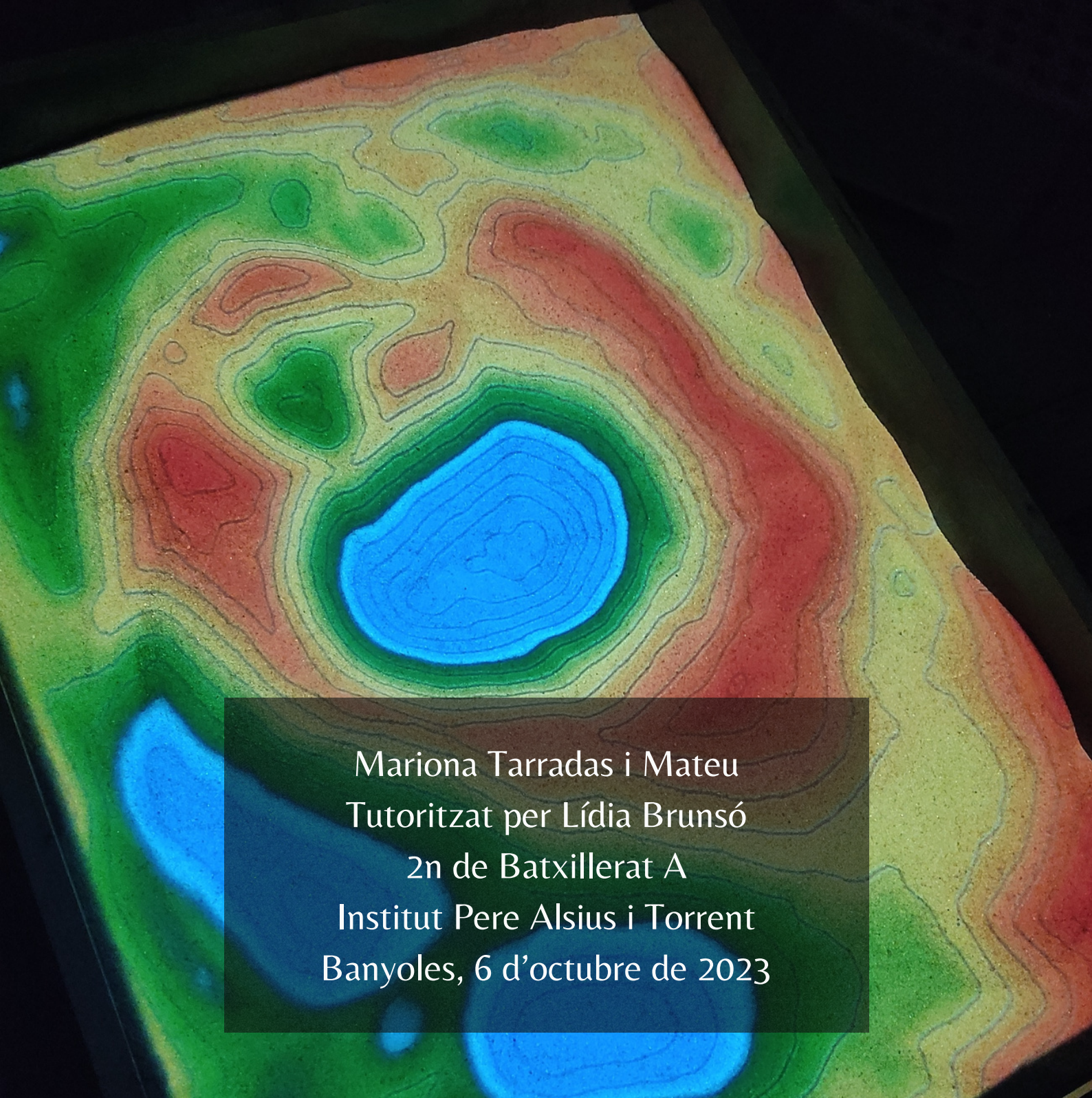


TREBALL DE RECERCA

SANDBOX

Estudi, disseny i construcció d'un nou mòdul
per al MMACA amb activitats educatives



Mariona Tarradas i Mateu
Tutoritzat per Lúdia Brunsó
2n de Batxillerat A
Institut Pere Alsius i Torrent
Banyoles, 6 d'octubre de 2023

AGRAÏMENTS

Voldria donar les gràcies a un seguit de persones que m'han ajudat a dur a terme aquest treball i que sense ells no hagués estat possible:

A Ramon Gallench, el meu professor de robòtica de l'acadèmia CodeLearn, per ajudar-me en tota la part informàtica i a superar tots els entrebancs que se'm presentaven.

A la Dra. Paula López, professora del departament de didàctiques específiques de la Universitat de Girona, per ajudar-me en la preparació d'activitats matemàtiques.

A tots els integrants del Museu de Matemàtiques de Catalunya (MMACA), per donar-me la possibilitat de construir un mòdul per al seu museu i per ajudar-me a preparar activitats matemàtiques per a la Sandbox.

A Carles Galdón, professor de l'Escola Thau de Barcelona, a Alberto García, professor de la UPC i Roberta Genova, cofundadora de la Città Infinita a Espanya, per deixar-me visitar les seves Sandboxes.

A la meva tutora, la professora Lúdia Brunsó, per la seva constant dedicació i ajuda, que han estat imprescindibles per dur a terme aquest treball.

I per acabar, m'agradaria donar gràcies a la meva família, per haver confiat en mi en tot moment, per haver-me ajudat a superar tots els entrebancs que se'm van presentar i per haver-me mostrat suport incondicional.

Resumen

Este proyecto de investigación consiste en el estudio, diseño y construcción de una “*Augmented Reality Sandbox*”, con el propósito de que sea utilizada como un nuevo módulo en el “Museu de Matemàtiques de Catalunya”, el MMACA. Se acabó de completar el proyecto con la preparación de actividades educativas para trabajar conceptos matemáticos relacionados con la *Sandbox*.

Una *Sandbox*, como su nombre indica, es una caja llena de arena, sobre la cual hay un sensor y un proyector. El sensor capta la altura de la arena y envía los datos a un programa informático. Este programa calcula las curvas de nivel, que finalmente se representan en diferentes colores sobre la arena gracias al proyector. Si se cambia la forma de la arena, las curvas de nivel se ajustarán automáticamente a la nueva forma de la arena. Es una herramienta que fue inventada por Oliver Kreylos para explicar fácilmente conceptos geológicos, geográficos e hidrológicos, como curvas de nivel, presas y cuencas hidrológicas. Sin embargo, en este proyecto de investigación se ha buscado una aplicación más matemática.

El proyecto presentado consta de diferentes fases. Por un lado, se requirió buscar información sobre la *Sandbox*, comprender su funcionamiento y encontrar los dispositivos necesarios para su construcción. Por esta razón se localizaron y visitaron las diferentes *Sandboxes* que actualmente se encuentran en Catalunya. Por otro lado, se diseñó y construyó la estructura, teniendo en cuenta que debe ser un módulo expuesto en un museo. También se buscó e instaló el software. En esta fase se realizó un trabajo importante de búsqueda, colocación y calibración de todos los dispositivos. Finalmente, se investigaron las curvas de nivel y se prepararon una serie de actividades para trabajar los conceptos matemáticos asociadas a ellas. Finalmente, la *Sandbox* se preparó para ser exhibida en el MMACA, permitiendo que cualquiera que lo desee pueda acceder a ella.

