'obtenció de les dades	20h	TP2	Unity, IATK, Visual Studio
DP3	Implementació de les tècniques de visualització	40h	DP1	Unity, IATK, Visual Studio

DP4	Integració amb IATK	40h	DP2, DP3	Unity, IATK, Visual Studio
DP5	Proves de validació	20h	DP4	Unity, IATK, Visual Studio, HTC Vive
EU	Estudi amb usuaris	140h	-	-
EU1	Selecció de les dades	25h	-	-
EU2	Creació de les visualitzacions	45h	EU1, DP5	Unity, IATK, Visual Studio, HTC Vive
EU3	Estudi	35h	EU2	Drive, Unity, IATK, HTC Vive
EU4	Avaluació	35h	EU3	Drive

Figura 6: Taula resum de les tasques definides. Elaboració pròpia.

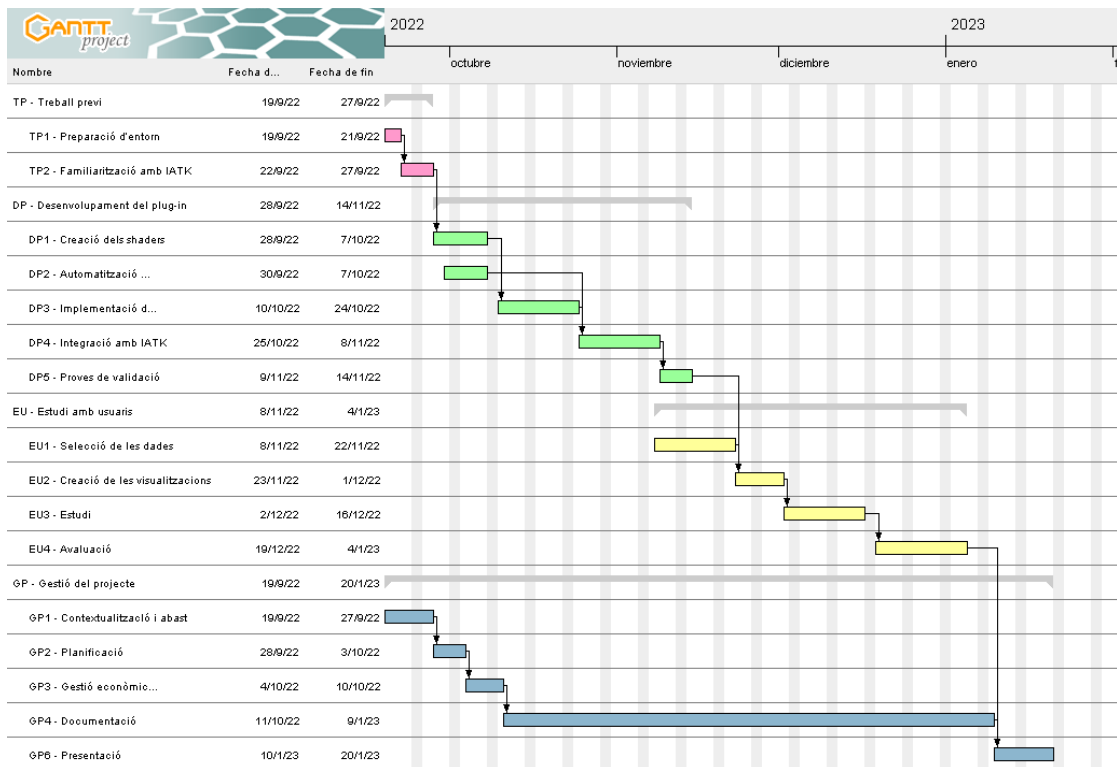


Figura 7: Diagrama de Gantt. Elaboració pròpia.

5.4. Gestió de riscos

En un projecte d'aquestes característiques, és fonamental anticipar-se als riscos i als possibles obstacles. En aquesta secció es descriuran tots els riscos que s'han previst a l'inici del projecte.

5.4.1. Impossibilitat d'assolir una representació convencional

Els heightmaps se solen representar amb una corba 3D i creació d'uns shaders que s'adeqüin a aquesta tècnica pot suposar un problema per al desenvolupador. Com a alternativa es va proposar l'adaptació utilitzant barres 3D. Per a dur-ho a terme es podien reutilitzar els shaders de barres que ja utilitza IATK. En aquest cas la tasca afectada és la DP1, que hagués tingut una durada d'entre 15 i 20 hores addicionals.

5.4.2. Integració amb el software IATK

Entre les diverses funcionalitats, IATK ofereix la possibilitat de crear escenes de RV que permetin combinar múltiples tècniques de visualització. És important que les tècniques s'adaptin a les funcionalitats existents. Durant el procés de desenvolupament podrien haver aparegut bugs o errors que haguessin afectat en la durada de les tasques DP4 i DP5. Finalment no s'ha augmentat la durada d'aquestes tasques.

5.4.3. Experimentació amb usuaris

Els estudis en entorns de realitat virtual són costosos de fer. Més enllà de la implementació, cal dissenyar un estudi amb usuaris. Pot ser difícil trobar voluntaris suficients per obtenir uns resultats prou representatius. En aquest cas caldria redissenyar els experiments i tests d'usuari. Això hagués pogut comportar una durada adicional de 5 hores en la tasca EU2 i 10 hores en la tasca EU3.

5.4.4. Disponibilitat dels cascos RV

A l'inici del projecte es va tenir en compte que no sempre es disposaria dels cascos de RV del centre. Aquesta limitació hagués pogut afectar negativament i repercutir en el desenvolupament del projecte. Més endavant s'explicarà com s'ha solucionat aquest problema.

6. Desenvolupament del plug-in

La primera part del projecte es basa en el desenvolupament i implementació de les tècniques de visualització que posteriorment s'avaluaran en l'estudi de percepció. S'han implementat sobre el projecte *Immersive Analytics Toolkit*.

Aquest projecte està desenvolupat per a la plataforma Unity. A continuació, es farà una breu introducció de la plataforma i el seu funcionament.

Seguidament, es tractaran les principals funcionalitats del projecte i es documentarà l'estratègia que s'ha seguit per a implementar les dues tècniques de visualització.

6.1. Introducció a Unity

Unity és una plataforma de desenvolupament 3D en temps real que permet que artistes, dissenyadors i desenvolupadors col·laborin crear aplicacions en 2D i 3D, com ara jocs i simulacions. Aquesta plataforma també permet crear experiències immersives i interactives a través d'una interfície gràfica.

L'editor Unity inclou una sèrie d'eines i funcions que faciliten la creació i el desenvolupament de jocs, com ara una vista de jerarquia, una vista d'escena, una finestra d'inspector i una consola per a la depuració.

Es tracta d'una plataforma de programació orientada a objectes (OOP). Això vol dir que es basa en la idea d'organitzar tot el codi en classes.

Aquest editor permet crear i organitzar els objectes dins d'una escena, seguint una jerarquia. Els objectes poden ser personatges, escenaris o continguts interactius, entre d'altres.

Tots els elements del món són objectes i els components en descriuen el seu comportament. Un exemple de component és el *Transform component*, que permet posicionar, girar i escalar qualsevol objecte.

La mateixa plataforma ofereix molts tipus de components integrats diferents, però per definir un comportament més complex i personalitzat, es poden crear scripts en codi C# o UnityScript.

Pel que fa al desenvolupament d'aplicacions de Realitat Virtual, Unity és una eina que se sol utilitzar per tenir un suport integrat, una gran comunitat i suportar una gran varietat de dispositius com ara Oculus, HTC Vive o Playstation VR.

6.2. Introducció a IATK

Immersive Analytics Toolkit (IATK) és un projecte Unity open source que permet crear visualitzacions de dades interactives i escalables d'alta qualitat en entorns immersius. Sobre aquest projecte es poden escriure scripts senzills per utilitzar els components gràfics bàsics de IATK i així crear visualitzacions interactives i programables.

Entre les visualitzacions simples, IATK suporta scatterplots, barcharts, trajectories, diagrames de línies i parallel coordinates plots (PCPs). També permet crear matrius bidimensionals i tridimensionals de tipus scatterplot.

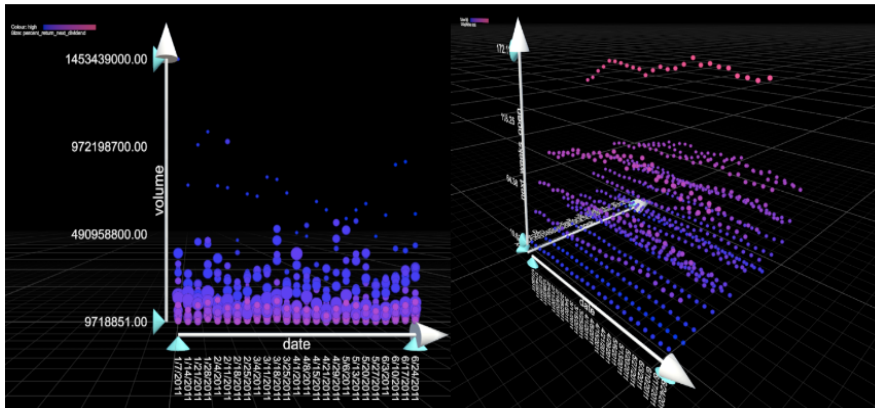


Figura 8. Visualitzacions de tipus scatterplot creades amb IATK.
A l'esquerra un scatterplot bidimensional i a la dreta un scatterplot tridimensional. [1]

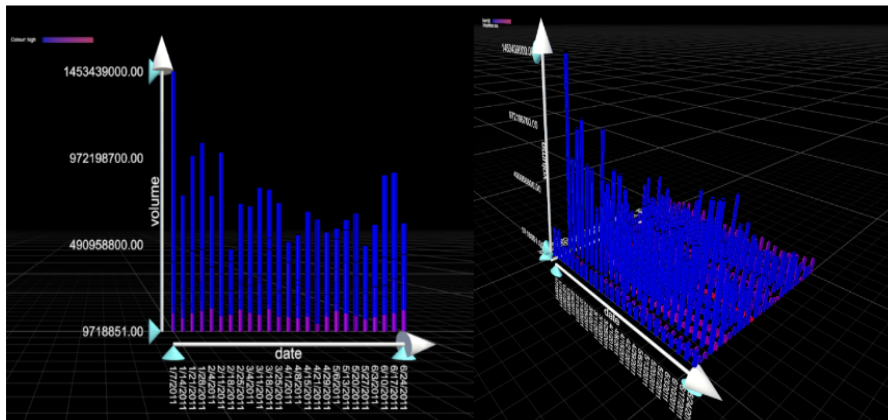


Figura 9. Visualitzacions de tipus barchart creades amb IATK.
A l'esquerra un barchart bidimensional i a la dreta un barchart tridimensional. [1]

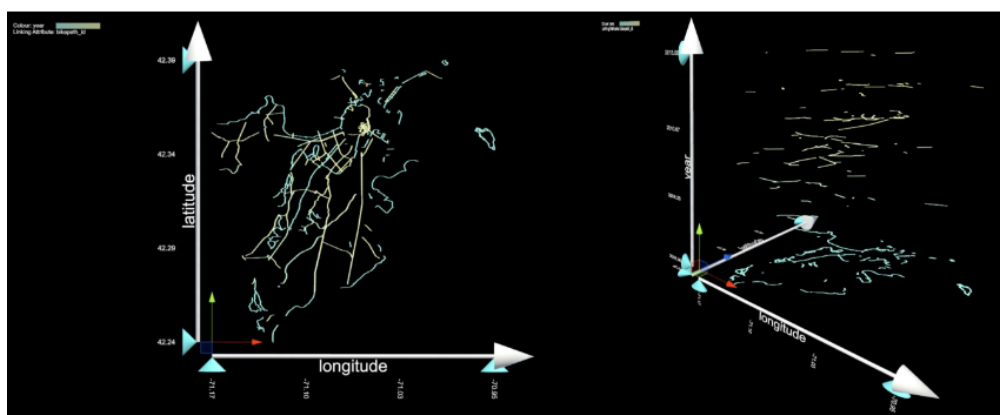


Figura 10. Visualitzacions de trajectories creades amb IATK.
En dues i tres dimensions. [1]

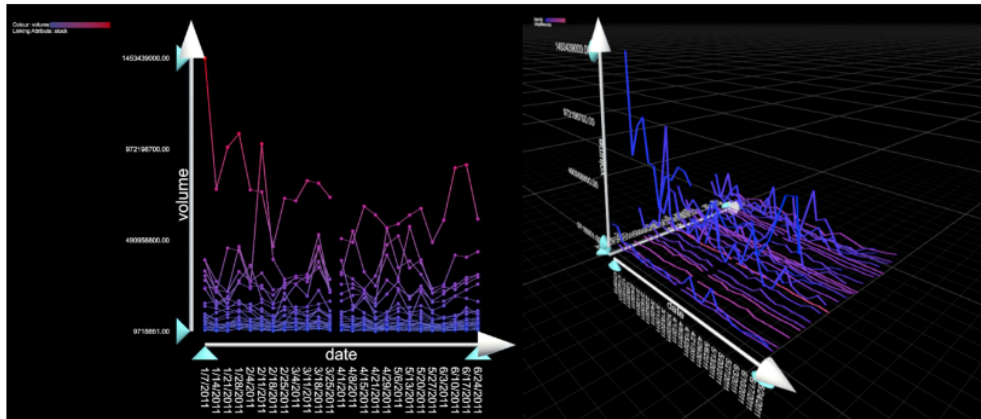


Figura 11. Visualitzacions de diagrames de línies creats amb IATK. En dues i tres dimensions. [1]

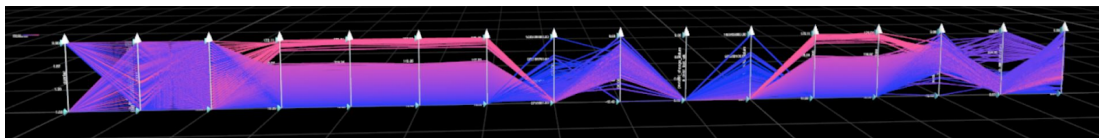


Figura 12. Visualització de Parallel Coordinates Plots (PCPs) creada amb IATK. [1]

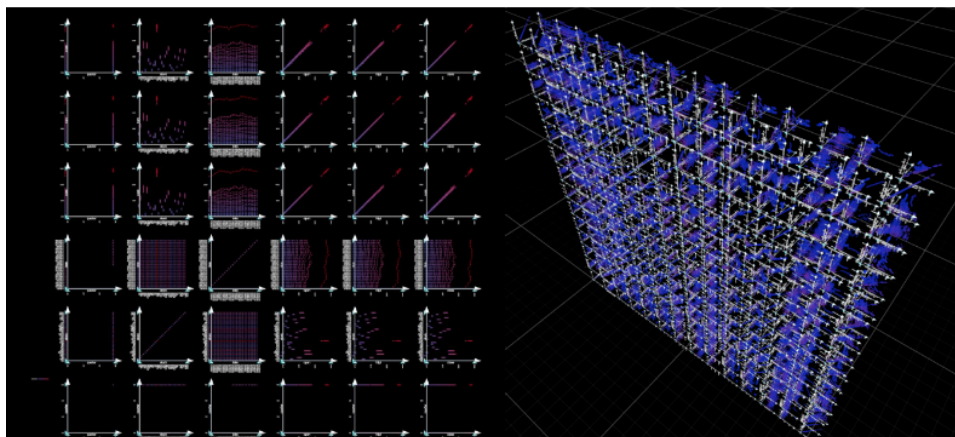


Figura 13. Matrius de tipus scatterplot creades amb IATK.

A l'esquerra un una matriu bidimensional i a la dreta una matriu tridimensional. [1]

A més a més, amb aquest software es poden crear visualitzacions connectades a través d'enllaços visuals. A continuació veiem un exemple de dues visualitzacions enllaçades.

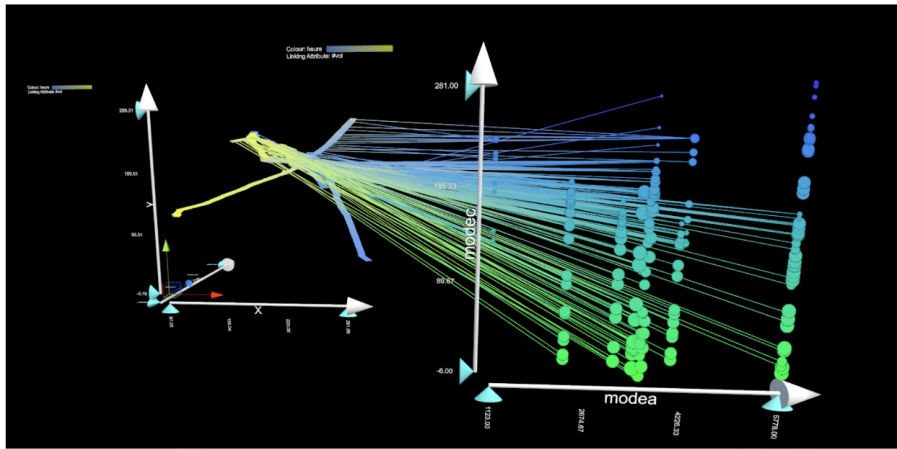


Figura 14. Visualització de trajectories enllaçada amb un scatterplot. [1]

IATK també ens ofereix la possibilitat de pintar les nostres visualitzacions. En la següent figura es poden observar dos exemples.