Abstract

This research project consists in the study, design and construction of an “*Augmented Reality Sandbox*”, which can be used as a new module at the “*Museu de Matemàtiques de Catalunya*”, MMACA. The project has been completed with the preparation of educational activities to work on mathematical concepts related to the *Sandbox*.

A *Sandbox*, as the name suggests, is a box filled with sand, and on top of it there is a sensor and a projector. The sensor captures the height of the sand and sends the data to a computer program. This program calculates the associated contour lines, which are finally represented in different colors on the sand thanks to the projector. If the shape of the sand changes, the contour lines will automatically change and adapt to it. It is a tool that was invented by Oliver Kreylos (University of California, Davis) to easily explain aspects related to contour lines, dams or hydrological basins, in other words, geological, geographical and hydrological concepts. However, in this research project, a more mathematical application has been presented.

The project presented has different steps. On one hand, it was necessary to research information about the *Sandbox*, understand its operation and know the necessary devices for its construction. For this reason, different *Sandboxes* that are currently in Catalunya were found and visited. On the other hand, the structure was designed and built, considering that it had to be exhibited in a museum. Software was also found and installed. In this phase, significant work was done, to research, installation, and calibration of all the devices. Finally, research was conducted on contour lines and series of activities were prepared to study the associated mathematical concepts. Lastly, the *Sandbox* was prepared to be exhibited at MMACA so that anyone who wants to can have access to it.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ.....	3
2. ANTECEDENTS.....	5
2.1. Creadors de l'Augmented Reality Sandbox.....	6
2.2. Sandboxes a Catalunya.....	7
2.2.1. La Sandbox a l'escola Thau.....	8
2.2.2. La Sandbox a la UPC.....	10
2.2.3. La Sandbox a La Città Infinita.....	12
2.3. Dispositius necessaris.....	14
2.4. Mapes.....	15
2.4.1. Corbes de nivell.....	16
2.4.2. Sistema de colors en mapes topogràfics.....	17
3. SOFTWARE I HARDWARE.....	19
3.1. Instal·lació del software.....	21
3.2. Calibració de la Sandbox.....	23
3.3. Post-Instal·lació de la Sandbox.....	27
4. CONSTRUCCIÓ DE L'ESTRUCTURA.....	30
4.1. Esbossos.....	30
4.2. Estructura final.....	34
4.3. Fase de construcció. Problemes que ha calgut resoldre.....	37
4.3.1. 1r pas: construcció de la taula.....	37
4.3.2. 2n pas: construcció del suport de les càmeres.....	39
4.3.3. 3r pas: construcció de l'estructura de les potes.....	40
4.3.4. 4t pas: retocs finals.....	41
5. PREPARACIÓ D'ACTIVITATS MATEMÀTIQUES.....	44
5.1. Competències matemàtiques a primària.....	44
5.2. Propostes d'activitats.....	46
5.3. Preparació del material per a les activitats.....	47
5.4. Fitxes d'activitats.....	49

6. RESULTAT FINAL.....	53
7. CONCLUSIONS.....	55
8. BIBLIOGRAFIA.....	58
9. ÍNDEX D'IMATGES.....	60
10. ANNEXOS.....	62
10.1. Annex 1: Entrevistes.....	62
10.1.1. Entrevista escola Thau.....	62
10.1.2. Entrevista UPC.....	64
10.1.3. Entrevista a la Città Infinita.....	66
10.2. Annex 2: Pressupost.....	68

1. INTRODUCCIÓ

En aquest treball de recerca s'ha dut a terme el disseny i la construcció d'una "Augmented Reality Sandbox" a la que ens referirem com a "Sandbox", i s'han proposat diferents activitats per a l'alumnat de primària. S'ha plantejat el treball perquè el resultat final pugui ser un mòdul exhibit en el Museu de Matemàtiques de Catalunya, el MMACA.

A grans trets una *Sandbox* és una caixa amb una gran quantitat de sorra blanca dins. Sobre la caixa hi ha una estructura que permet subjectar un sensor i un projector. El sensor capta l'alçada i la forma de la sorra. Seguidament, el sensor envia dades a un ordinador i mitjançant un programa informàtic es calculen les corbes de nivell. Finalment, el projector projecta les corbes de nivell sobre la sorra. Mentre el programa funciona, es pot canviar la forma de la sorra i les corbes de nivell també canviaran instantàniament.

Vaig escollir fer aquest treball perquè, per una banda, comportava haver de buscar el software adequat i adaptar-lo. Això m'interessava molt, ja que faig una extraescolar de robòtica i ja tinc certs coneixements sobre programació. Però el que em va atraure més és aconseguir unir el programa amb el sensor i el projector, és a dir, unir el software amb el hardware i aconseguir fer-ho funcionar. Això ha significat anar un pas més enllà i sortir dels habituals exercicis de programació amb l'ordinador. Per altra banda, hi havia la part de construcció de la *Sandbox*. Aquest és un dels motius principals pel qual vaig decidir fer aquest treball. M'encanta crear objectes i manipular eines del taller, sigui tallar fusta, enganxar o pintar. Així doncs, la idea de la construcció de la *Sandbox* em va resultar apassionant des del primer moment.

Inicialment, el treball només preveia la construcció i funcionament de la *Sandbox*, però quan se'm va proposar que aquest projecte podia anar exhibit al MMACA com a mòdul matemàtic, no vaig poder dir que no i vaig accedir-hi a la primera. Vaig pensar, doncs, que podia complementar-lo encara més si suggeria diferents activitats pels visitants del museu. Les activitats que finalment presento estan pensades per a nens i nenes de Primària.

Així que, un cop triat el treball, em vaig plantejar com a objectiu principal: **Construir una *Sandbox* per al Museu de Matemàtiques de Catalunya, el MMACA, amb la finalitat que l'alumnat de Primària pugui aprendre conceptes matemàtics relacionats amb les corbes de nivell.**

Després d'haver formulat aquest objectiu, me'n vaig marcar uns altres de més específics:

- Buscar informació sobre tot el material que es necessita: dispositius necessaris (característiques, marca), programari adient (llenguatge, sistema operatiu), materials adequats per la construcció (fusta, plàstic, acer, etc).
- Buscar i instal·lar el software.
- Aprendre a calibrar la *Sandbox* i fer funcionar el sensor i el projector.
- Construir la *Sandbox* amb les característiques adequades per ser utilitzada en el MMACA.
- Preparar activitats amb la *Sandbox* perquè l'alumnat d'Educació Primària pugui aprendre conceptes matemàtics.

Es pot veure com el treball té una primera part teòrica, la qual comporta la recerca d'informació per a la construcció del mòdul, recerca d'informació sobre les corbes de nivell i recerca del temari de matemàtiques de l'alumnat de Primària. Té una segona part pràctica, que implica tota la construcció d'aquest projecte, així com la preparació d'activitats matemàtiques adequades per a l'alumnat de Primària.

El treball s'ha estructurat segons les parts acabades de descriure. Així doncs, s'ha dedicat la secció 2 als antecedents, amb el resultat de la recerca feta sobre ells. Les seccions 3 i 4 contenen la part de construcció: a la secció 3 s'explica la instal·lació del software i la calibració amb els altres dispositius, i a la secció 4, la construcció de l'estructura de la *Sandbox*. A la secció 5 es detalla el procés seguit en la proposta de les activitats educatives per treballar conceptes matemàtics amb la *Sandbox* i les fitxes de les activitats preparades. El resultat acabat, la *Sandbox* muntada, es mostra a la secció 6. Finalment, el treball de recerca acaba amb unes conclusions, la bibliografia consultada i uns annexos.

2. ANTECEDENTS

Una *Sandbox de Realitat Augmentada* consta de, com en diu el nom, una caixa amb sorra a dins, amb un sensor i un projector sobre d'aquesta que projecten diferents corbes de nivell segons l'alçada i la forma de la sorra.



Figura 1: *Sandbox* construïda per la Universitat de Califòrnia a Davis.
Font: <https://web.cs.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/SARndbox/>

Com es pot veure a la figura 1, les corbes de nivell tenen colors diferents depenent de l'alçada de la sorra. Per exemple, si amb la sorra fem una muntanya alta, les respectives corbes de nivell aniran del color blanc i vermell fins al color verd fosc o blau.

Aquesta estructura requereix un ordinador amb sistema operatiu Linux. Ha de ser Linux, perquè el programari lliure que hi ha disponible no pot executar-se a través de Windows.

Un cop acabada, s'hauria d'evitar moure i sacsejar la *Sandbox*, ja que és molt fàcil que el sensor i el projector es descalibrin. Es recomana fer una revisió cada cert temps per comprovar que segueix tot calibrat. Depenent del muntatge, pot ser necessària una revisió cada dia o una cada mes.

També cal fer un manteniment de la bombeta del projector. El sensor i l'ordinador no s'hauran de canviar, sempre que estiguin en bones condicions. S'ha d'evitar que l'ordinador s'escalfi, per tant, cal tenir-lo a algun lloc ventilat. [4]

2.1. Creadors de l'*Augmented Reality Sandbox*

La *Sandbox* de la figura 1 va ser el resultat d'un projecte subvencionat per la *National Science Foundation* liderat per Oliver Kreylos, investigador de la *University of California, Davis* (EUA) i membre del *Keck Center for Active Visualization* (KeckCAVES). El projecte, iniciat l'any 2012, també va comptar amb la participació del *UC Davis Tahoe Environmental Research Center* (TERC), de l'*ECHO Lake Aquarium* i del *Lawrence Hall of Science*.

El KeckCAVES és un centre d'investigació que pertany a la *University of California, Davis*, dedicat a la visualització activa i la innovació en les ciències de la Terra. És un centre conegut pel seu treball en la creació de models i representacions visuals avançades, usant tecnologies com la realitat virtual i augmentada. L'objectiu d'aquests models és el d'ajudar els científics i investigadors a millorar la seva comprensió i exploració de processos geològics i científics relacionats amb la Terra.

D'aquesta col·laboració entre científics geòlegs i informàtics en va resultar un programari que permet interactuar a temps real amb dades tridimensionals, com seria moure, pintar, girar o manipular dades amb facilitat, a través d'un maquinari de visualització i interacció.

Al principi la seva intenció era el desenvolupament d'un conjunt de tècniques de visualització amb la finalitat de poder millorar les interpretacions científiques. Ara, que fa temps que aquest projecte s'ha iniciat, s'està expandint i també col·laboren amb ensenyament i educació, així com en altres investigacions. [15]

El *Tahoe Environmental Research Center* (TERC), té com a missió investigar sobre els ecosistemes aquàtics i terrestres. Avui dia, està estudiant el llac Tahoe, situat entre Califòrnia i Nevada. El seu objectiu és fomentar la salut i la sostenibilitat dels ecosistemes tant aquàtics com terrestres i conscienciar les comunitats locals i la població mundial. Actualment, les seves investigacions es transfereixen cap a l'educació pública a través dels seus programes. [13, 14]

L'*ECHO Lake Aquarium and Science Center* té com a objectiu fer veure als seus visitants l'entorn natural com una part important de la seva vida. La natura i el

medi ambient és una part rellevant del planeta i la societat. Volen que la gent s'impliqui més en aquest tema. [7]

El *Lawrence Hall of Science* és un centre d'educació i recerca científica. Tenen com a propòsit ensenyar als seus alumnes els descobriments científics en l'entorn de llacs i conques hidrogràfiques. [10]

Inicialment, van dur a terme la construcció de la *Sandbox*, que permet representar un mapa o una superfície terrestre en 3D. Amb ella es poden estudiar aspectes sobre les corbes de nivell, conques hidrològiques, zones de captació o dics, és a dir, conceptes geològics, geogràfics i hidrològics.

Així doncs, a través de la visualització 3D que permet la *Sandbox*, es vol ensenyar i fer entendre aspectes relacionats amb els ecosistemes terrestres i aquàtics.

La *Sandbox* està pensada per a un públic de diverses edats. Els nens d'Educació Infantil (menors de sis anys) tan sols juguen amb la sorra i poden veure com funciona. En canvi, els nens i nenes de Primària, ja poden aprendre conceptes senzills, com serien les corbes de nivell, com varia el color segons l'alçada de la sorra, el flux bàsic d'aigua, etc. Els alumnes de Secundària, a més a més d'aprendre sobre les corbes de nivell, poden aprofundir sobre les xarxes de flux i la propagació de les ones. Finalment, els estudiants universitaris i els adults poden aprendre processos més complexos de les ciències de la Terra, així com estudiar els requisits informàtics necessaris per poder fer una simulació a temps real.

2.2. **Sandboxes a Catalunya**

Com ja s'ha comentat, la primera *Sandbox* de realitat augmentada es va crear a la Universitat de Califòrnia, la UC Davis. Tot i això, aquesta primera *Sandbox* va ser inspirada en un prototip creat per investigadors txecs. A partir d'aquí, se n'han anat construint més, ja siguin empreses que ho fan per vendre-les, o altres escoles i universitats que les construeixen per fer-ne un ús acadèmic.

Després d'investigar una mica, s'ha trobat que a Catalunya, en aquests moments n'hi ha tres, una a l'Escola Thau de Barcelona, una altra a la UPC i finalment, una tercera a La Città Infinita del Maresme. Durant el curs 22-23 es va contactar amb els responsables de cadascuna de les *Sandboxes* i es va demanar una entrevista

per tal de poder veure i utilitzar la seva *Sandbox*. Sorprenentment, les 3 *Sandboxes* són significativament diferents entre elles.

2.2.1. La *Sandbox* a l'escola Thau

La primera *Sandbox* que es va trobar va ser la de l'escola Thau. L'escola Thau és una escola concertada de Barcelona que té alumnes de les etapes d'Infantil, Primària i Secundària. Es va trobar aquesta *Sandbox* a través d'un vídeo del 324 penjat a internet. Es va contactar amb la direcció de l'escola i ràpidament es va rebre el contacte d'en Carles Galdón, el professor responsable de la *Sandbox*, amb qui es va concertar una entrevista presencial. Durant l'entrevista es va poder veure i provar la *Sandbox*, i el professor va explicar com l'empraven.



Figura 2: *Sandbox* de l'Escola Thau de Barcelona.
Font pròpia.

Com es pot veure a la figura 2 l'escola Thau disposa d'un model de *Sandbox* amb una estructura rectangular amb unes mides 1 metre de llargada per 75 centímetres d'amplada. L'alçada de la taula és de 20 centímetres, però el sensor i projector estan a 1 metre i 1,5 metres d'alçada respectivament, des de la sorra de la *Sandbox*. Les potes són de 60 centímetres d'alçada.

De les dues bandes de 75 centímetres, en surten dues estructures que a 1 metre d'alçada s'ajunten a través d'un suport horitzontal. En aquest suport s'hi aguanta el sensor, just al centre de la *Sandbox*.