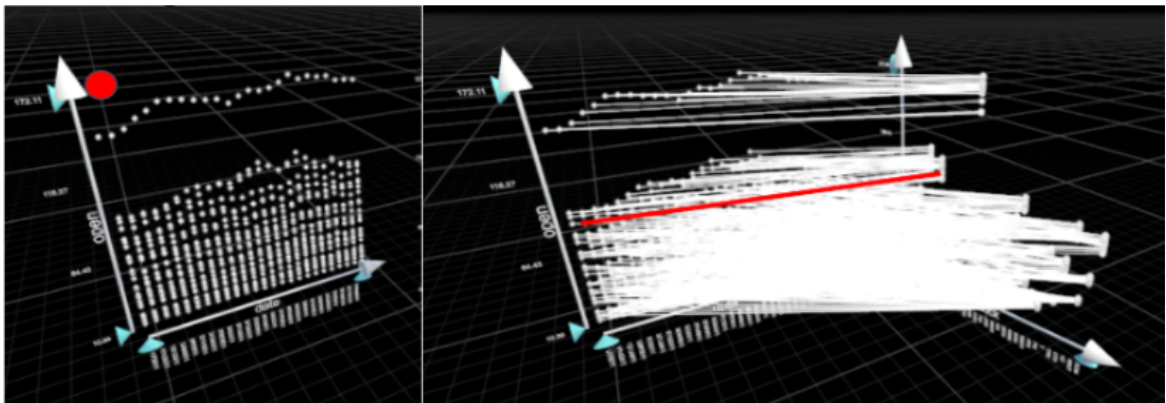


Figura 15. Les dues maneres de pintar visualitzacions creades amb IATK. A l'esquerra un punt pintat en un scatterplot bidimensional. A la dreta veiem un enllaç pintat entre dos scatterplots enllaçats . [1]

IATK no deixa de ser una eina que ens facilita la creació i configuració de visualitzacions. Aquestes es construeixen seguint la següent estructura per capes.

Visualització	
Vista (Builder)	
Shaders	Data utils

Figura 16. Estructura per capes d'una visualització creada amb IATK. Elaboració pròpia.

- Visualització: aquest component permet dissenyar la visualització dins de l'editor Unity. Des de la visualització es poden configurar elements com la dimensió de cada variable, la geometria, el color o la mida.
- Vista (Builder): per construir una visualització a partir de codi s'utilitza la classe ViewBuilder, que retorna una vista. Des d'aquesta, es poden modificar atributs com colors, materials, posicions o mides.
- Shaders: s'utilitzen per representar les dades de manera ràpida i eficient. Estan personalitzats per a cada visualització (línies gruixudes, punts/esferes, cubs/barres).
- Data utils: permet importar les dades de text a Unity i té un conjunt de mètodes per accedir a les dades per atribut, identificador, dimensió, etc.

Amb aquesta estructura, IATK ofereix la possibilitat de crear visualitzacions de dues maneres. En primer lloc, des del mateix editor Unity, aquesta manera no requereix programar, ja que es basa únicament en la manipulació de l'editor.

D'altra banda, també es poden crear visualitzacions més personalitzades a través de scripts en codi C#.

Cal remarcar que IATK és un projecte que escala amb el nombre de punts a visualitzar i està dissenyat per suportar visualitzacions amb dades de grans dimensions. Sovint cal complementar IATK amb altres tecnologies com Python, R o Excel per netejar, ordenar i transformar les dades abans de poder-les visualitzar.

Com ja s'ha comentat anteriorment, aquest és un projecte open source. I ha estat desenvolupat per Maxime Cordeil, Andrew Cunningham, Benjamin Lee i Daniel Harris. S'espera que pròximament el projecte suporti visualitzacions de grafs bidimensionals i tridimensionals, nous tipus de dades i noves geometries com superfícies o volums.

6.3. Implementació de les noves tècniques de visualització

Tal com s'ha definit anteriorment, un dels objectius principals és implementar una extensió de IATK que permeti crear visualitzacions Heatmap i Heightmap de les dues maneres possibles, des del mateix editor o a través d'un script.

Com a requeriment essencial, les dues noves tècniques s'han de poder configurar de la mateixa manera que les tècniques ja implementades. Per aquest motiu, en la implementació s'ha pres com a referència la tècnica Scatterplot, ja suportada per IATK.

6.3.1. Obtenció de vèrtexs en l'espai

Per a construir un nou tipus de visualització el que primer s'ha de plantejar és com obtenir les dades que es volen representar. Actualment, IATK ja ofereix eines per obtenir, emmagatzemar i accedir a aquestes dades. L'objecte DataSource permet importar les dades d'un fitxer de text a Unity. Un cop carregades les dades, ja es poden assignar a un objecte visualització. A través del component Visualisation, IATK accedeix al DataSource associat i permet a l'usuari assignar cada variable a una dimensió per posteriorment crear els eixos x, y i z. Gràcies a la classe ViewBuilder, es podrà accedir a la llista de vèrtexs carregats. La llista ve donada en l'ordre de lectura i cada vèrtex és un vector que representa la posició en l'espai (x, y, z). Amb aquests vèrtexs s'utilitzaran per a dibuixar cadascuna de les noves visualitzacions.

6.3.2. Tècnica Heightmap

En la visualització de tipus Heightmap les dades es representen amb una superfície tridimensional pintada amb un gradient de color.

Per a dibuixar la superfície s'han utilitzat els components MeshFilter i MeshRenderer, que s'utilitzen per definir la forma i aparença d'un objecte 3D a Unity. Tots els objectes 3D tenen una malla. Una malla és una col·lecció de vèrtexs, arestes i cares que defineixen la forma d'un objecte a l'espai 3D. Seguidament, es documentarà com s'ha creat i pintat la malla de la superfície 3D.

6.3.2.1. Creació de la malla

La malla de la superfície estarà formada per triangles, cares de 3 vèrtexs. Així doncs, per a crear-la caldrà definir quins seran els vèrtexs i com s'associaran, és a dir, quins triangles formaran.

Els vèrtexs que formaran la malla són els mateixos que s'obtenen tal com s'explica en la secció anterior. A continuació es mostrarà el pseudocodi de l'algorisme que s'ha utilitzat per definir l'ordre en què s'associaran els vèrtexs.

```

int[] getHeightmapIndices(int n, int m) {

    int[] indices = new int[(n - 1) * (m - 1) * 6];

    int vert = 0;
    int tris = 0;

    for (int x = 0; x < n - 1; x++) {
        for (int z = 0; z < m - 1; z++) {
            indices[tris] = vert + 1;
            indices[tris + 1] = vert + m;
            indices[tris + 2] = vert;
            indices[tris + 3] = vert + 1;
            indices[tris + 4] = vert + m + 1;
            indices[tris + 5] = vert + m;
            vert++;
            tris += 6;
        }
        vert++;
    }

    return indices;
}

```

Figura 17. Pseudocodi de l'obtenció de l'ordre en què s'han de recórrer els vèrtexs per obtenir els triangles de la malla. Elaboració pròpia.

On n és el nombre de vèrtexs de la variable associada a l'eix X i m és el de la variable associada a l'eix Z. La malla es construeix per files i per cada iteració del bucle intern es defineixen dos triangles que formen un quadrat. Hi haurà $n - 1$ files i cada fila contindrà $m - 1$ quadrats. Es tracta d'un algorisme de cost $O(n * m)$.

Donada una llista de 9 vèrtexs, en el cas de voler construir una malla de mida 3x3, l'ordre en què es recorren els vèrtexs es defineix de la següent manera.

Per cada iteració del bucle intern, primer es recorren els vèrtexs que formen el triangle superior i posteriorment els del triangle inferior, sempre començant pel mateix vèrtex. Per a la iteració 0, el triangle superior es recorrerà en l'ordre [1, 3, 0] i el triangle inferior en l'ordre [1, 4, 3]. Al completar un quadrat, augmenta el valor del primer vèrtex del cicle en una unitat.

Un cop s'hagi completat una iteració del bucle extern, és a dir una fila de quadrats, caldrà sumar una unitat extra a la variable *vert* per evitar que no es formin triangles entre els vèrtexs del final d'una fila i els del principi de la següent. En aquest cas, això es faria entre la iteració 2 i 3. L'últim quadrat de la primera fila es comença a recórrer pel vèrtex 2,

mentre que el primer quadrat de la segona fila comença a partir del vèrtex 4 en comptes del 3.

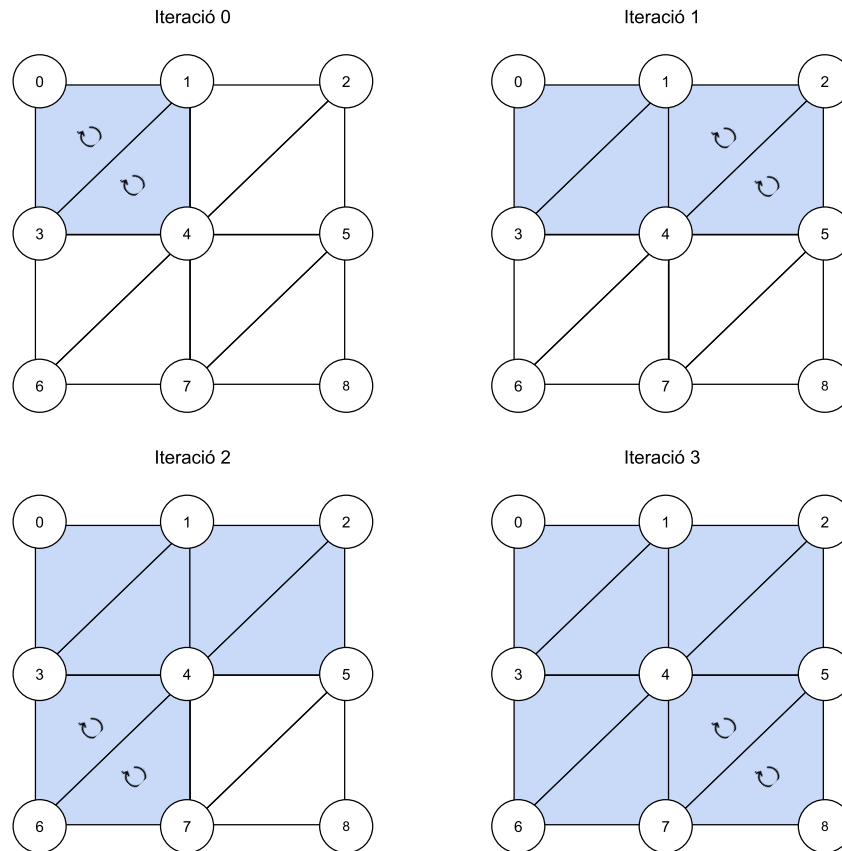


Figura 18. Figura il·lustrativa que mostra l'ordre en que es recorren els vèrtexs per cada iteració del bucle intern. Elaboració pròpia.

Així doncs, l'ordre resultant d'aquest exemple seria el següent: [1, 3, 0, 1, 4, 3, 2, 4, 1, 2, 5, 4, 4, 6, 3, 4, 7, 6, 5, 7, 4, 5, 8, 7]. Com que la malla està formada per $(n - 1) * (m - 1)$ quadrats i cada quadrat està format per 2 triangles, la llista resultant és de mida $(n - 1) * (m - 1) * 6$.

6.3.2.2. Gradient de color

Per a pintar la malla primer caldrà calcular el color que s'haurà d'assignar a cadascun dels seus vèrtexs. El color de cada vèrtex dependrà únicament de la seva alçada, seguint una escala de colors. Per a definir una escala de colors amb transicions suaus entre colors, es farà ús d'un gradient de color. S'utilitzarà la classe Gradient de Unity. En la següent figura es pot observar l'editor Unity d'un gradient de color que representa una escala de blaus.

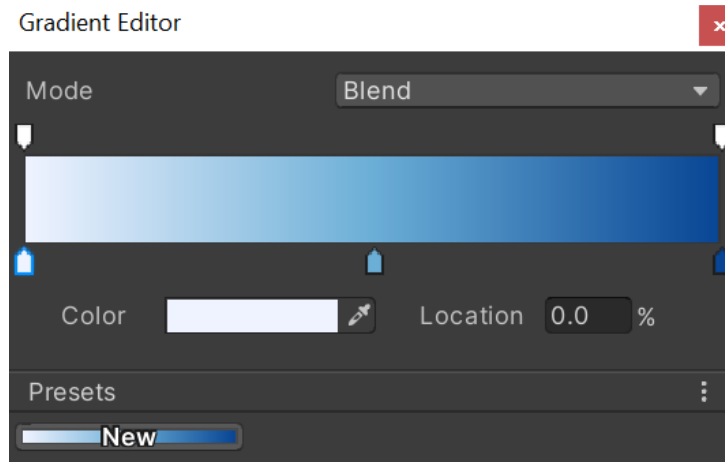


Figura 19. Gradient d'escala de blaus. Elaboració pròpia.

L'objectiu és pintar la superfície segons el relleu, en aquest cas els vèrtexs de major alçada tindran associat un blau més fosc. En canvi, els vèrtexs de menor alçada seran d'un blau més clar.

Per associar cada vèrtex al color que li correspon, primer es normalitzaran les alçades dels vèrtexs en un rang entre 0 i 1, seguint la següent fórmula.

$$h_i = \frac{y_i - \min(y)}{\max(y) - \min(y)}$$

On $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ representa la llista de les alçades dels n vèrtexs donats, $\max(y)$ l'alçada màxima i $\min(y)$ la mínima.

Seguidament, s'utilitzarà la funció *Gradient.Evaluate*, que calcula el color definit en el gradient donada una clau entre 0 i 1. Aquest mètode rebrà com a paràmetre l'alçada normalitzada i retornarà el respectiu color associat. Per exemple, sigui $0 \leq k < n$ on y_k és un vèrtex amb alçada màxima, llavors es té que $h_k = 1$. Per a un gradient g com el de la figura anterior, el mètode $g.Evaluate(h_k)$ retornarà el color blau més fosc. És així com s'obté la llista dels colors assignats a cadascun dels vèrtexs de la malla.

6.3.2.3. Renderització de la malla

L'encarregat de renderitzar la malla associada al MeshFilter és el component MeshRenderer, que és el que envia els vèrtexs, triangles i colors al pipeline de gràfics. A aquest component se li assigna un material que inclou una referència al shader que calcularà el color dels píxels de la malla.

A Unity els shaders es programen en el llenguatge Cg. Tant Unity com IATK, ofereixen shaders ja creats. No obstant això, s'ha optat per programar uns nous shaders que es limitin a fer aquelles tasques considerades indispensables. En la següent figura es poden veure els shaders utilitzats per a les visualitzacions Heightmap.

```
CGPROGRAM
#pragma vertex VS_Main
#pragma fragment FS_Main

struct VS_INPUT {
    float4 vertex : POSITION;
    float4 color : COLOR;
};

struct v2f {
    float4 position : SV_POSITION;
    float4 color : COLOR;
};

// Vertex Shader
v2f VS_Main(VS_INPUT v) {
    v2f o;
    o.color = v.color;
    o.position = UnityObjectToClipPos(v.vertex);
    return o;
}

// Fragment Shader
float4 FS_Main (v2f input) : COLOR {
    return input.color;
}
ENDCG
```

Figura 20. Shaders utilitzats per a la representació de la superfície 3D.

Elaboració pròpia.

El vèrtex shader rep una estructura amb la posició del vèrtex i el color que se li ha assignat, tal com s'ha explicat en la secció anterior. El vertex shader s'encarrega de transformar les posicions dels vèrtexs en l'espai a coordenades de "clip space". Un cop ha acabat, el vertex envia al fragment una estructura v2f que conté el color i la posició transformada. Finalment, el fragment shader calcula i retorna un float4 que representa el color final de cada píxel de la malla renderitzada.

6.3.3. Tècnica Heatmap

Tal com s'ha vist a la figura 2, en una visualització de tipus Heatmap les dades es representen mitjançant una quadrícula i una llegenda amb l'escala de colors de referència. Així doncs, per a dibuixar un Heatmap caldrà crear aquests dos objectes per separat amb les seves respectives malles.

6.3.3.1. Creació de la quadrícula

En un Heatmap les magnituds es distribueixen en una quadrícula on la mida de cada cel·la és fixa. Aquesta quadrícula estarà formada per una malla de punts que s'associaran per a crear un pla que contingui els eixos X i Y.

Per a crear aquest pla, primer cal obtenir les posicions dels vèrtexs coordenades en l'espai. S'utilitzaran els mateixos vèrtexs que s'obtenen la secció 8.3.1, però es farà un processat addicional. L'objectiu serà transformar les posicions dels vèrtexs per a que aquests estiguin continguts en un pla XY.

Per a reduir els vèrtexs de l'espai 3D a un pla 2D, es modificarà la seva alçada. Tots els vèrtexs passaran a tenir la mateixa alçada. Després d'aquesta transformació, s'obtindrà un conjunt de punts que formaran un pla XZ. Per aconseguir un pla XY cal girar aquest conjunt de punts 90° sobre l'eix X.

Dit d'una altra manera, es tractaria d'aplanar i rotar els punts abans de crear la malla que forma la superfície. Si es formessin dues superfícies, una amb el conjunt de punts inicials i l'altra amb el conjunt de punts transformats, la segona superfície es veuria igual que la primera vista des de sobre.

Un cop fet això, ja es podran fer servir els vèrtexs transformats per a crear la malla que representarà la quadrícula. La creació i pintat de la malla es farà igual que amb la tècnica Heightmap. Es recorreran els vèrtexs seguint l'algorisme descrit anteriorment. El color de cada vèrtex també s'associarà de la mateixa manera, per això caldrà utilitzar l'alçada dels vèrtexs abans d'aplicar la transformació. Pel que fa al càlcul del color, per a que no hi hagi diferències entre les dues tècniques, s'utilitzaran els mateixos shaders de l'apartat anterior.

6.3.3.2. Creació de la llegenda

En un Heatmap, la llegenda consisteix en una escala de colors, on cada color especifica un valor. Gràcies a la llegenda l'usuari pot entendre i interpretar les dades amb més facilitat. En aquest cas, la llegenda inclourà un gradient i un eix vertical amb informació dels colors que corresponen a cada rang de valors.

L'escala de colors s'ha construït a partir del gradient de color de la classe Gradient, que ja s'utilitza per a definir i associar el color de cada vèrtex de la malla. Quan es modifica el

gradient des de l'editor, també es modificarà l'escala de colors de la llegenda del Heatmap. El nou element que representarà el gradient visual, serà un objecte de forma rectangular que estarà en posició vertical i anirà acompanyat d'una escala de valors. A continuació, es detallarà com s'ha construït la malla de punts d'aquest rectangle a partir d'un gradient com el de la figura següent.