Les dues estructures encara van més amunt, fins a 2 metres d'alçada, perquè a 1,5 metres hi ha el projector situat de forma no centrada i inclinat perquè projecti sobre la *Sandbox* i no a fora.

En una d'aquestes estructures hi ha una pantalla on es mostren les corbes de nivell projectades en 2D. D'aquesta manera els alumnes poden comparar un mapa topogràfic de tres dimensions amb un de dues dimensions.

La sorra que utilitzen és sorra normal de platja barrejada amb silici, ja que li dona més consistència. Addicionalment, podem humitejar la sorra amb una mica d'aigua. D'aquesta manera queda més compacte i es poden fer muntanyes més altes i serralades més primes. Com que en tirar-hi aigua la sorra queda humida, es va escollir el vidre i el ferro com a materials per a la taula i estructura del projector i sensor respectivament.

L'ordinador, que és un PC de sobretaula, està guardat sota la taula. Hi ha una plataforma, a uns 30 centímetres del terra, que aguanta el PC i, just a sota la taula, hi ha un calaix amb un teclat d'ordinador i un ratolí, per obrir la *Sandbox* i preparar-la.

Aquesta *Sandbox* s'usa a diferents aules, per això és necessari que sigui mòbil. Per aquesta raó disposa d'unes rodes a les potes. Per altra banda, i per tal que pugui passar per les portes de les aules, es va fer que l'estructura que aguanta el projector es pugui moure. Amb un motor es pot fer baixar l'estructura de manera que quedi a l'altura del sensor i es pugui passar per les portes. Una vegada dins l'aula, el motor torna a fer pujar l'estructura i la *Sandbox* queda preparada per fer-ne ús.

Al ser mòbil, però, van veure que es descalibra molt ràpidament. Una solució que van trobar va ser separar la taula del projector i sensor, però en fer-la servir tan poc van decidir deixar-ho com estava i calibrar-la quan calgués.

La *Sandbox* de l'Escola Thau no s'utilitza molt. La fan servir alumnes de 5è i 6è de primària a classe de geologia al tercer trimestre de curs. Tenen un dossier amb diverses activitats, com seria dibuixar el relleu de Catalunya. També la fan

servir per fer exàmens; els hi fan representar un golf, una serralada, trobar el millor lloc per posar-hi una ciutat per si mai ha de ploure molt, etc.

Un altre dels problemes que tenen, a banda de la ràpida descalibració, és que poden fer ploure, però un cop ha plogut, l'aigua es queda en el mapa i no marxa. Una solució que hi van trobar va ser afegir un botó a la *Sandbox* que quan es premés, evaporari tota l'aigua que hi ha. De tota manera, encara no ho han dut a terme.

2.2.2. La *Sandbox* a la UPC

La segona *Sandbox* que es va trobar a Catalunya fou construïda a la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), més concretament al Campus Nord, a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports de Barcelona (ETSECCPB). Es va trobar aquesta *Sandbox* a través dels professors de l'escola Thau. Es va contactar amb el Dr. Alberto Garcia del Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental i es va concertar una entrevista presencial. Durant l'entrevista, també es va poder veure i provar la *Sandbox*, que va ser construïda com un treball final de grau.

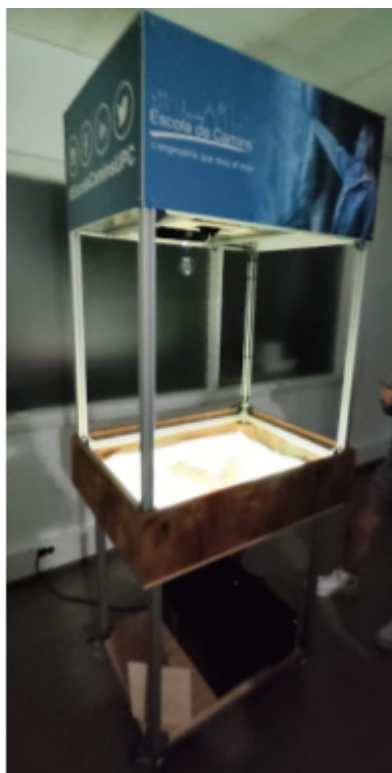


Figura 3: *Sandbox* de l'ETSECCPB a la UPC.
Font pròpia.

En aquest cas (veure figura 3) l'estructura és bastant diferent de la de l'escola Thau, ja que dels seus quatre vèrtexs hi surten quatre columnes que aguanten una superfície rectangular de les mateixes dimensions que la taula. Aquesta superfície aguanta el sensor i projector. El primer està al centre de la *Sandbox*, a diferència del segon, que no ho està i, a més a més està inclinat perquè només projecti sobre la taula.

Té unes mides més reduïdes: 60 centímetres d'amplada, 80 centímetres de llargada i l'alçada de la taula és de 20 centímetres. La superfície amb el sensor i projector es troben a 80 centímetres d'alçada respecte a la sorra de la *Sandbox*. Les potes són de 60 centímetres d'alçada.

L'ordinador, de la mateixa manera que a l'escola Thau, està guardat sota la taula, sobre una plataforma situada a uns 30 centímetres del terra. També tenen un calaix amb un teclat d'ordinador i ratolí per preparar-la.

Aquesta *Sandbox* està feta de fusta, ja que no es contempla la possibilitat de mullar la sorra amb aigua. Per altra banda, només s'utilitza sorra de platja, sense la barreja de silici, que com s'ha explicat abans, permet modelar millor.

Pel que fa al software, s'usa el mateix que l'Escola Thau, però en aquest cas tenen activades més possibilitats. A diferència de l'Escola Thau, si es prem el número 1 del teclat, el software simula pluja abundant, mentre que si es prem el número 2, se simula la completa evaporació de l'aigua.

Mentre que a l'escola Thau van pensar un model que fos pràctic, però a la vegada estèticament agradable, aquí a la UPC només volien que fos pràctic i fàcil de transportar, és a dir, que no es descalibrés mai el sensor. Per això van fer una estructura molt compacta.

Es pot separar en tres parts, la part de les potes, que inclou la superfície que aguanta l'ordinador; la part de la taula amb la sorra; i la part de l'estructura que aguanta el sensor i el projector.

Tot i que es pugui separar, les tres peces encaixen molt bé, de manera que no tremola gens quan rep algun cop o és transportada.

En aquesta *Sandbox* no hi havia cap pantalla per projectar en 2D, però és un punt que tenen present i que els agradaria poder afegir per millorar la *Sandbox*.

No utilitzen molt la *Sandbox* a la UPC. L'usen durant la jornada de portes obertes pels alumnes de 2n de Batxillerat i per impartir tallers a professors de secundària. Algun professor de la UPC també la fa servir a la seva primera classe del curs per ensenyar als alumnes per què serveix i què poden arribar a fer en aquella assignatura.

2.2.3. La *Sandbox* a La Città Infinita

La Città Infinita és una entitat amb seu a Itàlia, França i Catalunya que té com a objectiu promoure la cooperació entre infants i famílies. Ofereixen diversos jocs de construcció per crear un treball cooperatiu amb la família. La seva activitat principal és construir una ciutat de forma cooperativa mitjançant peces de residus industrials de diverses formes i mides. L'activitat comença amb la construcció de la pròpia casa per posteriorment connectar-la amb els veïns dissenyant carreteres, autopistes, ponts, parcs, etc. Aquesta associació també disposa d'una *Sandbox* amb la qual ofereixen altres activitats. [9]

Es va descobrir La Città Infinita a través de Guido Ramellini, un membre del MMACA, qui va passar el contacte de la Roberta Genova. Roberta Genova és qui va aconseguir que La Città Infinita arribés fins a Espanya.

Es va concertar una entrevista presencial amb ella per poder anar a veure la *Sandbox*, que va ser construïda amb la finalitat que els infants que la utilitzessin poguessin experimentar amb la sorra i jugar-hi.

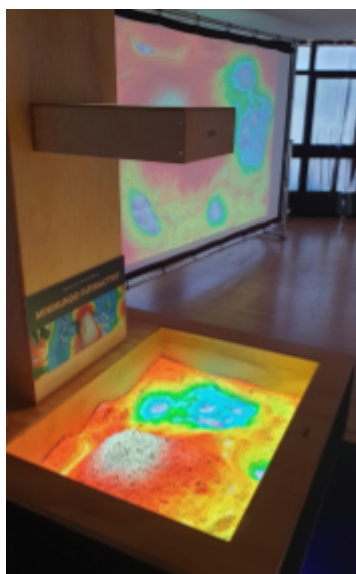


Figura 4: *Sandbox* de la Città Infinita.
Font: Roberta Genova.

Aquesta tercera *Sandbox* també és diferent de les dues anteriors, com es pot veure a la figura 4. Té unes mides de 72 centímetres d'amplada, 97 centímetres de llargada i, la taula en si, té una alçada de 40 centímetres. El sensor es troba a una alçada de 97 centímetres respecte a la sorra i el projector a 1,2 metres.

D'una de les bandes llargues de la *Sandbox*, hi surt una columna de 40 centímetres de llargada i 10 centímetres d'amplada. Aquesta estructura aguanta una superfície rectangular, que és on hi ha el sensor, just al centre de la *Sandbox*, a 97 centímetres d'alçada respecte a la sorra. La columna arriba fins a una alçada d'1,2 metres, per poder aguantar el projector, que no està centrat, sinó més cap al costat i inclinat.

A l'estructura de la *Sandbox* no hi tenen cap pantalla on es puguin veure les corbes projectades en 2D. Així i tot, segons va explicar la Roberta, en algunes ocasions han instal·lat una gran pantalla (veure figura 4).

Només utilitzen sorra de platja, i perquè tingui més consistència, hi tiren aigua. Per evitar que la fusta es faci malbé amb la humitat de la sorra, l'han impermeabilitzat.

A diferència de les altres dues *Sandboxes* visitades, aquesta no té potes, ja que està pensada perquè la facin servir infants de 4 anys o més. Els costats de la taula també són més amples perquè els nens i les nenes s'hi puguin recolzar. La utilitat que li donen és purament lúdica, és a dir, els nens i nenes hi juguen sense treballar específicament cap concepte.

La Città Infinita, a diferència de l'Escola Thau i la UPC, usa un ordinador portàtil que tenen situat a darrere la columna de la *Sandbox*.

Igual que les altres *Sandboxes*, aquesta també permet fer ploure. Però tenen el mateix problema que a l'Escola Thau: un cop s'ha fet ploure l'aigua no marxa.

Segons va comentar la Roberta, el principal problema que tenen amb la *Sandbox* és que se'ls descalibra a l'hora de transportar-la. Per això estan buscant altres estructures on el sensor i projector no es moguin tant.

2.3. Dispositius necessaris

En aquest apartat, deixant de banda l'estructura, es detallen les característiques de l'equipament que es necessita. Com s'explicarà a la secció 3, existeix un programari lliure pel càlcul de les corbes de nivell, per tant, aquí es detallaran les característiques dels dispositius tenint en compte aquest programari, és a dir, un ordinador, un sensor i un projector. [5]

Perquè funcioni el programari de la *Sandbox*, és necessari que el sistema operatiu de l'ordinador sigui Linux. Linux és un sistema operatiu d'ordinador de codi obert i gratuït. Altres sistemes operatius són Windows, macOS o ChromeOS. És conegut per la seva estabilitat, seguretat i flexibilitat, i es fa servir en una àmplia gamma d'aplicacions, des de dispositius mòbils fins a servidors d'empreses. [12]

Linux té diverses distribucions, és a dir, versions del sistema operatiu Linux. Les més populars són Ubuntu i Linux Mint. La segona és la que s'ha usat per a construir la *Sandbox* que es presenta en aquest treball de recerca. Té un ús senzill i ofereix un ampli conjunt d'aplicacions i eines i actualitzacions regulars.

Pel que fa a l'ordinador, es recomana que no sigui portàtil, sinó un de sobretaula i, a preferir, que no sigui un macOS X.

Cal un ordinador amb una CPU Core i5 o i7, amb una targeta gràfica Nvidia GeForce GTX 1060 i amb 4Gb de RAM.

El sensor que fa falta també ha de ser un d'específic, ja que no tots els sensors existents són compatibles amb aquest programa. Alguns que sí que funcionen són el Microsoft Kinect per a Xbox 360 (Kinect v1) o Microsoft Kinect per a Xbox One (Kinect v2).

També existeixen càmeres, que tenen incorporats els dos dispositius, el projector i el sensor. Una càmera compatible amb el programari de la *Sandbox* seria Intel RealSense, tot i que no es recomana fer-la servir perquè no acabaria de funcionar del tot bé.

Tenint en compte que no s'aconsella usar Intel RealSense i que Microsoft ha deixat de fabricar els models Kinect, ara per ara no hi ha cap sensor de primera mà ideal per a la *Sandbox*. Així i tot, se'n poden comprar de segona mà, mentre s'espera que es desenvolupi un nou model.

Un cop instal·lat el programari, no es necessita connexió a internet per poder fer-lo funcionar. De fet, els creadors de la *Sandbox* [4] recomanen desactivar l'ordinador d'internet (els adaptadors Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth...) una vegada la *Sandbox* està acabada.

2.4. Mapes

En aquest apartat s'introduirà molt breument la informació trobada sobre mapes i corbes de nivell que s'ha trobat després de fer una cerca. Més concretament es veuran quins tipus de mapa existeixen, quin és el que utilitza la *Sandbox*, què són les corbes de nivell, quins tipus hi ha i què signifiquen els colors. Tota aquesta informació es pot trobar més extensament a la bibliografia [1, 2]

La ciència i l'art encarregada de crear, interpretar i usar mapes es coneix com a cartografia. S'encarrega d'analitzar i realitzar mesures de diferents regions de la Terra, per poder fer-ne una representació gràfica amb dues dimensions a escala reduïda, és a dir, constituir el que avui en dia coneixem com a *mapes*. No va ser fins a principis del segle XIX quan la gent va començar a aprendre a llegir mapes. És important tenir en compte l'objectiu i l'escala del mapa, perquè determinen el nombre i l'extensió dels trets geogràfics representables.

Hi ha molts tipus de mapes arreu del món, com serien els corogràfics, planimètrics, topogràfics, climàtics, de transport, etc.

El mapa fet servir en la *Sandbox* és el mapa topogràfic. En general, el mapa topogràfic es caracteritza per fer una representació detallada i precisa del relleu del terreny, mostrant-ne les característiques del relleu i paisatge, com muntanyes, valls, rius, boscos, carreteres, edificis, etc. Aquest tipus de mapes fan ús de corbes de nivell per mostrar canvis d'elevació i símbols específics per representar diferents elements del paisatge. Depenent del mapa topogràfic només hi ha marcats els canvis d'elevació o també es representen els símbols específics. Concretament, el mapa topogràfic de la *Sandbox*, només mostra el canvi d'elevació amb corbes de nivell i canvis de colors.