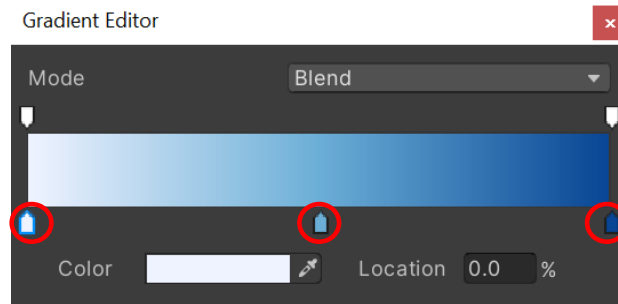


Figura 21. Exemple de la vista d'un gradient de 3 colors des de l'editor. Elaboració pròpia

Des de la vista de l'editor del gradient es pot observar una escala de blaus de 3 colors. Cada color es pot configurar des de cadascuna de les pestanyes encerclades, també anomenades *colorkeys*. Es poden afegir tants colors com sigui necessari.

Per a construir un rectangle que mostri els mateixos colors que el gradient configurat, es defineix un parell de vèrtexs per a cada *colorkey*. El rectangle tindrà una mida inicial i es col·locaran els vèrtexs a la mateixa posició que les *colorkeys*. Això es podrà fer gràcies a l'atribut *GradientColorKey.time*, que ens retornarà un valor entre 0 i 1 segons la posició de la *colorkey* en la configuració de l'editor. En aquest cas la malla estaria formada pels següents vèrtexs.

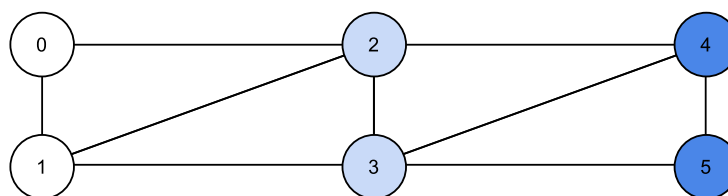


Figura 22. Exemple de de la malla d'un rectangle amb gradient de 3 colors. Elaboració pròpia.

Com s'ha observat en la figura anterior, cada parella de vèrtexs associats una *colorkey* es pinten d'un mateix color. Un cop definida la posició i el color de cada vèrtex, falta decidir en quin ordre s'hauran de recórrer els vèrtexs que formaran els triangles de la malla. A continuació es mostrarà el pseudocodi de l'algorisme que s'ha utilitzat per definir l'ordre en què s'associaran els vèrtexs.

```

int[] getLegendIndices() {
    int[] indices = new int[gradient.colorKeys.Length * 6];
    for (int i = 0; i < gradient.colorKeys.Length - 1; ++i) {
        indices[i * 6] = i * 2;
        indices[i * 6 + 1] = i * 2 + 2;
        indices[i * 6 + 2] = i * 2 + 1;
        indices[i * 6 + 3] = i * 2 + 2;
        indices[i * 6 + 4] = i * 2 + 3;
        indices[i * 6 + 5] = i * 2 + 1;
    }
    return indices;
}

```

Figura 23. Pseudocodi de l'obtenció de l'ordre en què s'han de recórrer els vèrtexs per obtenir els triangles de la malla del rectangle. Elaboració pròpia.

El recorregut es farà de la mateixa manera que en la construcció del pla XY, amb la diferència que només s'haurà de recórrer una fila. Per a cada iteració del bucle, es recorren 6 vèrtexs, els primers 3 formant el triangle superior i la resta el triangle inferior. Es construirà un quadrat per iteració. Sigui N el nombre de colorKeys definides en l'editor, aquest algorisme té un cost de $O(N)$.

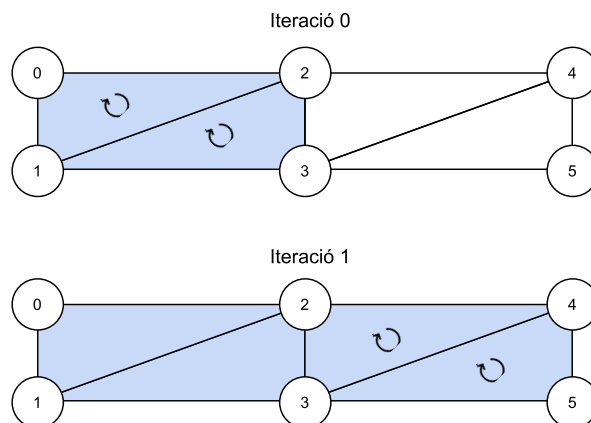


Figura 24. Figura il·lustrativa que mostra l'ordre en que es recorren els vèrtexs en un gradient de 3 colors. L'ordre resultant és la llista [0, 2, 1, 2, 3, 1, 2, 4, 3, 4, 5, 3].

Elaboració pròpia.

Un cop construïda la malla, s'utilitzaran els mateixos shaders que s'han fet servir per calcular el color de la quadrícula per garantir que es processi el color de la llegenda de la mateixa manera. Finalment, caldrà afegir l'eix dels valors que s'identifiquen amb cada color. Amb les eines que ja ofereix IATK, es crearà un eix que anirà vinculat a la variable

que es representa amb el color. L'eix es posicionarà i s'escalarà perquè coincideixi amb els valors representats en el nou rectangle gradient de color.

6.4. Exemples

En aquesta secció es crearà i configurarà una visualització de cada tipus sobre un mateix conjunt de dades. Per a l'exemple també s'utilitzarà una mateixa paleta de colors. En aquest cas es tractarà d'una escala de blaus. Per a crear aquest gradient s'han utilitzat els següents 3 colors en Hexadeximal: EFF3FF, 6BAED6, 084594.

S'ha escollit el dataset de "flights" de la llibreria *seaborn*, que conté el nombre de passatgers d'una aerolínia que van volar cada mes des del 1949 fins el 1960. Aquest conjunt de dades té tres variables (any, mes i nombre de passatgers).

Per a carregar les dades que es visualitzaran usant les dues tècniques, cal crear un nou objecte CSV Data Source. Això es podrà fer des de la pestanya de GameObject o fent clic dret directament sobre la jerarquia de Unity.

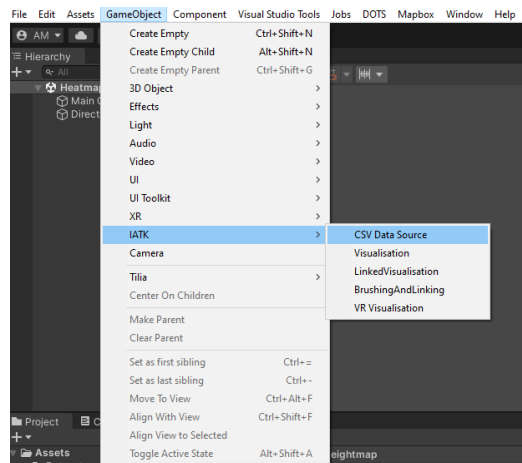


Figura 25. Captura de pantalla de la creació d'un objecte CSV Data Source. Elaboració pròpia.

Seguidament, s'haurà d'arrossegar el fitxer que contingui les dades en format CSV a sobre de l'atribut *Data*, tal com es mostra en la figura següent.

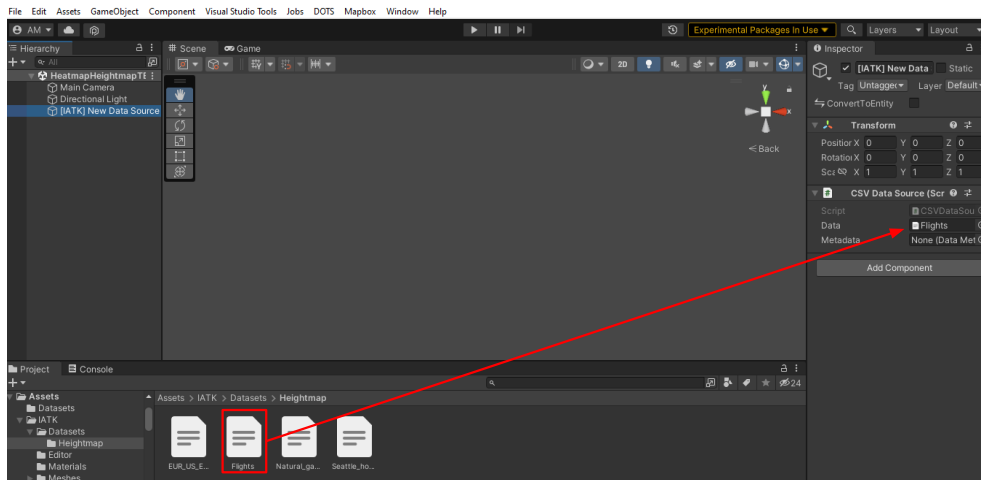


Figura 26. Captura de pantalla. Assignació del dataset a l'objecte CSV Data Source.
Elaboració pròpia.

Un cop fet això ja es podrà crear un objecte nou Visualisation al qual se li podrà assignar l'objecte CSV Data Source que acabem de crear. L'objecte que contindrà la visualització es podrà crear seleccionant l'opció "Visualisation" a l'obrir un desplegable com el de la figura 31. L'assignació es podrà fer arrossegant l'objecte *[IATK] New Data Source* sobre l'atribut *Data Source* dins del nou objecte *[IATK] New Visualisation*.

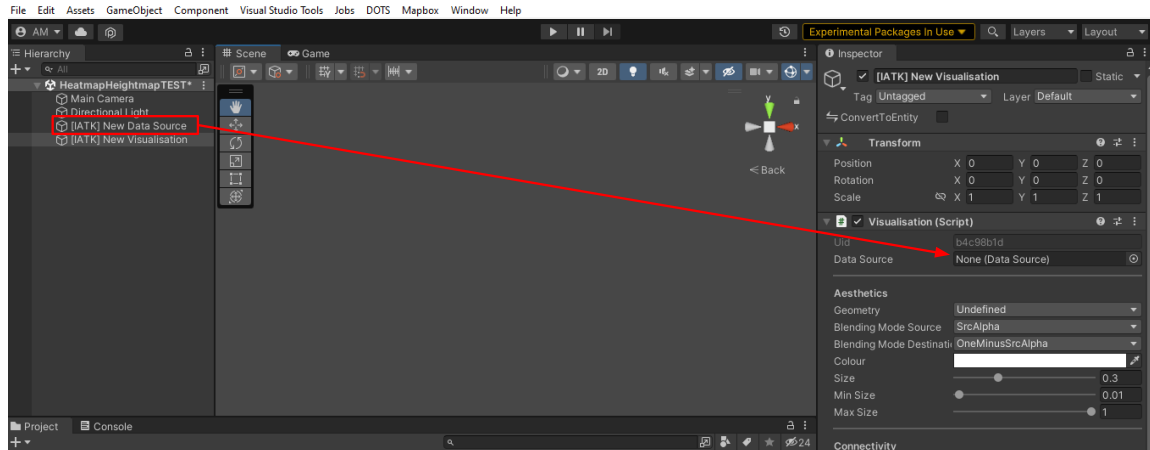


Figura 27. Captura de pantalla. Assignació de l'objecte CSV Data Source al nou objecte Visualisation.
Elaboració pròpia.

Seguidament, apareixerà l'opció amb un desplegable per a seleccionar el tipus de visualització que es vol crear.

6.4.1. Heatmap

Després de seleccionar l'opció *HEATMAP*, s'hauran d'assignar les variables a cada eix de coordenades. Per a l'eix X s'assignarà la variable "any" i per a l'eix Y la variable "mes".

S'utilitzarà l'eix Z per a representar la variable assignada al color, en aquest cas la variable "passatgers".

Des del component "Heatmap Visualisation" es podrà configurar la paleta de color que es vol utilitzar. Configurant la paleta que s'ha mencionat anteriorment, s'obté el següent Heatmap.

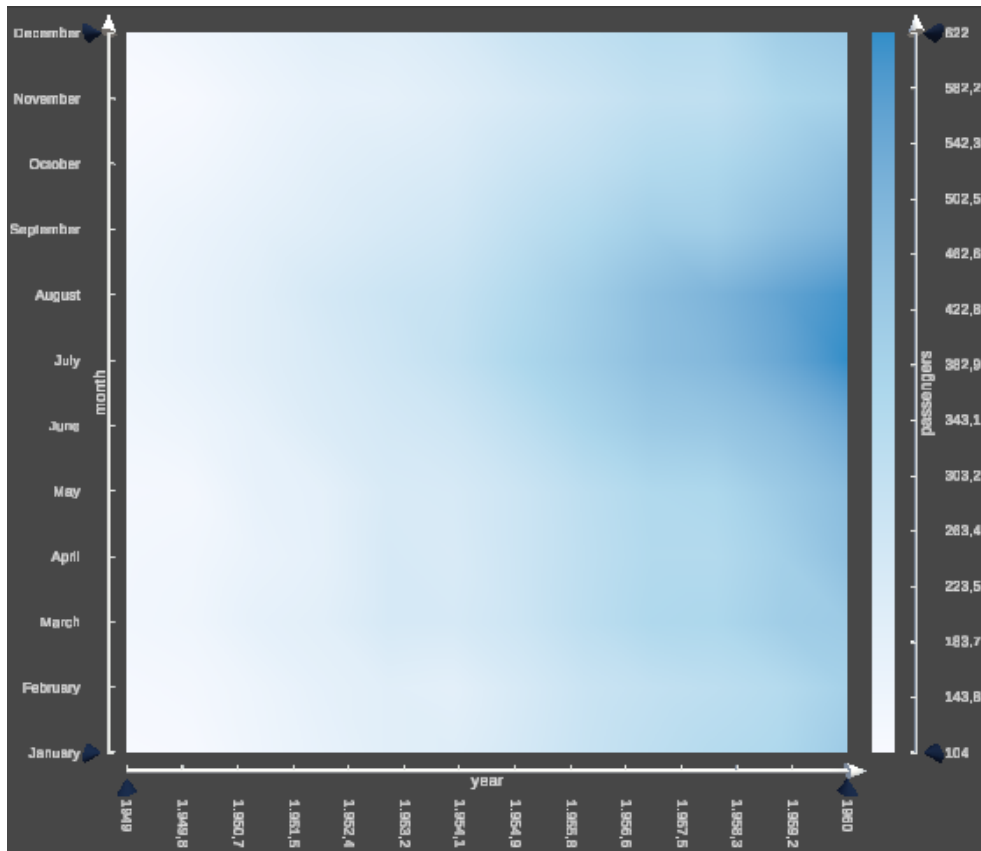


Figura 28. Captura de pantalla. Heatmap del dataset Flights, creat amb la nova extensió de IATK. Elaboració pròpia.

6.4.2. Heightmap

Després de seleccionar l'opció *HEIGHTMAP*, s'hauran d'assignar les variables a cada eix de coordenades. Per a l'eix X s'assignarà la variable "any" i per a l'eix Z la variable "mes". S'utilitzarà l'eix Y per a representar la variable "passatgers". Aquesta variable es representarà amb l'alçada i color.

Des del component "Heightmap Visualisation" es podrà configurar la paleta de color que es vol utilitzar. Configurant la paleta que s'ha mencionat anteriorment, s'obté el següent Heightmap.

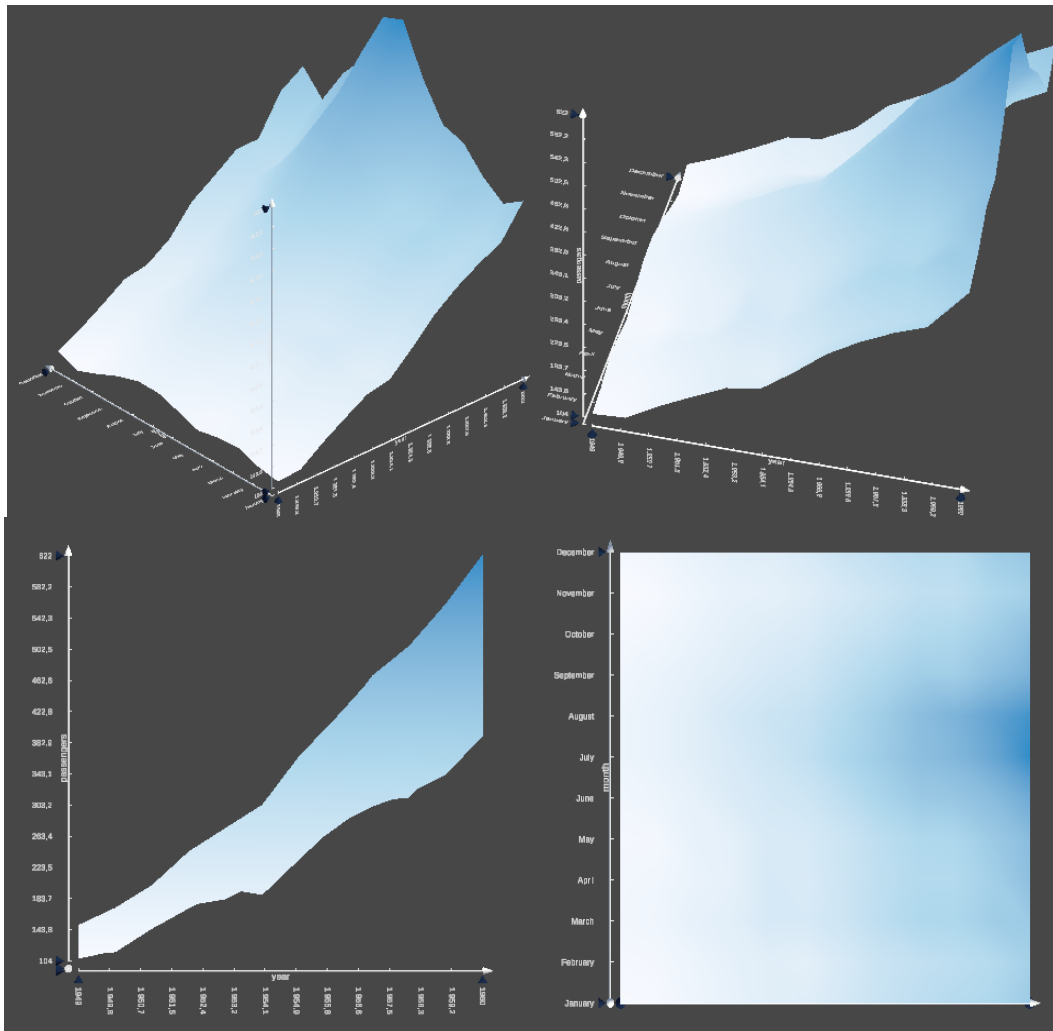


Figura 29. Captures de pantalla. Heightmap del dataset Flights vist des de diferents punts de vista. Creat amb la nova extensió de IATK. Elaboració pròpia.