2.4.1. Corbes de nivell

Les corbes de nivell són línies imaginàries que uneixen punts d'un territori que estan en la mateixa altitud. Així doncs, cada corba indica una altura concreta, per això, si dues corbes estan molt juntes, significa que hi ha molt de pendent, i, en canvi, si estan molt separades, vol dir que hi ha un pendent molt suau. És per això que és important que la distància entre corba i corba sigui constant, és a dir, que cada X metres d'alçada hi hagi una corba de nivell (depenent del mapa i la seva escala, hi haurà més o menys corbes de nivell).

Hi ha diferents tipus de corbes, diversos estils i grossors, que s'utilitzen a la majoria dels mapes topogràfics. Podem trobar les corbes mestres, que apareixen cada 4 o 5 corbes, i són dibuixades amb un traç continu més gruixut que les altres. En aquestes corbes s'hi sol indicar l'alçada respecte al mar a la qual es troben.

També tenim les corbes de nivell intermedi, que són les 3 o 4 corbes existents entre les corbes mestres, i tenen un traç continu la meitat de gruixut que les mestres.

A més a més, també hi ha les corbes de nivell intercalat, que són corbes discontinües que divideixen l'espai entre les corbes de nivell intermedi en 2, 4 o 5 parts iguals.

Un altre tipus de corba de nivell és la de depressió, que es fan servir quan la corba situada a l'interior d'una altra corba es troba a una altura més baixa que no pas la corba de l'exterior. Quan passa això, s'afegeixen petits traços en angle recte sobre el lateral inferior de la línia tancada. Actualment, aquest tipus de corbes no s'utilitzen, ja que amb el color es pot saber si la corba està a una posició més alta o més baixa.

Finalment, hi ha les corbes de nivell sobreposades, són línies úniques que representen diverses corbes de nivell. Les podem trobar en accidents verticals o quasi verticals, com serien els penya-segats, desmunts, terraplenes, etc.

A la figura 5 es poden observar tots els tipus de corbes de nivell. El número 1 marca les corbes de nivell mestres, el 2 les intermèdies, el 3 les de nivell intercalat, el 4 les de depressió i el 5 les sobreposades.



Figura 5: es poden observar tots els tipus de corbes de nivell.
Font pròpia.

La *Sandbox* que s'ha construït en aquest treball llegeix el relleu de la sorra i hi projecta corbes de nivell, de manera que s'acaba podent veure un mapa topogràfic de dues maneres diferents, en 2D sobre la pantalla de l'ordinador i en 3D projectat sobre la sorra.

Les corbes de nivell que s'utilitzen a la *Sandbox* són les de nivell intermedi i si s'escau, les sobreposades. Si es mira en vertical, en cada centímetre hi ha una corba, sempre de la mateixa grossor i contínua. No hi ha corbes de nivell de depressió, ja que això es pot saber amb el sistema de colors emprat.

2.4.2. Sistema de colors en mapes topogràfics

El sistema de colors en un mapa depèn molt del tipus de mapa que es fa servir. Alguns s'acolorixen uniformement i alguns altres amb només uns pocs símbols lineals. En els mapes topogràfics, els colors usats són el blau, verd, groc, vermell i gris o blanc.

Els colors fets servir en la *Sandbox* són el blau per la representació d'aigua, siguin rius, mar o llacs. El verd representa elevacions baixes, depenent de l'alçada serà verd fosc o clar. El groc apareix quan les elevacions són més elevades, però no molt, ja que quan són molt elevades és de color vermell, i si encara ho és més, és de color blanc. Aquest sistema de colors es pot veure a la següent figura:

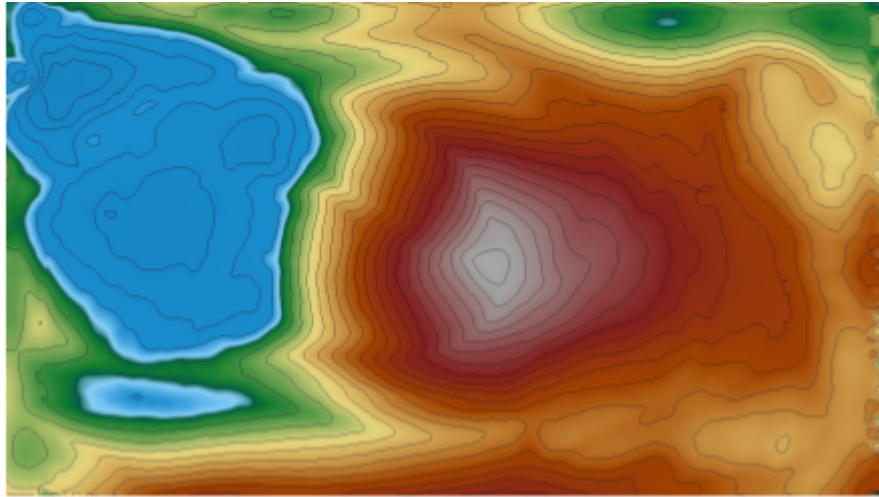


Figura 6: colors emprats en les corbes de nivell de la *Sandbox*.
Font pròpia.

3. SOFTWARE I HARDWARE

Abans de dur a terme la instal·lació del programari de la *Sandbox* es van haver de trobar els dispositius necessaris, és a dir, un ordinador, un sensor i un projector, les característiques dels quals s'han detallat a l'apartat 2.3.

Es va trobar un ordinador que complia amb tots els requisits necessaris, ja que tenia una CPU Core i5, una targeta gràfica Nvidia GeForce GTX 1050 i 8 Gb de memòria RAM.



Figura 7: ordinador usat per construir la *Sandbox*.
Font pròpia.

A l'hora de comprar el sensor es va descobrir que la marca Kinect s'havia deixat de fabricar. N'havien fet un nou model, però no complia amb els requisits que es demanaven per a la *Sandbox*. Finalment, es va trobar un sensor Kinect de la Xbox One de segona mà.



Figura 8: sensor Kinect usat per construir la *Sandbox*.
Font:
<https://www.backmarket.es/es-es/p/microsoft-kinect-xbox-one/3ed4820-5b2d-4784-8d0e-619689d54455#!=11&l=11>

La marca del projector no era rellevant en quant el funcionament de la *Sandbox*, per això es va anar a buscar un projector que fos petit i de poc pes, però que a la vegada tingués bona resolució. Se'n va escollir un de marca AKIYO que es

connecta amb HDMI. Té una resolució de 1280 x 720 píxels i una mida de 13,6 x 11 x 5,8 centímetres.



Figura 9: projector usat per a la construcció de la *Sandbox*.
Font: Amazon.

Un cop trobats tots els dispositius, es va iniciar la fase de la instal·lació del programari de la *Sandbox*. Per a aquesta part s'han seguit les instruccions donades per Oliver Kreylos, el principal creador de la *Sandbox de Realitat Augmentada*, des de la seva pàgina [6].

Així doncs, primer es va haver d'instal·lar el programari a l'ordinador, i tot seguit, calibrar el sensor i projector perquè captés el lloc exacte de la sorra i es projectés just al mateix lloc.

Per dur a terme aquesta part es va demanar l'ajuda del Sr. Ramon Gallench, professor de robòtica de l'acadèmia CodeLearn, que ajudà en la instal·lació del Linux i el programari de la *Sandbox*.