7. Estudi

Els estudis de percepció investiguen com les persones perceben i interpreten dades representades de diverses maneres. Aquest projecte pretén avaluar i estudiar dades en un entorn de realitat virtual (RV). Més enllà de la implementació, cal avaluar i comparar les dues maneres de representar les dades, mitjançant mapes de calor (heatmaps) i mapes d'alçada (heightmaps).

Cal dir que s'ha enfocat l'estudi com a una ampliació del treball de fi de grau *Heatmap perception study* [17] realitzat per la Carolina Middel. En aquest anterior projecte, es fa un estudi de percepció sobre visualitzacions de mapes de calor bidimensionals (heatmaps). S'avalua el rendiment de tasques d'extracció i localització de valors. També s'estudia la percepció del nombre de clústers. Per aquest treball s'aprofiten les dades generades en el treball de la Carolina per a comparar les dues tècniques en un entorn de RV.

7.1. Estudis rellevants de RV

Són molt pocs els estudis de percepció relacionats amb l'ús de Heatmaps i Heightmaps en un entorn de RV. En aquest tipus d'estudis, es solen recopilar dades sobre com els participants perceben distàncies, altures i relacions espacials.

S'ha trobat el següent estudi relacionat: *Assessing 2D and 3D Heatmaps for Comparative Analysis: An Empirical Study* [6]. En aquest treball es presenta un prototip que permet comparar múltiples mapes de calor de 2D i 3D. I sobre aquest prototip, es realitza un estudi empíric sobre el rendiment en tasques de comparació entre Heatmaps i Heightmaps. A continuació s'adjunta l'exemple d'un cas d'ús sobre el prototip desenvolupat.

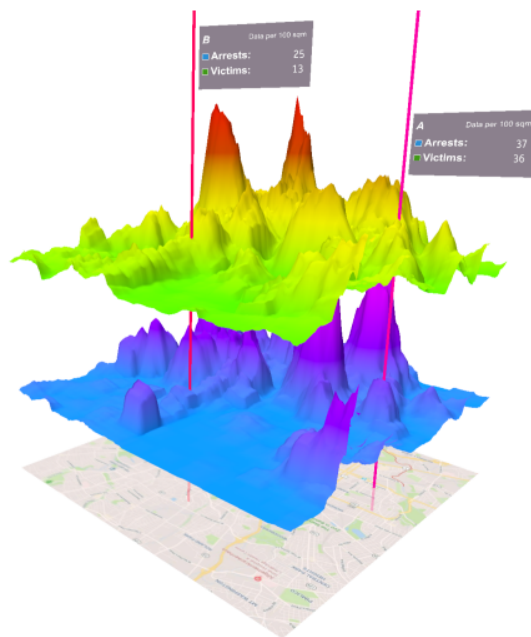


Figura 30. Mapes d'alçada apilats per a visualitzacions comparatives. Pera cada selecció de l'usuari, s'insereix un pilar verticalment perquè la mateixa posició es pugui identificar ràpidament en totes les altres capes. [6]

Per a cursar l'estudi mencionat, els participants van haver de fer tasques d'extracció i localització de valors en un prototip amb 2 mapes d'alçada sobreposats. Els resultats de l'estudi d'usuari indiquen que per a tasques d'extracció de valor i tasques de detecció, els mapes de calor 3D són més precisos, però requereixen més temps. Finalment, es conclou que els heightmaps poden ser adequats en tasques específiques d'anàlisi comparativa.

A diferència de l'estudi relacionat, en aquest projecte els participants realitzen únicament tasques d'extracció de valors. No es té en compte la percepció de distància entre dos punts ni la comparació entre múltiples visualitzacions simultàniament.

A més, en l'estudi d'usuari d'aquest projecte també es recopila informació sobre la usabilitat de les tècniques utilitzades i l'avaluació de les tasques. Es recull també informació demogràfica sobre els participants per a contextualitzar i entendre millor els resultats.

7.2. Disseny de l'experiment

Després d'aquesta breu introducció, en aquesta secció s'explicarà com s'ha dissenyat l'estudi d'usuari. Es detallarà quines dades s'han utilitzat, en què consistiran les tasques que hauran de realitzar els participants i com s'ha configurat cada tipus de visualització.

7.2.1. Dades utilitzades

Com s'ha comentat anteriorment, s'ha utilitzat les dades generades en el treball de la Carolina [17]. S'ha seleccionat un subconjunt dels 40 datasets generats. Els datasets es poden classificar en 4 categories en funció del nombre de clústers que contenen. Poden tenir 0, 1, 2, o 3 clústers. S'han escollit 5 datasets de cada categoria, 20 datasets en total.

7.2.2. Tasques assignades

A continuació es detallen les tasques assignades a cada participant en l'ordre d'execució.

7.2.2.1. Enquesta demogràfica

En primer lloc, per a poder participar l'usuari haurà d'acceptar les bases de l'estudi (consentiment informat). Un cop fet això, l'usuari ha de contestar un qüestionari per recollir dades demogràfiques.

7.2.2.2. Introducció a l'experiment

Es fa una introducció del projecte i s'expliquen els objectius principals. Seguidament, es mostra un exemple sobre la tasca principal. Un cop fet això, l'usuari es col·loca i s'ajusta els cascos de RV i es fa la calibració del dispositiu. Finalment, s'introdueix al participant en l'aplicació RV per a realitzar la tasca principal.

7.2.2.3. Tasca principal

En l'experiment l'usuari ha de fer només una tasca senzilla: estimar els valors indicats en cada visualització. Per estimar cada valor l'usuari ha de dir en veu alta el valor marcat amb un punt o cercle vermell. Per avaluar el rendiment no només es guardarà el valor estimat, sinó que també s'enregistrerà el temps emprat per a cada estimació.

Cada estimació es fa sobre un dataset diferent, per tant, el participant fa 20 estimacions per tècnica, 40 en total. L'usuari ha de fer primer les estimacions d'un tipus i després les de l'altre. En el cas de començar pels heatmaps, primer s'han de fer 20 estimacions sobre els heatmaps i després les altres 20 sobre els heightmaps. Les visualitzacions s'han configurat perquè apareixin de forma aleatòria.

7.2.2.4. Qüestionari de satisfacció

Un cop acabada la tasca principal, l'usuari es treu els cascos RV i contesta un qüestionari d'avaluació sobre l'experiment. L'objectiu d'aquest formulari és conèixer el grau de satisfacció dels usuaris a l'hora de realitzar la tasca amb cada tècnica de visualització.

7.2.3. Selecció dels valors a estimar

S'ha definit que cada participant haurà d'estimar 20 valors, primer usant una tècnica i després l'altra. Ara cal decidir quins seran els valors que l'usuari haurà d'estimar. Aquests seran nombres enters entre el 0 i el 50.

Els punts s'han escollit sobre el mapa d'alçada, d'aquesta manera es podran seleccionar punts amb més o menys oclusió. S'han seleccionat valors de totes les dificultats. En termes d'alçada hi ha aproximadament el mateix nombre de valors mínims que de màxims. Respecte a la posició XZ sobre la superfície, s'ha intentat distribuir els 20 punts de forma homogènia.

7.2.4. Configuració de les visualitzacions

Perquè l'experiment tingui sentit, l'usuari haurà d'estimar el mateix valor dues vegades, una per cada visualització. També s'haurà de configurar la mateixa paleta de color dues vegades.

7.2.4.1. Paletes de colors

A l'hora de visualitzar les dades, el color pot influir en la percepció de la profunditat i alçada. Per aquest motiu, en aquest estudi s'ha decidit utilitzar paletes diferents.

Existeixen dos tipus principals de paletes, les seqüencials i les divergents. Les paletes seqüencials varien la intensitat d'un color mentre que les paletes divergents utilitzen dos o més colors contrastats.

Per facilitar la visualització, s'han escollit gradients on els colors brillants representen valors baixos i els foscos representen valors alts.

S'han escollit dues paletes de colors, una de cada tipus. Es representaran 10 datasets amb una paleta i els altres 10 amb l'altra.

La primera és una paleta seqüencial d'escala de blaus de 3 colors (#eff3ff, #6baed6, #084594). La segona paleta escollida és una paleta divergent viridis de 3 colors (#fde725, #21918c, #440154).

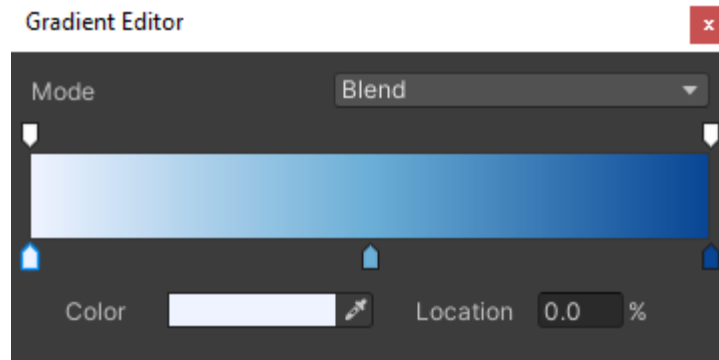


Figura 31. Vista des de la configuració del gradient amb la paleta escala de blaus. Elaboració pròpia.

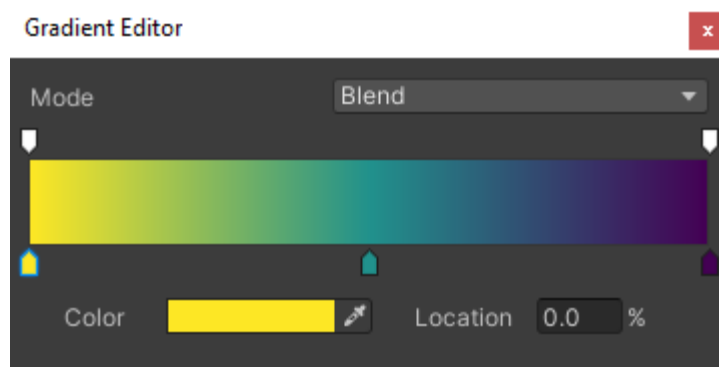


Figura 32. Vista des de la configuració del gradient amb la paleta viridis. Elaboració pròpia.

Donat un dataset, un valor a estimar i una paleta de colors, s'han configurat dues visualitzacions, una de tipus Heatmap i l'altra de tipus Heightmap. A continuació s'explicarà com s'ha configurat cada visualització per a l'experimentació.

7.2.4.2. Configuració de les visualitzacions Heatmap

Per a les visualitzacions de tipus heatmap es marcarà el valor que s'haurà d'estimar amb un cercle de color vermell. S'ha utilitzat el vermell perquè es distingeixi correctament de les dues paletes.

Aquest cercle es dibuixa amb un script que s'afegeix manualment a la visualització com un component. Des d'aquest component es pot ajustar el radi, l'amplada i el color del cercle. Amb els atributs X i Y es pot moure el cercle sobre la quadrícula per a seleccionar

el valor que es vol encerclar. Això es pot fer modificant la *localPosition* del *Transform component*. L'atribut *Circled Value* indica el valor del color encerclat.

A continuació es pot observar un cercle de radi dibuixat sobre un heatmap amb paleta viridis. En el component Draw Circle Heatmap es mostren els paràmetres de configuració del cercle. En aquest cas es tracta d'un cercle vermell de radi 0.0242, gruix 0.008, situat en la posició (24, 17).

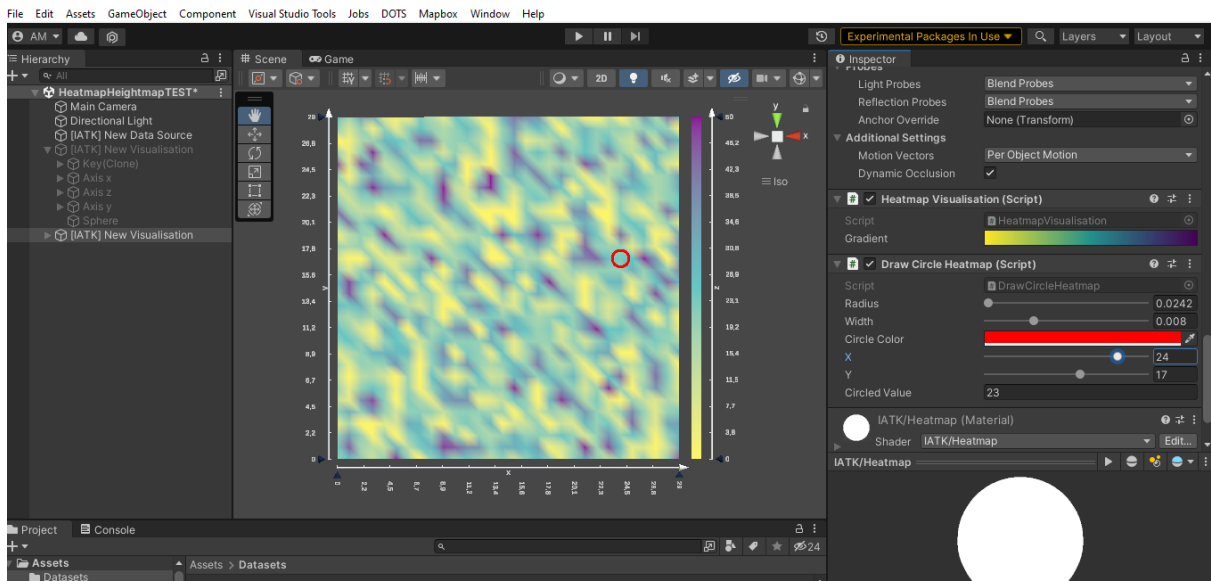


Figura 33. Captura de pantalla. Vista del component Draw Circle Heatmap en un Heatmap amb paleta viridis que representa un dataset sense clústers. Elaboració pròpia.

Per a dibuixar el cercle, s'ha utilitzat el component *LineRenderer* de Unity. Des d'aquest component es pot ajustar el gruix del cercle amb els atributs *startWidth* i *endWidth*. El color es podrà assignar amb els atributs *startColor* i *endColor*. Per al càlcul del color, al component *LineRenderer* se li ha assignat un material amb una referència al mateix shader que s'ha utilitzat per dibuixar les visualitzacions de tipus Heatmap.

La construcció del cercle es fa per segments. La posició de cada segment es calcula en funció del radi i número de segment. La posició en X es calcula amb el sinus i la posició en Y amb el cosinus. Per cada iteració del següent bucle, es calcula la posició d'un segment. El cercle es pintarà sobre el pla XY, per tant, la posició en Z sempre serà 0. L'angle theta s'incrementa fins a 380°, 20° més per evitar que el cercle quedi tallat per l'últim segment.

```

float theta = 0f;

for(int currentStep = 0; currentStep < steps; ++currentStep) {

    float x = Mathf.Sin(Mathf.Deg2Rad * theta) * radius;
    float y = Mathf.Cos(Mathf.Deg2Rad * theta) * radius;

    Vector3 currentPosition = new Vector3(x, y, 0f);
    circleRenderer.SetPosition(currentStep, currentPosition);

    theta += 360f / steps;
}

```

Figura 34. Càlcul de la posició de cadascun dels segments que formen el cercle del LineRenderer. Elaboració pròpia.

En la figura 33 es pot observar que les etiquetes de la llegenda són força petites. Per a facilitar la lectura d'aquests valors amb els cascos de RV, s'ha reduït el nombre de tics de la llegenda i s'ha augmentat la mida de les etiquetes. Això s'ha fet creant un script anomenat Rescale Axis Labels Heatmap. Com que en aquest estudi només es tindrà en compte la llegenda, des del script també s'han eliminat les etiquetes dels eixos X i Y.

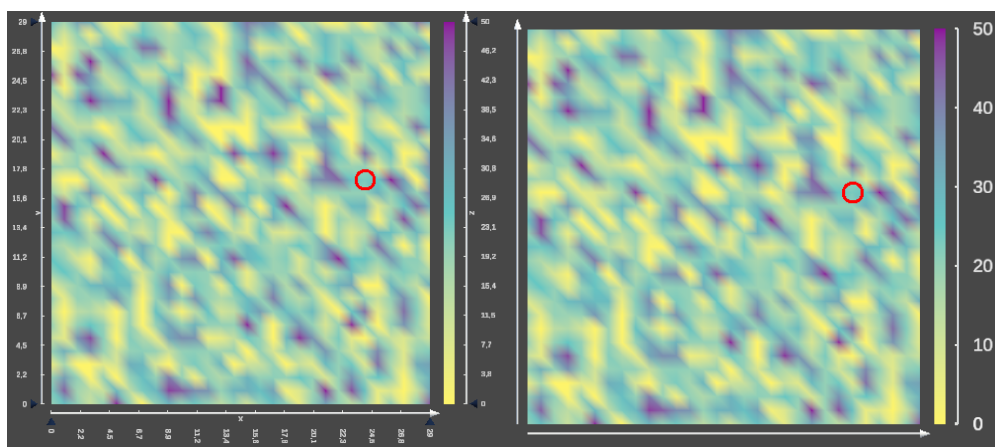


Figura 35. Captures de pantalla. Heatmap abans i després d'afegir el component Rescale Axis Labels Heatmap per millorar la visualització de les etiquetes. Elaboració pròpia.

7.2.4.3. Configuració de les visualitzacions Heightmap

En les visualitzacions de tipus heightmap s'indica el valor a estimar amb una esfera pintada de color vermell perquè es distingeixi correctament de les dues paletes. Perquè no hi hagi problemes per a identificar la posició del centre de l'esfera, hi ha la possibilitat de modificar la seva transparència.