En els següents apartats es detallen amb precisió els passos seguits. Cal esmentar que en lloc de fer servir un codi, s'han fet servir comandes, que es detallaran dins un requadre de color gris.

Les comandes són instruccions que serveixen per executar tasques o operacions específiques. Cada codi té les seves comandes específiques. Per executar-les s'han d'introduir a la terminal o línia de comandes d'un sistema operatiu, en aquest cas, Linux Mint. La terminal és un programa que permet als usuaris interactuar amb l'ordinador. No es pot saber amb exactitud el codi usat per fer les comandes, però s'ha deduït que era C++ o C. [8]

3.1. Instal·lació del software

El primer pas va ser instal·lar Linux a l'ordinador. Abans d'instal·lar-lo, es va haver de triar una distribució de Linux. La universitat de Califòrnia va fer servir i recomana Linux Mint, per això es va fer servir aquest.

Prèviament, es va necessitar crear una unitat d'arrencada, que comporta convertir una memòria USB en una eina des de la qual es pot iniciar i instal·lar un sistema operatiu com Linux. En aquest cas es va descarregar Linux Mint a un USB.

Després es va connectar la memòria USB a l'ordinador i es va haver de reiniciar per poder accedir a la configuració d'arrencada.

Tot seguit es va haver de reduir la partició de Windows, és a dir, disminuir una mica l'espai de Windows per a Linux. S'ha de vigilar deixar prou espai per a Windows, però que n'hi hagi prou per a Linux. L'espai que es va crear s'anomena un espai "no assignat". També es va canviar l'ordre d'arrencada perquè la memòria USB fos la primera opció i, per tant, s'obris sempre Linux i no Windows. Finalment, es va instal·lar Ubuntu. L'espai "no assignat" que es va deixar abans va ser ocupat Linux.

El següent pas va ser instal·lar els controladors subministrats pel proveïdor per a la targeta gràfica Nvidia. Per fer-ho, cal anar al gestor d'unitats i seleccionar "Controlador Nvidia 331", que és un controlador aplicable pel sistema. Si es deixés el que hi havia seleccionat per defecte, no es podria acabar de fer un bon ús de la *Sandbox*.

Tot seguit, per comprovar el funcionament correcte dels controladors, es va anar a la terminal a introduir la següent comanda:

```
glxinfo | grep vendor
```

Es va comprovar que la resposta de la terminal fos la correcta, és a dir:

```
server glx vendor string: NVIDIA Corporation  
client glx vendor string: NVIDIA Corporation  
OpenGL vendor string: NVIDIA Corporation
```

En cas de no contestar amb "NVIDIA Corporation" a les tres línies, ens indicaria l'existència d'algun error en la instal·lació.

El següent pas per continuar amb la instal·lació del Software és la instal·lació de “Vrui VR Development Toolkit”. Per fer-ho, es va obrir una altra terminal i s’hi va introduir:

```
cd ~  
wget http://web.cs.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/Vrui/Build-Ubuntu.sh  
bash Build-Ubuntu.sh
```

I un cop instal·lat, es va afegir:

```
rm ~/Build-Ubuntu.sh
```

El conjunt d’eines de Vrui intenta crear una pantalla a escala 1:1, és a dir si l’aplicació dibuixa una línia de 5 cm, a la pantalla haurà d’aparèixer exactament a 5 cm. Aquesta funció és un problema, ja que no funciona en projectors i, per tant, fou necessari desactivar-la. Per desactivar-la es va executar a la mateixa terminal:

```
sudo xed /usr/local/etc/Vrui-8.0/Vrui.cfg
```

El següent pas fou instal·lar el “Kinect 3D Video Package”. El “Kinect 3D Video Package” és un paquet de programari que serveix per capturar dades 3D a partir del sensor Kinect. Les següents comandes van descarregar, descomprimir i instal·lar aquest paquet de programari:

```
cd ~/src  
wget http://web.cs.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/Kinect/Kinect-3.10.tar.gz  
tar xzf Kinect-3.10.tar.gz  
cd Kinect-3.10  
make  
sudo make install  
sudo make installudevrules  
ls /usr/local/bin
```

Finalment, es va instal·lar el programari de la *Sandbox de Realitat Augmentada*. Això es va fer executant a la terminal:

```
cd ~/src  
wget  
http://web.cs.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/SARndbox/SARndbox-2.8.tar.gz
```

```
tar xzf SARndbox-2.8.tar.gz
cd SARndbox-2.8
make
ls ./bin
```

Amb aquest últim pas es va tenir el software de la *Sandbox* instal·lat. Els passos que es detallen en el següent apartat van servir per a la seva configuració i calibració.

3.2. Calibració de la *Sandbox*

Els passos que s'indiquen en aquest apartat són per aconseguir connectar el sensor i el projector amb el software instal·lat i alinear-los amb la caixa de sorra. Fa falta una fase de calibració per indicar les dimensions de la caixa així com la profunditat. D'aquesta manera es va obtenir que la lectura de la forma de les muntanyes de sorra i la posterior projecció de les corbes de nivell quedin dins la caixa. És important remarcar que, abans de començar amb aquesta part de calibració, va ser necessari tenir l'estructura de la *Sandbox* feta (veure secció 4) amb el sensor i el projector connectats a l'ordinador i col·locats als seus llocs corresponents. Un cop fet això es van haver de descarregar els paràmetres de calibratge, és a dir, les configuracions específiques que la *Sandbox* necessita per funcionar correctament. Aquests paràmetres són molt importants perquè tenen informació sobre les dimensions de la caixa de sorra, la profunditat de lectura, els paràmetres de la càmera i els ajustos de la calibració interna.

El primer pas per descarregar-los, va ser executar a la terminal la següent comanda:

```
sudo /usr/local/bin/KinectUtil getCalib 0
```

El següent pas és opcional, i consisteix a calcular la correcció de profunditat per píxel. Es va executar a la terminal:

```
sudo /usr/local/bin/RawKinectViewer -compress 0
```

Aquest pas, tot i ser opcional es recomana fer-lo, ja que els sensors Kinect Xbox tenen una petita deformació de profunditat no lineal, de manera que si el sensor apunta a una superfície plana, quan es reconstrueix en 3D no mostra pla, sinó una lleu forma de bol.

Abans d'executar aquesta funció, és necessari que el sensor estigui davant una superfície plana.

Tot seguit es va procedir a alinear el sensor. Primer de tot es va executar aquesta comanda:

```
cd ~/src/SARndbox-2.8
RawKinectViewer -compress 0
```

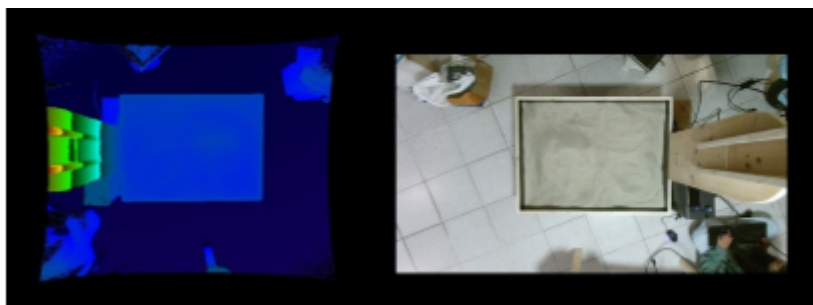


Figura 10: comanda que serveix per mesurar les profunditats de la *Sandbox*.
Font pròpia.