Aquesta esfera es dibuixa amb un script que s'afegeix manualment a la visualització com a component. Des d'aquest component es pot ajustar el radi, la transparència i el color de l'esfera. Amb els atributs X i Z es pot moure l'esfera sobre els eixos X i Z per a seleccionar el valor que es voldrà marcar. L'atribut *Sphere Value* indica el valor del punt indicat.

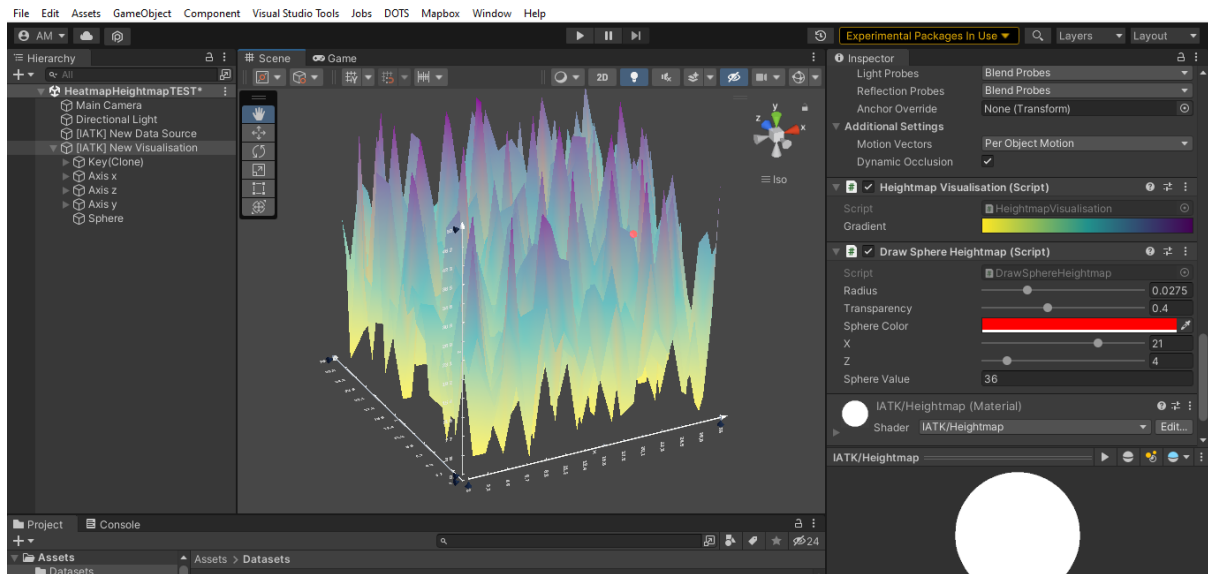


Figura 36. Captura de pantalla. Vista del component *Draw Sphere Heightmap* en un *Heightmap* amb paleta viridis que representa un dataset sense clústers. Elaboració pròpia.

L'esfera s'ha creat amb el mètode *GameObject.CreatePrimitive*. Aquest mètode retorna l'objecte sphere al passar-li el paràmetre *PrimitiveType.Sphere*. Per a ajustar el radi de l'esfera, es fa un escalat sobre l'objecte a través de l'atribut *sphere.transform.localScale* del transform component. Per a moure a través dels eixos X i Z, s'utilitza la *localPosition* del transform component.

L'esfera es pinta assignant un mateix color a cadascun dels vèrtexs de la malla. Per a fer el càlcul del color i afegir-li transparència, a l'esfera se li assigna un material amb una referència a un nou shader anomenat *TransparentSphere*. El shader és molt similar al que ja s'ha utilitzat anteriorment, aquest però, té definida la següent propietat.

```
Properties {
    _Transparency("_Transparency", Range(0.25, 1.0)) = 0.5
}
```

Figura 37. Propietat *_Transparency* definida en el *TransparentSphere.shader*. Pot tenir un valor entre 0.25 i 1. Quan el valor és 1, l'esfera és completament opaca. Per defecte se li assigna el valor 0.5. Elaboració pròpia.

Des de l'editor Unity es pot modificar aquesta propietat amb el mètode `sphereRenderer.sharedMaterial.SetFloat("_Transparency", transparency)`.

On `sharedMaterial` és el material associat al `MeshRenderer` de l'esfera i `transparency` és el valor de transparència que es vol assignar a la propietat `_Transparency`.

S'ha utilitzat el mateix vertex shader que anteriorment, però el càlcul del color s'ha fet en un fragment shader lleugerament diferent. Abans de retornar el color, es modifica la propietat alpha del color. A Unity, aquesta propietat representa la transparència dels colors de tipus `float4`.

```
float4 FS_Main (v2f input) : COLOR {
    input.color.a = _Transparency;
    return input.color;
}
```

Figura 38. Fragment shader del `TransparentSphere.shader`. Elaboració pròpia.

En el shader també s'ha definit una etiqueta `Queue` amb el valor `Transparent`, perquè l'esfera es renderitzi després de la superfície opaca. Amb un valor 0 l'esfera és totalment transparent, i amb un valor d'1, totalment opaca. A continuació es mostra l'exemple d'una esfera configurada amb una transparència de 0.4.

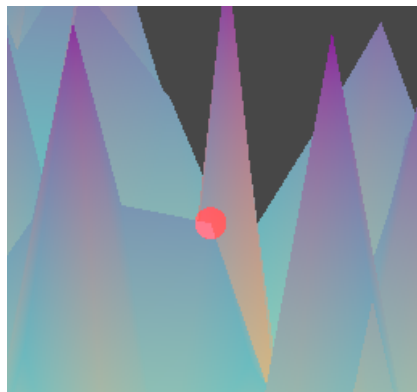


Figura 39. Esfera vermella de radi $0.0175f$ i transparència $0.4f$.

Elaboració pròpia.

D'altra banda, tal com s'ha fet per a les visualitzacions Heatmap, per millorar la visibilitat s'ha reduït el nombre de tics de la llegenda i s'ha augmentat la grandària de les etiquetes. Això s'ha fet creant un script anomenat `Rescale Axis Labels Heightmap`. Com que els usuaris només han de tenir en compte l'alçada i el color per estimar valors, s'han eliminat les etiquetes dels eixos X i Z. D'aquesta manera se simplifica la visualització i s'eviten distraccions.

En la figura 36 també es pot observar que hi ha força oclusió per la naturalesa de les dades. S'ha optat per disminuir l'alçada del Heightmap, d'aquesta manera serà més fàcil localitzar i estimar el valor indicat amb una esfera vermella. Això s'ha fet des del mateix script de rescalat. A continuació es pot veure una imatge d'un heightmap abans i després d'utilitzar el component Rescale Axis Labels Heightmap.

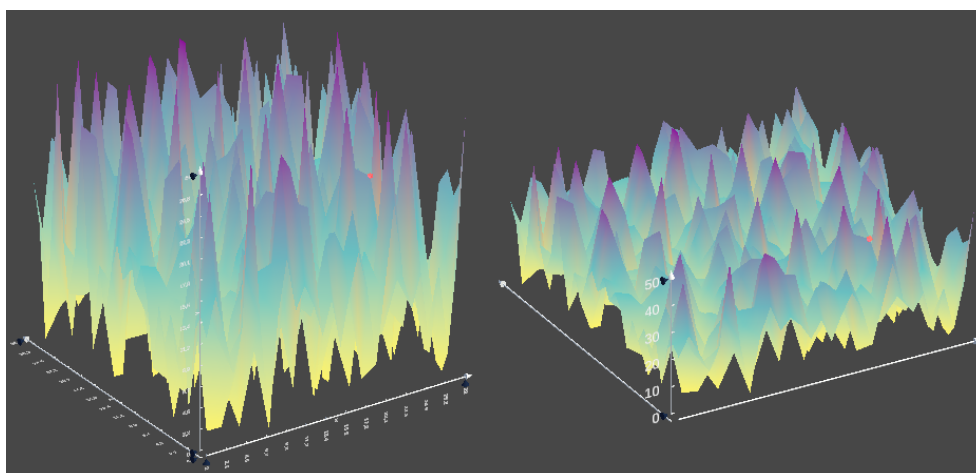


Figura 40. Captures de pantalla. Heightmap abans i després d'afegir el component Rescale Axis Labels Heightmap per millorar la visualització de les etiquetes i la oclusió. Elaboració pròpia.

7.2.5. Desenvolupament de l'aplicació de RV

Per a poder realitzar l'experiment en un entorn de realitat virtual, s'ha creat una aplicació Unity. Amb aquesta aplicació l'usuari podrà completar la tasca que se li ha assignat i es podran recollir les de dades de cada estimació. L'aplicació s'encarregarà de mostrar les visualitzacions que s'han configurat tal com s'ha explicat en l'apartat anterior.

Per a desenvolupar l'aplicació s'utilitzarà la plataforma XR de Unity. XR és una eina que ajuda als desenvolupadors a crear experiències immersives. S'ha escollit la plataforma XR perquè suporta el dispositiu de RV que s'utilitza per a fer l'experimentació (HTC Vive). Durant el desenvolupament de l'aplicació no sempre s'ha tingut accés als cascos de RV del laboratori. Per aquest motiu s'ha utilitzat XR Device Simulator. Aquesta és una eina que permet simular i testejar una aplicació de RV sense necessitat d'un dispositiu físic.

En les aplicacions VR, els comandaments s'utilitzen, entre altres coses, per interactuar amb altres objectes dins de l'escena. Sempre és important representar els comandaments de manera adequada. Per a millorar la percepció d'immersió, s'ha utilitzat un paquet gratuït de Unity anomenat Oculus Hand Physics. Amb aquest paquet es pot representar cada comandament amb una mà tridimensional. També es pot vincular una animació a la mà per cada cop que interactuï amb un botó del menú principal. Per

interactuar amb els objectes dins de l'escena, s'utilitza un làser que surt de cadascuna de les mans. Això s'ha pogut fer gràcies al component XR Ray Interactor del paquet XR Interaction Toolkit.

L'aplicació desenvolupada està formada per 3 escenes principals. En cadascuna de les escenes l'usuari està situat al centre d'un terra representat amb un pla XZ. L'experiment està dissenyat perquè l'usuari estigui quiet en un punt, ja sigui assegut o dret. No obstant això, per temes de comoditat, el participant podrà aixecar-se de la cadira quan cregui convenient.

7.2.5.1. Menú principal

Aquesta és l'escena del menú principal, és el primer que veu l'usuari. Des d'aquesta escena l'usuari pot seleccionar el tipus de visualització. La meitat dels participants han començat l'experiment sobre la tècnica de visualització Heatmap. Un cop han acabat la tasca assignada, es torna al menú principal per seleccionar l'opció Heightmap per continuar amb les visualitzacions de tipus Heightmap. L'altra meitat dels participants han començat visualitzant els Heightmaps i han acabat amb els Heatmaps.

L'escena principal està formada per un pla que representa el terra de la sala i un menú canvas de fons transparent. En el menú apareixen dos botons, un per a cada tipus de visualització. Per carregar una visualització, l'usuari ha d'apuntar amb el làser d'una mà sobre l'opció desitjada i apretar el botó *trigger* del comandament.

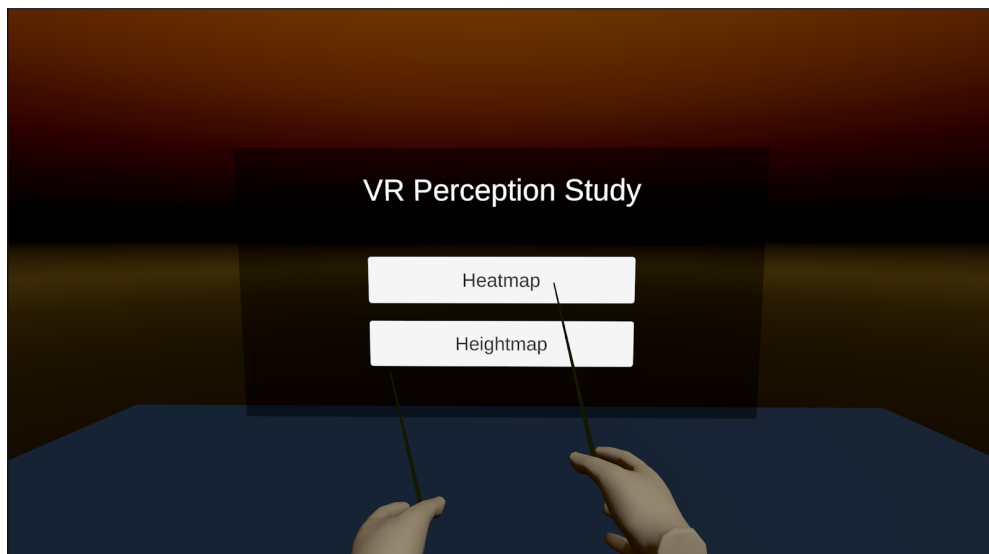


Figura 41. Captura de pantalla. Escena del menú principal. Elaboració pròpia.

7.2.5.2. Escena Heatmap

Des d'aquesta escena es carreguen les visualitzacions de tipus Heatmap. Només es fa ús del botó *trigger*, no hi ha cap mena d'interactivitat amb els mapes de calor. El participant ha de dir en veu alta el valor estimat i després prémer el *trigger* del commandament per carregar el següent Heatmap. Els mapes de calor apareixeran davant de l'usuari, que estarà posicionat al centre de l'escena.

Les 20 visualitzacions configurades estan dins d'un objecte anomenat HeatmapHolder. A l'objecte se li associa un script anomenat MainScene.cs. Aquest script s'encarrega de mostrar els Heatmaps de forma aleatòria. Per a fer això, es guarda una llista amb tots els identificadors i després s'ordena aleatòriament. La llista resultant es recorre amb una variable comptador que indica la posició de l'identificador de la visualització a mostrar.

Cada cop que l'usuari prem el trigger, s'actualitza la variable comptador i s'inicia un cronòmetre. Quan es torna a apretar el botó del commandament, es para el cronòmetre, es carrega el següent mapa de calor i s'inicialitza un nou cronòmetre. D'aquesta manera, s'enregistra el temps emprat per a cada estimació. Els temps es guarden dins d'una llista seguint l'ordre d'execució.

Un cop s'hagin fet les 20 estimacions, s'imprimeix per consola una taula amb l'identificador i el temps corresponent. La taula es mostra en ordre d'execució. Aquesta taula es complementa amb els valors que s'han anat apuntant durant l'experiment. Així doncs, per a cada Heatmap, es pot saber quin valor s'ha estimat i quan ha trigat l'usuari a fer l'aproximació.

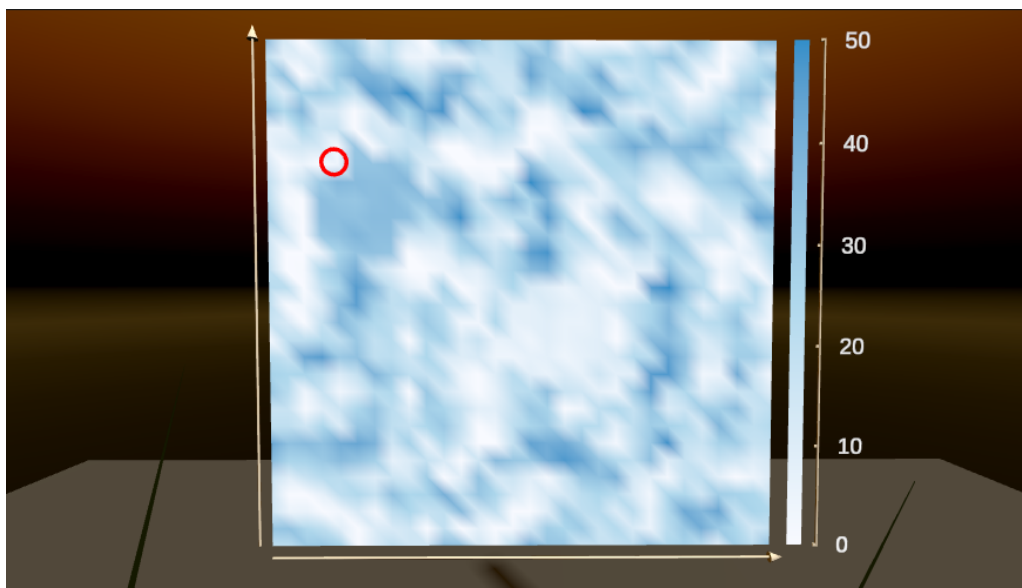


Figura 42. Captura de pantalla. Escena Heatmap. Elaboració pròpia.

7.2.5.3. Escena Heightmap

Des d'aquesta escena es van carregar les visualitzacions de tipus heightmap. Els mapes d'alçada configurats estan continguts dins d'un objecte HeightmapHolder. A l'objecte se li associa el mateix script usat en l'escena Heatmap. El component Main Scene s'encarrega d'anar mostrant els Heightmaps de forma aleatòria. També es guarda el temps emprat per a cada estimació.

A diferència de l'escena anterior, en aquesta escena es pot interactuar amb les visualitzacions. No només s'utilitza el trigger per a carregar el Heightmap següent, sinó que també es pot utilitzar el botó grip per a manipular el mapa d'alçada. Per agafar un Heightmap, l'usuari ha d'apuntar amb el làser des d'on voldrà "punxar" l'objecte i haurà de prémer el botó grip del comandament. La sensació que té l'usuari és com si estigués clavant una espasa a un objecte. El laser pointing amb offset grab és una tècnica intuïtiva i immersiva que se sol utilitzar en realitat virtual a l'hora d'interactuar amb els objectes dins de l'escena.

Per a implementar aquest tipus d'interacció s'ha hagut d'assignar i configurar a cada visualització el component XR Grab Interactable i el component Box Collider. Amb aquest últim component es defineix la caixa que delimita la zona d'interacció amb el làser. També s'utilitza perquè els Heightmap col·lisionin amb el terra i la taula de l'escena.

Quan l'usuari deixa anar el botó grab del comandament, la visualització es queda quieta en l'última posició on s'ha deixat. Això permetrà moure i posicionar l'objecte allà on sigui més convenient. Cada Heightmap apareix en una posició inicial a sobre d'una caixa en forma de taula.

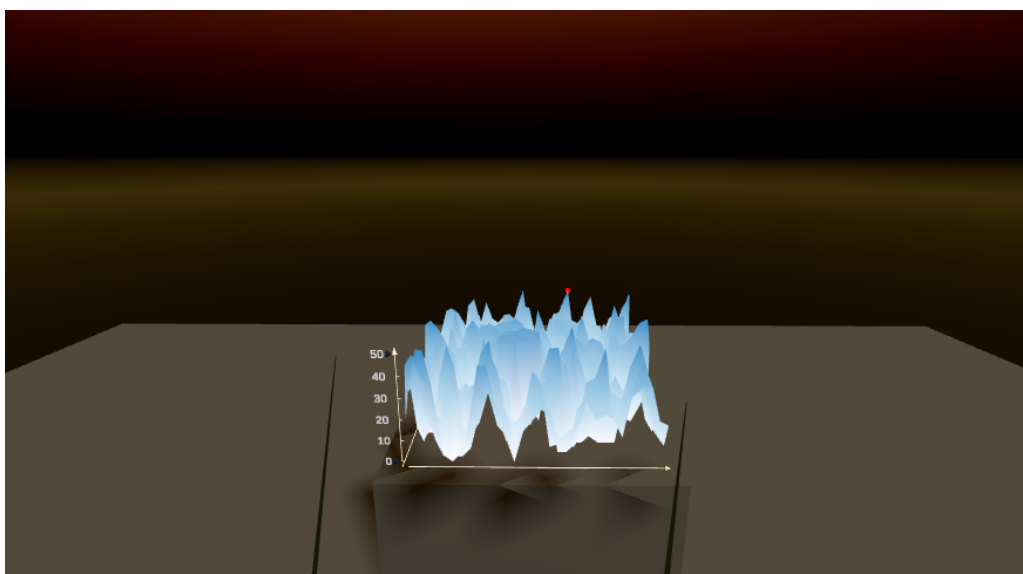
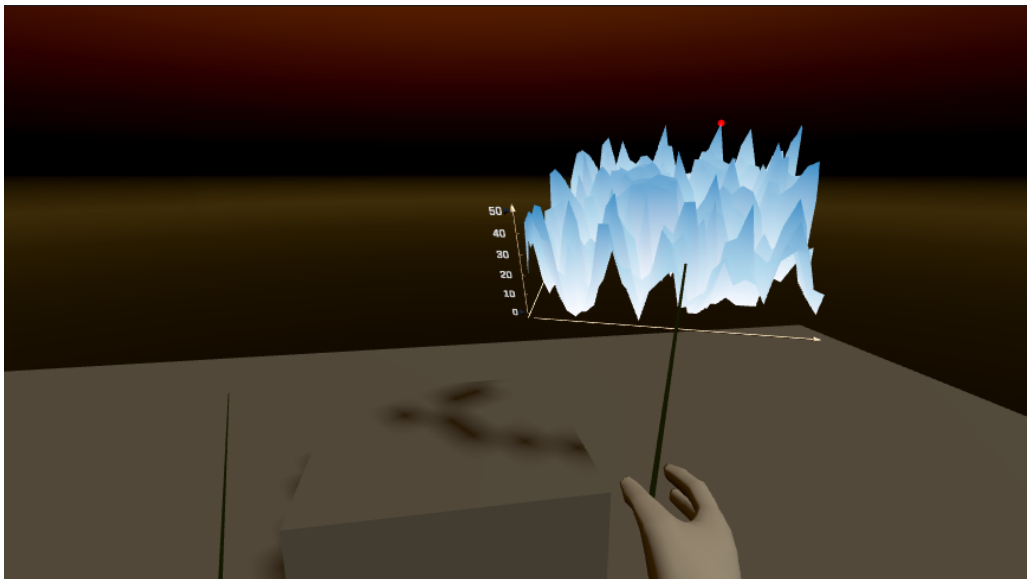


Figura 43. Captura de pantalla de l'escena Heightmap. L'usuari observa el Heightmap en la posició inicial sobre la taula. Elaboració pròpia.



*Figura 44. Captures de pantalla de l'escena Heightmap. Usuari manipulant un heightmap.
Elaboració pròpia.*

7.3. Participants

En aquest experiment han participat 14 persones, tots homes d'una mitjana de 24 anys. Per a poder participar, les persones van haver d'acceptar les bases de l'estudi (consentiment informat).

Un cop fet això, cada usuari va haver d'omplir un qüestionari previ per recollir dades demogràfiques. El participant va haver de donar el seu nom per a poder vincular les respostes del qüestionari amb el resultat de l'experiment.

En l'enquesta demogràfica s'han fet preguntes sobre l'edat, el gènere i el nivell de coneixements relacionats amb la realitat virtual. També s'ha preguntat a cada participant si ha utilitzat o utilitza habitualment dispositius de RV. A continuació s'analitzaran els resultats obtinguts.

En el següent gràfic circular es pot observar que gairebé la majoria dels participants ha cursat estudis relacionats amb la informàtica. Això es deu al fet que alguns dels voluntaris que van participar en l'estudi treballaven en el ViRVIG. També van participar alguns estudiants del grau d'enginyeria informàtica.

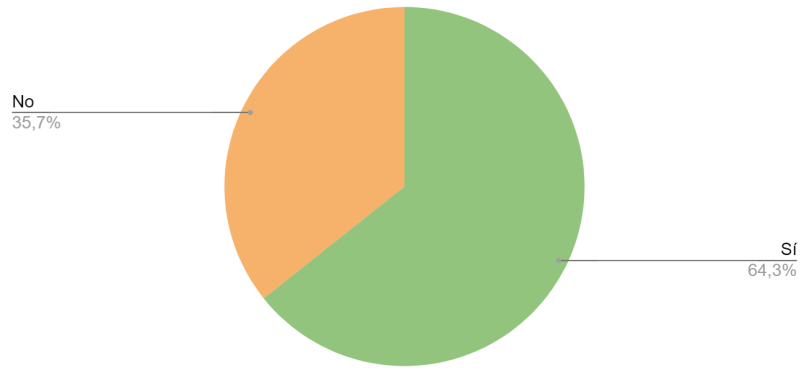


Figura 45. Gràfic circular del nombre de participants que han cursat estudis relacionats amb la informàtica. Elaboració pròpia.

Els dos següents gràfics circulars indiquen el nivell de coneixement i l'ús de les tecnologies relacionades amb la realitat virtual i els videojocs. El nivell de coneixements relacionats amb la realitat virtual és generalment alt. Hi ha una fracció petita de participants que tenen un nivell molt baix de coneixements relacionats amb la RV i els videojocs.

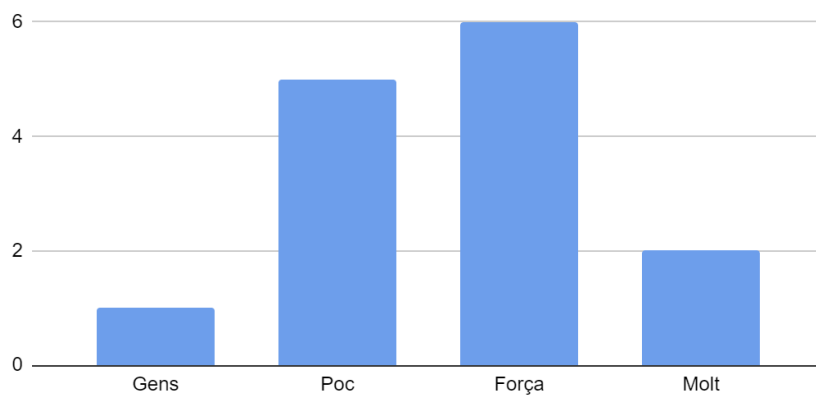


Figura 46. Gràfic de barres. Nivell de coneixement dels participants sobre la realitat virtual i els videojocs. Elaboració pròpia.

Pel que fa a l'ús de les tecnologies de RV, els resultats són més polaritzats. Es tenen dos grans grups, el primer és dels usuaris que no juguen a videojocs ni fan ús de dispositius de RV. El segon grup està format pels que en fan un gran ús. La fracció més elevada és d'aquest segon grup. Entre aquests usuaris hi ha els que formen part del CRV i els que juguen habitualment a videojocs.

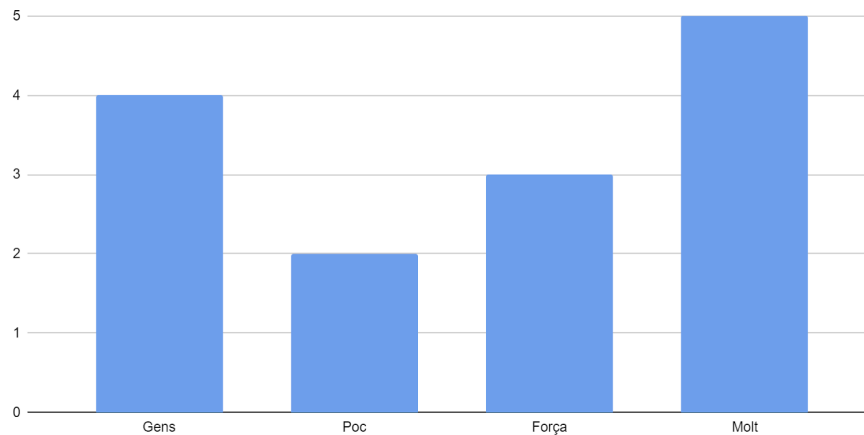


Figura 47. Gràfic de barres sobre l'ús dels participants de tecnologies relacionades amb la RV i els videojocs. Elaboració pròpia.

S'ha observat que la majoria dels participants coneix la tecnologia, però no tothom la utilitza habitualment. Els resultats d'aquesta enquesta demogràfica ajudaran a contextualitzar i generalitzar els resultats de l'experiment.

7.4. Resultats

En aquesta secció es visualitzaran les dades recollides. Es tindran en compte les respostes dels participants en el qüestionari d'avaluació. I finalment, es farà una anàlisi dels resultats obtinguts durant l'experiment.

7.4.1. Qüestionari d'avaluació

Després d'acabar el test d'usuari, cada participant va omplir un qüestionari d'avaluació sobre l'experiment. L'objectiu d'aquest formulari és conèixer el grau de satisfacció dels usuaris a l'hora de realitzar la tasca amb cada tècnica de visualització. Es formulen preguntes sobre la usabilitat, confortabilitat i la dificultat de la prova.

Les preguntes apareixen com afirmacions. Aquestes seran les mateixes per a cadascuna de les tècniques de visualització. D'aquesta manera es podran comparar directament.

Per a cada afirmació l'usuari haurà de seleccionar una de les següents opcions de l'escala de Likert (1-7).

1. Estic totalment en desacord
2. Estic en desacord
3. Estic una mica en desacord
4. Neutral
5. Estic una mica d'acord
6. Estic d'acord

7. Estic totalment d'acord

En la següent figura es mostren els resultats obtinguts en les següents afirmacions:

- M'ha semblat difícil estimar valors en les visualitzacions de tipus Heatmap.
- M'ha semblat difícil estimar valors en les visualitzacions de tipus Heightmap.

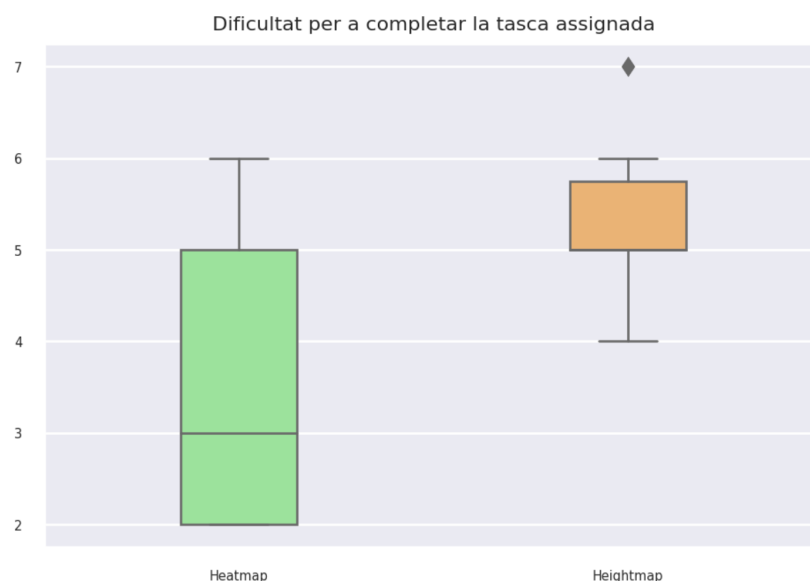


Figura 48. Boxplot del grau de dificultat de cada participant per a completar la tasca assignada. Elaboració pròpia.

Segons les opinions dels participants, la tasca era més difícil sobre les visualitzacions de tipus Heightmap. La majoria dels usuaris opina que estimar valors en mapes d'alçada era força difícil. Es tindrà també en compte que hi ha hagut un participant a qui li ha semblat una tasca molt complexa. Pel que fa a les visualitzacions de tipus Heatmap, la mitjana de participants considera que la tasca ha estat assequible.

En la següent figura es mostren els resultats obtinguts en les següents afirmacions:

- M'ha resultat difícil estimar valors amb la paleta escala de blaus en les visualitzacions de tipus Heatmap.
- M'ha resultat difícil estimar valors amb la paleta viridis en les visualitzacions de tipus Heatmap.
- M'ha resultat difícil estimar valors amb la paleta escala de blaus en les visualitzacions de tipus Heightmap.
- M'ha resultat difícil estimar valors amb la paleta viridis en les visualitzacions de tipus Heatmap.

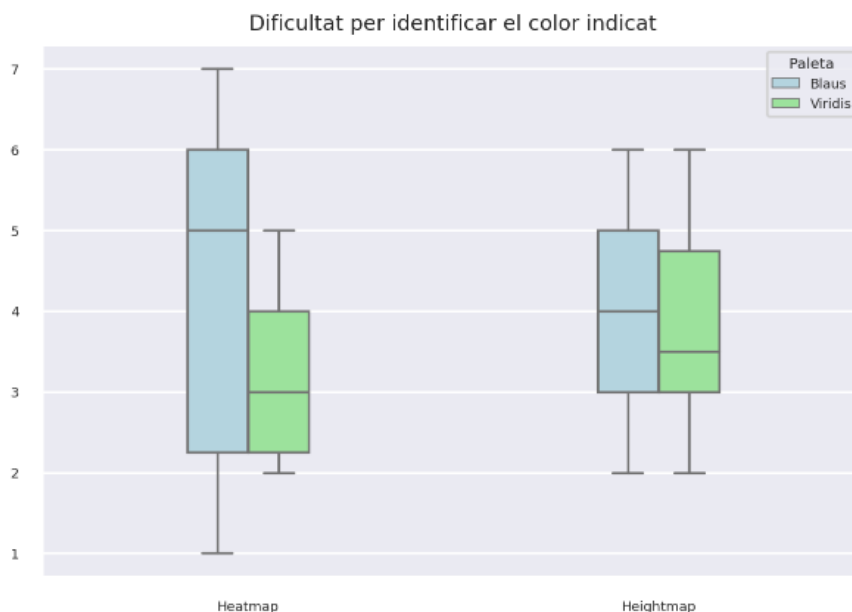


Figura 49. Boxplot del grau de dificultat per identificar el color indicat amb un cercle o un punt. Elaboració pròpia.

Tal com s'ha explicat anteriorment, la meitat de les visualitzacions s'han mostrat amb una paleta d'escala de blaus i l'altra meitat amb una paleta viridis. L'anterior figura descriu com els participants van percebre els colors en cada tipus de visualització. Per a les visualitzacions de tipus Heightmap, no hi ha gaire diferència entre les paletes de color. En les dues tècniques, era més difícil d'identificar els colors sobre la paleta escala de blaus. A nivell de tècnica, la dificultat és lleugerament superior en els Heightmaps, ja que a diferència dels Heatmaps, els usuaris no disposaven d'una llegenda amb un gradient de color.

En el boxplot d'usabilitat es mostren els resultats obtinguts en les següents afirmacions:

- L'escala de valors es podia veure correctament en les visualitzacions de tipus Heatmap.
- L'escala de valors es podia veure correctament en les visualitzacions de tipus Heightmap.
- El valor que havia d'estimar es veia marcat correctament en el Heatmap i era fàcil de trobar.
- El valor que havia d'estimar es veia marcat correctament en el Heightmap i era fàcil de trobar.

En el boxplot de comoditat es mostren els resultats obtinguts en les següents afirmacions:

- La visualització de la tècnica Heatmap ha estat còmode.
- La visualització de la tècnica Heightmap ha estat còmode.

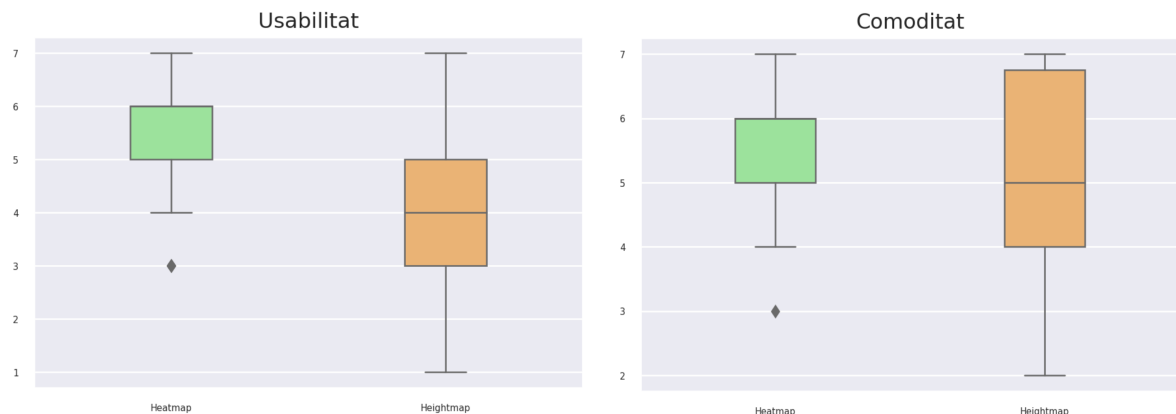


Figura 50. A l'esquerra un boxplot de la usabilitat de cada tècnica. A la dreta un boxplot sobre la comoditat de l'usuari durant l'experiment. Elaboració pròpia.

La usabilitat de cada tècnica va lligada als elements que han ajudat a completar la tasca. Els participants han valorat la representació dels eixos i els elements que s'han usat per a indicar els valors a estimar. En el cas dels Heightmaps, també s'ha valorat la interactivitat. S'observa que la usabilitat dels mapes de calor és força major que la dels mapes d'alçada.

Per acabar, s'ha preguntat als usuaris sobre com s'han sentit utilitzant cada tècnica. Aquí l'usuari valora si ha tingut símptomes de fatiga o marejos durant l'experiment. La majoria dels participants ha considerat que la tècnica Heatmap era més còmode. No obstant això, hi ha participants s'han sentit bastant còmodes usant la tècnica Heightmap. Aquesta és una dada que no sorprèn, ja que en la secció anterior s'ha vist que hi ha una fracció important dels participants que utilitza habitualment dispositius de RV.

7.4.2. Anàlisi dels resultats

Durant l'experiment amb els cascos de RV, es va recollir el valor i temps per estimació. Cada estimació es feia en veu alta i s'apuntava el valor manualment. El temps, en canvi, es va enregistrar automàticament des de l'aplicació de testing. En aquesta secció, s'analitzaran els resultats obtinguts.

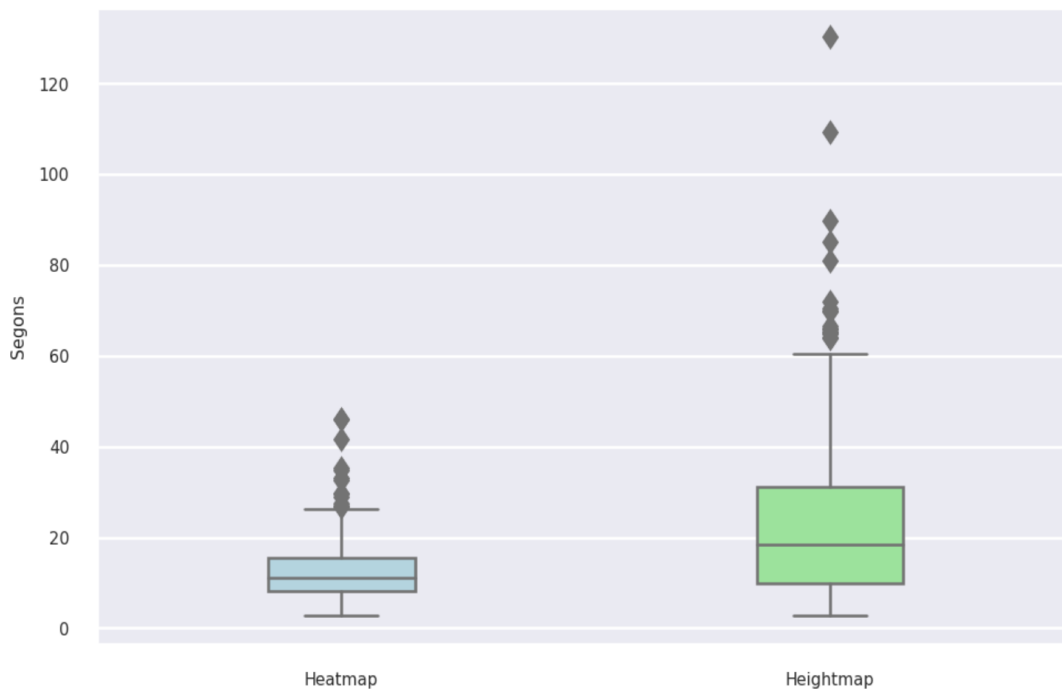


Figura 51. Boxplot del temps per estimació. Elaboració pròpia.

Com era d'esperar, la tècnica Heatmap té menys dispersió i és lleugerament més ràpida que la tècnica Heightmap. En la segona, l'estimació de cada valor es fa en aproximadament 20 segons de mitjana, gairebé el doble que en la primera tècnica. En els Heightmaps, els valors atípics es disparen molt per sobre de la mitjana. Això es pot explicar per dues raons. En primer motiu és que es poden correspondre als temps de les primeres estimacions dels participants. A mesura que s'anava avançant en l'experiment, el temps per estimació es reduïa, ja que els participants tenien més facilitat per a manipular els Heightmaps. Això també es pot explicar per la falta de visibilitat d'alguns dels valors indicats. Hi havia punts que estaven força més amagats que la resta i per culpa de l'oclusió, costaven més de trobar.

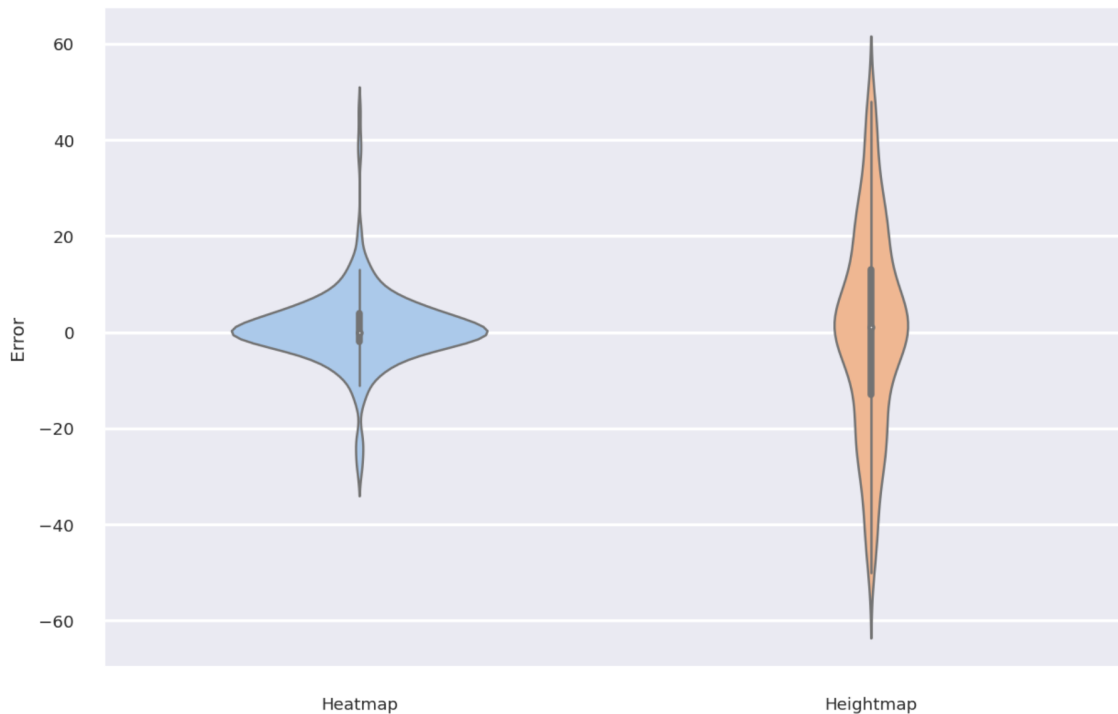


Figura 52. Violin plot de l'error d'estimació per cada tècnica. Elaboració pròpia.

Definitivament, la tècnica Heatmap ha estat la més precisa. En la figura anterior s'observa que hi ha un major gruix al voltant del zero. Això indica que hi ha una major probabilitat d'estimar el valor real sense equivocar-se. En canvi, en les visualitzacions de tipus Heightmap s'observa que hi ha més dispersió.

S'ha calculat el percentatge d'error seguint la següent fórmula:

$$Error (\%) = \frac{Valor\ estimat - Valor\ Real}{Valor\ Real} \times 100$$

D'on s'ha obtingut un error mitjà del 1,08% en les visualitzacions Heatmap i un error mitjà del 5,99% en les visualitzacions de tipus Heightmap.

En les figures 53 i 54, s'observa l'error d'estimació en funció del rang del valor real per cada tècnica. Tenint en compte que els valors a estimar es troben entre el 0 i el 50, s'han agrupat els errors en 3 rangs. El primer agrupa les estimacions dels valors entre 0 i 15. L'error mig agrupa les estimacions dels que estan entre 16 i 33. Finalment el rang alt agrupa la resta d'estimacions de valors entre 34 i 50.

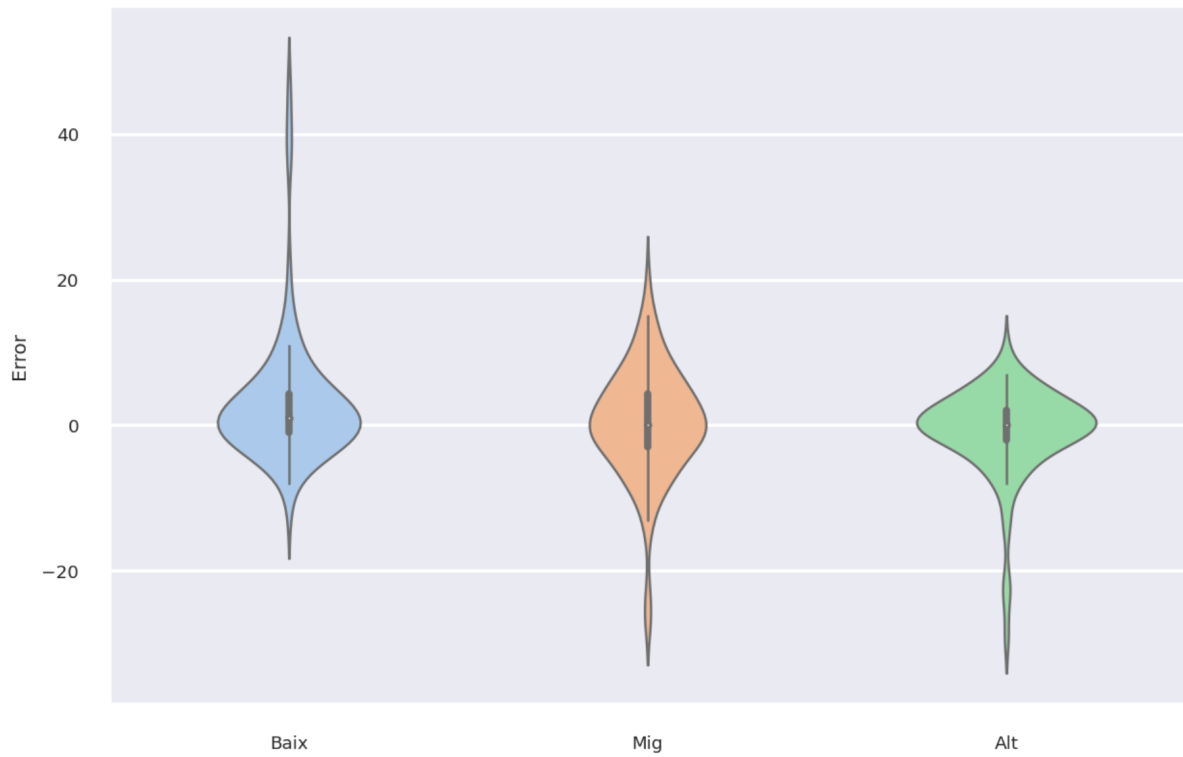


Figura 53. Error d'estimació en Heatmaps en funció del rang del valor real. Elaboració pròpia.



Figura 54. Error d'estimació en Heightmaps en funció del rang del valor real. Elaboració pròpia.

A les visualitzacions de tipus Heatmap, s'observa que els valors estimats s'apropen més al valor real, sobretot en els punts més alts. Per a valors més baixos, en canvi, hi ha més

dispersió. Per tant, es pot concloure que els participants van estimar amb més precisió aquells valors representats amb colors més foscos.

Aquest mateix fenomen també s'ha donat en les visualitzacions de tipus Heightmap. En aquest tipus de visualització, els valors baixos són els que han costat més d'estimar. Els valors intermitjos han estat lleugerament més fàcils d'estimar. Durant l'experiment, l'usuari podia veure amb facilitat els valors extrems, especialment els punts més alts. Aquests eren els més visibles, ja que tenien menys oclusió. Per als punts més baixos, l'usuari tenia la possibilitat de rotar i observar el heightmap per sota, això va facilitar la visibilitat d'aquests punts. Tot i això, en la majoria dels casos no es podia veure correctament l'escala de valors per culpa de l'occlusió.

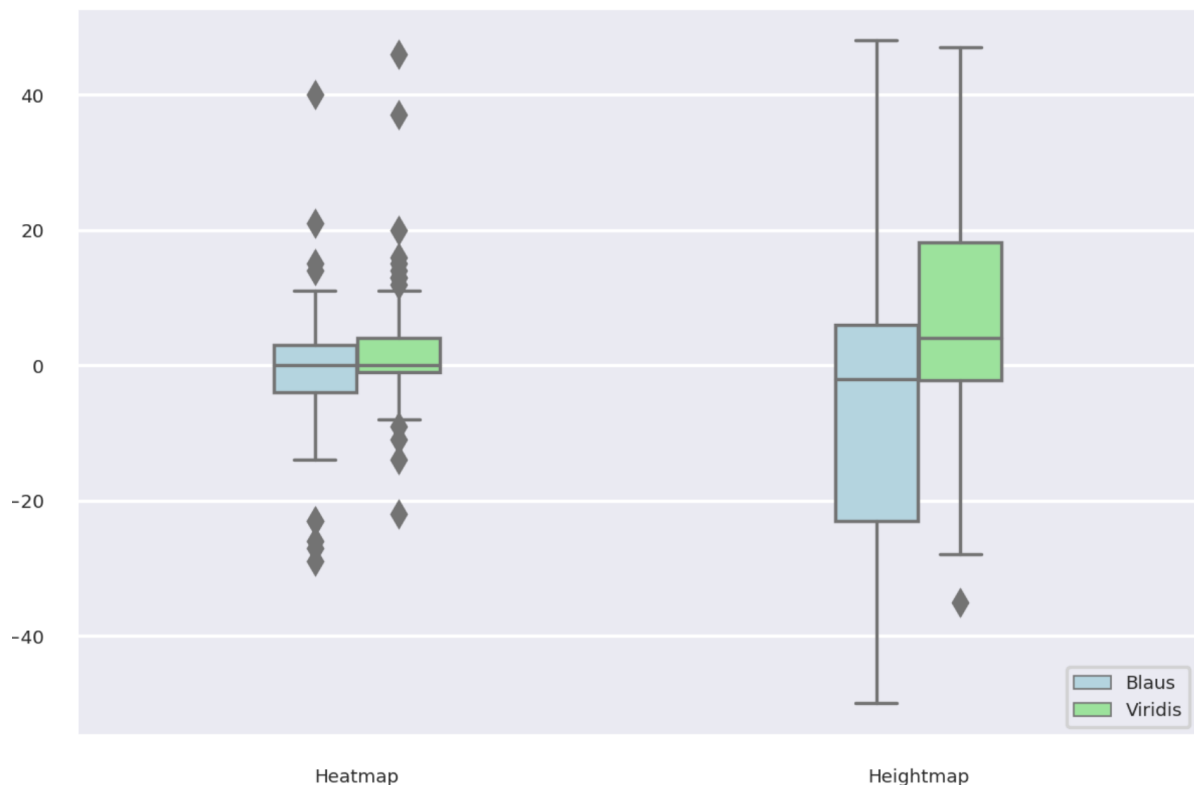


Figura 55. Boxplot de l'error d'estimació en funció de la tècnica de visualització i la paleta de color.

Elaboració pròpia.

Com ja s'ha vist anteriorment, la tècnica de visualització Heatmap és més precisa que la tècnica Heightmap. En els heatmaps l'error d'estimació té menys dispersió i les medianes estan pràcticament sobre el zero. En canvi, en els heightmaps hi ha més dispersió i les medianes estan més allunyades del zero.

En les dues tècniques s'observa un error amb més dispersió quan s'utilitza la paleta d'escala de blaus. En aquesta paleta hi ha hagut una tendència a estimar cada valor per

sota del valor real. Els usuaris han tingut més problemes a l'hora d'identificar valors representats amb un color més clar.

Aquest resultat es reflecteix en les valoracions que van fer els participants en el qüestionari d'avaluació. Els usuaris han tingut més facilitat per estimar valors sobre la paleta viridis. L'ús d'una paleta discreta amb 3 colors diferenciats ha influït positivament en l'estimació de valors.

8. Pressupost

En aquesta secció es farà una estimació del pressupost del projecte. Es tindran en compte els costos de personal, costos genèrics, amortitzacions, contingències i imprevistos.

8.1. Costos de personal

Per a poder fer una estimació adequada dels costos de personal, caldrà definir els rols de cada persona involucrada en el projecte. En aquest cas, els rols els tindrà jo mateix, autor del projecte, i els tutors assignats. En la taula 1 s'ha recollit una estimació del cost per hora segons la posició. Aquestes dades s'han obtingut amb l'ajuda de les plataformes Indeed [13] i GlassDoor [14]. S'ha calculat la Seguretat Social com un 30% del sou brut del treballador.

Rol	Cost per hora (€/h)	Cost per hora + Seguretat Social (€/h)
Cap de projecte (CP)	22	28,6
Desenvolupador (D)	17	22,1
Investigador (I)	15	19,5
Tester (T)	15	19,5

Figura 56. Cost per hora del personal segons el rol. Elaboració pròpia.

El cost total del personal dependrà del nombre d'hores dedicades a cada tasca. En la següent taula es recull el cost de cada tasca en funció dels rols involucrats.

ID	Tasca	Hores				Total hores	Cost (€)
		CP	D	I	T		
GP	Gestió del projecte					215	
GP1	Contextualització i abast	30				30	856
GP2	Planificació	25				20	715
GP3	Gestió econòmica i anàlisi de sostenibilitat	20				20	572
GP4	Documentació	60		40		100	2496
GP5	Reunions	10				15	286
GP6	Presentació	30				30	856
TP	Treball previ					40	
TP1	Preparació d'entorn		10	5		15	318,5
TP2	Familiarització amb IATK		20	5		25	539,5
DP	Desenvolupament del plug-in					150	
DP1	Creació de shaders		30			30	663
DP2	Automatització de l'obtenció de les dades		20			20	442
DP3	Implementació de la tècnica Heightmap		40			40	884
DP4	Integració amb IATK		30		10	40	858
DP5	Proves de validació				20	20	390
EU	Estudi amb usuaris					140	
EU1	Selecció de les dades		20	5		40	780 539.5
EU2	Creació de les visualitzacions		35	5	5	30	637 968.5
EU3	Estudi			20	15	35	682,5
EU4	Avaluació			35		35	682,5
Total		175h	170h	150h	50h	545h	12.749 €

Figura 57. Taula de costos per tasca en funció dels rols: CP - cap de projecte, D - desenvolupador, I - investigador, T - tester. Elaboració pròpia.

8.2. Costos genèrics

Els costos genèrics són els que no depenen directament de les tasques, però que també són necessaris per a poder desenvolupar el projecte. A continuació es consideraran les amortitzacions i altres costos indirectes com el cost de l'electricitat o l'internet.

8.2.1. Amortitzacions

El cost del projecte també inclou les amortitzacions dels recursos utilitzats. A nivell de *software* no hi ha hagut cap cost addicional, ja que IATK és open source i la versió de Unity que s'utilitzarà és gratuïta. La resta d'eines com Github o Google Drive tampoc són de pagament.

Pel que fa al *hardware*, es pot calcular l'amortització de cadascun dels dispositius que s'utilitzaran a partir de la següent fórmula:

$$\text{cost del recurs} \times \frac{1}{\text{Anys de vida útil}} \times \frac{1}{126 \text{ dies}} \times \frac{1}{4 \text{ hores}} \times \text{hores d'ús en el projecte}$$

On es té en compte, el preu del dispositiu, les hores que s'ha utilitzat la seva vida útil, el nombre de dies i les hores diàries que s'han dedicat al desenvolupament del projecte.

En la següent taula es recollirà el cost total dels recursos hardware.

Dispositiu	Preu (€)	Vida útil (anys)	Hores	Amortització (€)
Macbook Pro 2018	1500 €	5	545h	324,4 €
Logitech G230	30 €	3	545h	10,8 €
HTC Vive	800 €	2	50h	39,7 €
Total				374,9 €

Figura 58. Costos dels recursos hardware. Elaboració pròpia.

8.2.2. Costos indirectes

És important tenir en compte tots els costos indirectes. En aquest cas, s'ha treballat principalment des de casa i des del laboratori del centre els dies que s'han necessitat els cascos de realitat virtual. Per aquest motiu cal tenir en compte els següents costos afegits:

- **Electricitat:** el preu mitjà avui és de 0,315 €/kWh [15]. El consum del nostre ordinador i ratolí és de 0,061 kWh i el dispositiu HTC Vive consumeix 0,003 kWh. Obtenim el següent cost:

$$(0,061 \text{ kWh} * 545\text{h} + 0,003 * 50\text{h}) * 0,315 \text{ €/kWh} = 11,03 \text{ €}$$

- **Internet:** el cost de l'internet és d'aproximadament 80 € mensuals. És a dir, uns 0,1 €/h. Tenint en compte que s'ha treballat sempre amb connexió a internet, tenim un cost de 54,4 €.
- **Desplaçaments:** generalment s'ha treballat des de casa, però cal tenir en compte el cost dels desplaçaments al laboratori quan sigui necessari. Des del lloc on resideixo fins a la universitat amb transport públic cada viatge costa 9,2 € (anada i tornada). Com que s'ha anat 10 vegades a la universitat, tenim un cost de 92 €.
- **Laboratori del centre:** tot i que no suposi cap pagament addicional, també cal tenir en compte les hores que s'han utilitzat les instal·lacions de la universitat. Una aula universitària a Barcelona amb electricitat, internet, pissarra i projector suposa un cost d'aproximadament 20 € l'hora. S'estima que s'ha utilitzat el laboratori unes 25 hores, per tant, el cost serà de 500 €.

8.2.3. Costos genèrics totals

Seguidament, en la taula 4 es recull de forma resumida el cost genèric del projecte. S'inclouen amortitzacions i costos indirectes.

Descripció	Cost
Amortització	374,9 €
Electricitat	11,03 €
Internet	54,4 €
Desplaçaments	92 €
Laboratori	500 €
Total	1032,33 €

Figura 59. Suma del cost genèric del projecte. Elaboració pròpia.

8.3. Contingències

A causa de possibles desviacions en el calendari de treball del personal, s'ha de definir un percentatge de contingència per adaptar-se de la millor manera possible els recursos del projecte.

Com que aquest es tracta d'un projecte innovador en el qual ens podem trobar amb alguns obstacles, s'ha establert un valor de contingència del 15% sobre el cost de personal.

8.4. Imprevistos

Anteriorment, ja s'han tractat els riscos i possibles problemes que poden aparèixer durant el desenvolupament del projecte. Tot i això, també s'ha de tenir en compte quin sobrecost pot haver-hi a nivell de personal. En la següent taula es pot veure el cost d'hores addicionals.

Risc	Probabilitat (%)	Hores addicionals (h)	Cost (€)
Representació de la tècnica	60%	20	216,96
Integració amb IATK	40%	20	144,54
Redisseny de l'estudi	30%	15	71,76
Total		55	433,26€

Figura 60. Costos dels imprevistos de personal. Elaboració pròpia.

Per altra banda, sempre poden sorgir nous imprevistos sobre els recursos materials que poden suposar un sobrecost en el pressupost final.

A continuació es contemplen les possibles avaries dels dispositius utilitzats. En la taula 5 es recull el preu de reparació, la probabilitat i el cost addicional que suposa cada avaria.

Dispositiu	Probabilitat (%)	Preu de reparació (€)	Cost (€)
Macbook Pro 2018	5%	400	20€
HTC Vive	10%	300	30€
Total		700	105€

Figura 61. Costos dels imprevistos de material. Elaboració pròpia.

8.5. Pressupost final

Finalment, en la següent taula es recull el pressupost final, és a dir, la suma de tots els costos estimats en les seccions anteriors.

Descripció	Cost (€)
Costos de personal	12.749 €
Costos genèrics	1.032,33 €
Marge de contingència	1.461 €
Imprevistos	538,26 €
Total	15.780,59 €

Figura 62. Cost total del projecte.

8.6. Control de gestió

En projectes d'aquestes característiques és difícil fer una bona estimació del temps que durarà cada tasca. Sempre poden haver-hi desviacions durant el desenvolupament que poden alterar el pressupost, per això és clau definir un model per a controlar-lo. En el model que es proposa, cada cop que s'acabi una tasca, cal calcular tots els costos per identificar quines tasques no s'han estimat correctament i redirigir el projecte en la direcció correcta. La desviació per cada tasca es calcula a partir de la següent fórmula.

$$\text{Desviació} = \text{Cost estimat} - \text{Cost real}$$

On tenim que el cost estimat és el cost estimat per tasca, que s'ha detallat en la secció 1.1. També tenim el cost real, que inclou les hores que realment s'han dedicat a la tasca. Una desviació positiva significa una sobreestimació del cost. En aquest cas es poden dedicar més recursos a una altra tasca. En canvi, amb una desviació negativa el sobrecost s'ha de cobrir amb part del pressupost de marge, detallat en la secció 1.3.

9. Sostenibilitat

9.1. Autoavaluació

Al llarg dels meus estudis en Enginyeria Informàtica, la sostenibilitat ha estat present en moltes de les assignatures que he cursat.

Des del meu punt de vista, la sostenibilitat és un tema de vital importància en l'actualitat, especialment en el sector de les TIC. Cal donar més èmfasis als efectes socials, mediambientals i econòmics d'aquestes noves tecnologies que han vingut per quedar-se. Actualment, desenvolupar un producte tecnològic està a l'abast de pràcticament tothom, ja que no es necessiten gaires recursos per fer-ho. Tot i això, no tothom té els coneixements necessaris per a desenvolupar un producte de qualitat que tingui en compte el medi ambient. Avui en dia les TIC són eines accessibles que resulten especialment útils, no obstant això, cal fer-ne un ús adequat, tenint en compte també els efectes que poden tenir sobre el nostre planeta.

Pel que fa a l'aspecte econòmic, considero que sí que és un aspecte important a tenir en compte a l'hora de fer un projecte. Abans de començar sempre és crucial estudiar la seva viabilitat per a fer un millor ús dels recursos disponibles.

Encara que molts considerin que la dimensió econòmica és la més important, també és necessari considerar els efectes que pot tenir un producte a la societat. Més enllà de satisfer una sèrie de necessitats, considero que molts no tenen en compte l'ètica del seu projecte. És important que un tingui en compte els codis deontològics a l'hora de desenvolupar un producte.

En general considero que estic familiaritzat amb molts dels conceptes que apareixen en l'enquesta de EDINSOST, ja que vaig cursar l'assignatura d'ASMI durant els meus estudis.

9.2. Dimensió econòmica

Reflexió sobre el cost que has estimat per la realització del projecte.

La reflexió s'ha fet en la secció 8, s'ha considerat els costos de personal, costos genèrics, el marge de contingència i els possibles imprevistos.

Com es resol actualment el problema que es vol abordar?

S'ha intentat minimitzar el cost econòmic. La implementació s'ha fet a partir d'un software open source i si és possible, l'estudi s'ha fet amb l'ajuda de voluntaris.

En què millorarà econòmicament la teva solució respecte a les existents?

Existeixen pocs productes que permetin visualitzar dades en RV mitjançant heightmaps, la majoria són de pagament. El producte que s'ha desenvolupat és de les poques alternatives open source. És gratuït i qualsevol el pot aprofitar.

9.3. Dimensió ambiental

Has estimat l'impacte ambiental que ha tingut la realització del projecte?

És difícil d'estimar l'impacte ambiental que ha tingut el projecte més enllà de la fabricació dels dispositius utilitzats, l'energia elèctrica utilitzada per al desenvolupament i els desplaçaments dels que participen en el projecte. S'ha tingut en compte l'energia elèctrica utilitzada.

T'has plantejat minimitzar-ne l'impacte, per exemple, reutilitzant recursos?

Els cascos de RV que s'utilitzaran ja són compartits. Es podria minimitzar l'impacte compartint també l'ordinador. Addicionalment, es podria reduir al màxim el nombre de desplaçaments al laboratori.

Com es resol actualment el problema que vols abordar? En què millorarà ambientalment la teva solució respecte a les existents?

Gairebé no hi ha solucions existents que permetin crear visualitzacions interactives i personalitzables usant heightmaps. La solució i estudi ajudarà als altres desenvolupadors i investigadors del sector.

9.4. Dimensió social

Què creus que t'ha aportat a nivell personal la realització d'aquest projecte?

Més enllà d'aprendre noves tecnologies, el projecte m'ha aportat creixement personal i professional. He pogut participar en un projecte innovador. També he pogut aprendre com es fa un estudi d'usabilitat amb persones reals.

Com es resol actualment el problema que vols abordar? En què millorarà socialment la teva solució respecte a les existents?

Actualment, hi ha molt poques eines que permetin visualitzar heightmaps en 3D. Aquesta eina és molt personalitzable i modificable, i a l'usar Unity permet la integració amb altres tecnologies.

Existeix una necessitat real del projecte?

La falta d'estudis rellevants ja suposa una problemàtica real per als desenvolupadors RV. A més, aquesta eina pot facilitar la feina als mateixos desenvolupadors de IATK, que tenen la intenció de millorar el projecte afegint altres tècniques de visualització.

10. Conclusions

L'objectiu principal d'aquest treball de fi de grau era avaluar la percepció de les tècniques de visualització Heatmap i Heightmap en un entorn de realitat virtual. Per assolir aquest objectiu, es va implementar cada tècnica i posteriorment es va dur a terme un estudi de percepció.

Des del punt de vista de la implementació, ha estat de gran ajuda desenvolupar l'extensió a partir d'un software com IATK. Tenint en compte que el desenvolupador no tenia experiència prèvia amb Unity, disposar d'un plug-in d'aquestes característiques ha ajudat a iniciar-se en la plataforma. Aquest software ha facilitat el processament de les dades i la creació dels eixos de per cada tipus de visualització.

S'han complert els requisits establerts a l'inici del projecte. La solució permet crear i configurar visualitzacions Heightmap i Heatmap. Les tècniques desenvolupades s'han integrat correctament amb IATK. Tot i això, un dels aspectes amb força marge de millora, és la configurabilitat i personalització de cada tècnica. Només s'han afegit les opcions de configuració necessàries per a representar les dades. Al cap i a la fi, cada tècnica s'ha desenvolupat amb la finalitat de crear les visualitzacions que posteriorment s'han avaluat en l'estudi de percepció.

Per a dur a terme aquest estudi, s'ha desenvolupat una aplicació de RV. S'ha dedicat bona part del temps de desenvolupament a la configuració del dispositiu de RV. Tot i no tenir sempre els cascos de RV a l'abast, s'ha pogut fer el desenvolupament sense problema gràcies a l'ús d'una extensió simulador. La falta d'experiència amb Unity i la gran configurabilitat que ofereix la plataforma, han suposat una complexitat afegida. També s'ha emprat força temps per a configurar cadascuna de les 40 visualitzacions que es mostren durant l'experiment.

M'hagués agradat fer més tests, però per falta de temps, només han participat 14 persones. No obstant això, es considera que s'han obtingut uns resultats prou representatius. El qüestionari d'avaluació ha estat de gran ajuda a l'hora d'interpretar els resultats obtinguts. En general els usuaris no han tingut grans dificultats per a completar la tasca assignada. La tècnica Heatmap ha estat considerada la més usable i còmode.

Després d'analitzar els resultats obtinguts en els tests d'usuari, s'ha arribat a la conclusió que la tècnica de visualització Heatmap és la més precisa i eficient. La tècnica Heightmap és convenient a l'hora d'estimar els punts més alts. Aquesta però, requereix més temps. S'ha identificat que un dels grans inconvenients de l'ús de Heightmap és l'oclusió.

La paleta discreta viridis ha estat la que ha donat millors resultats. Amb la paleta escala de blaus els participants han tingut més dificultats per a realitzar la tasca, especialment a l'hora d'estimar valors representats amb un color més clar.

Un cop acabat el projecte, es pot afirmar que s'han assolit els objectius definits inicialment i s'han superat els obstacles previstos. Personalment, estic satisfet amb la feina feta i tot el que he après durant la realització del treball.

10.1. Treball futur

Per a millorar l'avaluació, s'hauria pogut redissenyar l'estudi afegint una tasca de localització de valors. Donat un valor numèric, l'usuari hauria d'indicar un exemple en la visualització. Aquest tipus de tasca però, requeriria una implementació addicional força complexa.

Per conèixer més a fons la percepció de l'usuari, seria interessant replicar l'experiment però usant un dispositiu amb eye tracking. Aquest dispositiu ens ajudaria a entendre on mira l'usuari i durant quant de temps. D'aquesta manera es podrien detectar les àrees que generen més confusió.

Són opcions que s'han valorat, però no s'han implementat degut a les limitacions i característiques del projecte. En qualsevol cas, queden com a tasques pendents per a tots aquells que vulguin conèixer més sobre la percepció de heatmaps i heightmaps en entorns de realitat virtual.

11. Referències

- [1] Maxime Cordeil. IATK: Immersive Analytics Toolkit. (2022, June 10) Retrieved on September 26, 2022 from <https://github.com/MaximeCordeil/IATK>
- [2] ViRVIG. (n.d). Retrieved on September 25, 2022 from www.virvig.eu
- [3] Amy Tikkanen. (2013, June 27). stereoscopy. Retrieved on September 25, 2022 from <https://www.britannica.com/technology/stereoscopy>
- [4] Mike Yi. A Complete Guide to Heatmaps. (n.d). Retrieved on September 25, 2022 from <https://chartio.com/learn/charts/heatmap-complete-guide>
- [5] Chris Facer. How to Create a Heatmap in Displayr. (n.d). Retrieved on September 25, 2022 from <https://www.displayr.com/how-to-create-a-heatmap-in-displayr/>
- [6] M. Kraus, J. Buchmüller, Daniel Schweitzer, D. A. Keim and J. Fuchs. Comparative Analysis with Heightmaps in Virtual Reality Environments. (2019, June) Retrieved on September 25, 2022 from <https://d-nb.info/1191099393/34>
- [7] Ronell Sicat, and Jiabao Li, with Hanspeter Pfister of the Visual Computing Group at Harvard University, in collaboration with Won-Ki Jeong, JunYoung Choi, Benjamin Bach, and Maxime Cordeil. DXR: A Toolkit for Building Immersive Data Visualizations. (n.d). Retrieved on September 26, 2022 from <https://sites.google.com/view/dxr-vis>
- [8] Unity. (n.d). Retrieved on December 29, 2022 from <https://docs.unity.com/>
- [9] Santander Universidades. (2020, December 21). Retrieved on September 27, 2022 from <https://www.becas-santander.com/es/blog/metodologias-desarrollo-software.html>
- [10] Phuong Anh Nguyen. The Best Software Development Methodologies for Small Team. (2021, October 9). Retrieved on September 27, 2022 from <https://wearefram.com/blog/software-development-methodologies/>
- [11] Github. (n.d). Retrieved on September 27, 2022 from <https://github.com/>
- [12] Trello. (n.d). Retrieved on September 27, 2022 from <https://trello.com/es>
- [13] Indeed. (n.d) Retrieved on October 10, 2022 from <https://es.indeed.com/>
- [14] Glassdoor. (n.d) Retrieved on October 10, 2022 from <https://www.glassdoor.es/>
- [15] Selectra. Tarifaluzhora. Retrieved on October 10, 2022 from <https://tarifaluzhora.es/>
- [17] Middel Soria, Carolina. Heatmap perception study. (2022, April) Retrieved on January 5, 2023 from <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/367508>

- [18] Skarbez R, Polys NF, Ogle JT, North C, Bowman DA. (2019, September) Immersive Analytics: Theory and Research Agenda. Retrieved on January 16, 2023 from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7805807/>