Com es pot veure a la figura 10, va aparèixer una pestanya nova amb dos vídeos en directe del que capta el sensor. Un vídeo en colors blaus i verds i l'altre en tots els colors. Aquests diferents vídeos és tot el que capta el sensor. Només es va fer cas del primer vídeo, el qual es va ampliar perquè la *Sandbox* ocupés tota la pantalla de l'ordinador.

Al prémer el botó dret, van sortir un seguit d'opcions a fer. Una d'elles és "Average frames" que va aturar el vídeo i només va deixar la imatge. Tot seguit, des d'un extrem de la punta de la *Sandbox* es va prémer la tecla 1, que delimità la zona de lectura del sensor. Després es van agafar les coordenades de cada punta de la *Sandbox* prement la tecla número 2.

Les mides i els punts presos van aparèixer a la terminal. Els punts foren presos a l'espai, per tant, tenien tres coordenades. A continuació s'executà a la terminal:

```
cd ~/src/SARndbox-2.8
xed etc/SARndbox-2.8/BoxLayout.txt &
```

En executar-ho, es va obrir un document on es van copiar les mides i punts presos anteriorment. En aquesta *Sandbox*, el contingut del document fou el següent:

```
(0.0394431, -0.117586, 0.992279), -157.065  
( -48.7013, -27.1847, -154.930 )  
( 54.6302, -26.3603, -157.309 )  
( -48.5438, 48.6719, -148.893 )  
( 53.4683, 49.9461, -150.768 )
```

Seguidament, es va comprovar que el projector estigués ben col·locat. Per fer-ho es va executar a la terminal:

```
XBackground
```

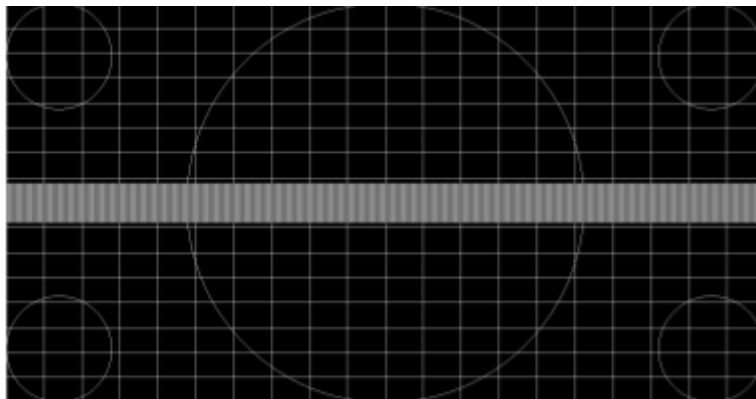


Figura 11: pestanya que s'obre a l'executar la comanda anterior. Serveix per col·locar bé el projector, és a dir, encaixar la imatge a la *Sandbox*.
Font pròpia.

Seguidament, es va obrir la pàgina que indica la figura 11. Si el projector estava al lloc correcte, els requadres havien d'encaixar amb la mida de la *Sandbox*. Si no era el cas, calia moure el projector fins que aquest només projectés els requadres sobre la sorra de la *Sandbox*.

Per finalitzar la part de calibració, es va executar aquesta comanda:

```
cd ~/src/SARndbox-2.8  
./bin/CalibrateProjector -s 1024 768
```

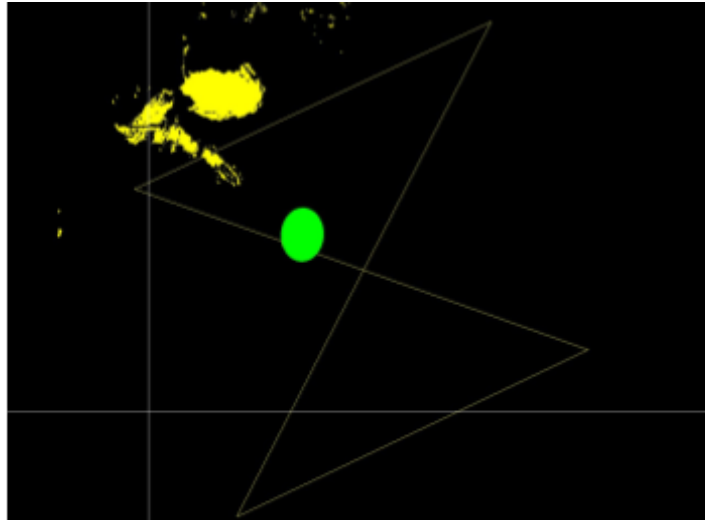


Figura 12: pestanya que s'obre al executar la comanda anterior.
Serveix per calibrar la *Sandbox*.
Font pròpia.

En aquest cas, es va obrir una altra pàgina negra amb unes línies blanques perpendiculars (veure figura 12). Fou necessari disposar d'un cercle de la mida d'un CD amb dues línies perpendiculars dibuixades sobre seu, que es tallen en un punt al centre del cercle.

Es va haver de posar el cercle sobre la *Sandbox* i fer coincidir les línies blanques perpendiculars projectades amb el centre del cercle (veure figura 13).



Figura 13: calibració de la *Sandbox*.
Font pròpia.

Una vegada aconseguida la coincidència, només va caldre prémer una tecla qualsevol, a la qual se li havia hagut de donar la funció prèviament, i les línies de la *Sandbox* van canviar de lloc. Aquest pas es va haver de repetir unes quantes vegades. De fet, cada vegada que cal calibrar la *Sandbox* cal repetir-lo un mínim de 12 vegades.

Un cop calibrada la *Sandbox*, es va poder tancar la pàgina anterior i executar a la terminal la següent comanda:

```
cd ~/src/SARndbox-2.8
./bin/SARndbox -uhm -fpv
```

En executar aquesta comanda, es va obrir un nou programa amb una pàgina on ja hi havia les corbes de nivell. Només es va haver de maximitzar la pàgina i tenir el projector i el sensor connectat perquè la *Sandbox* pogués funcionar.

3.3. Post-Instal·lació de la *Sandbox*

Els següents passos a seguir eren opcionals, ja que sense ells la *Sandbox* funcionaria igualment. Una d'aquestes comandes feia iniciar la pantalla amb corbes de nivell completa, una altra feia aparèixer una icona per activar la *Sandbox* i una altra feia amagar el ratolí.

Les comandes que es van fer servir van ser les següents:

```
xed ~/.config/Vrui-8.0/Applications/SARndbox.cfg
```

I tot seguit:

```
section Vrui
  section Desktop
    # Disable the screen saver:
    inhibitScreenSaver true

  section MouseAdapter
    # Hide the mouse cursor after 5 seconds of inactivity:
    mouseIdleTimeout 5.0
  endsection

  section Window
    # Force the application's window to full-screen mode:
    windowFullscreen true
  endsection

  section Tools
    section DefaultTools
      # Bind a global rain/dry tool to the "1" and "2" keys:
      section WaterTool
        toolClass GlobalWaterTool
        bindings ((Mouse, 1, 2))
      endsection
    endsection
  endsection
endsection
```

Aquesta comanda obliga que quan s'inicia ho faci en pantalla completa. També amaga el ratolí, de manera que no es vegi en les corbes de nivell. A més a més, amb aquesta comanda, si es configura, prement la tecla 1, fa ploure en tot l'espai que ocupen les corbes de nivell, i si es prem la tecla 2, l'aigua s'evapora. De tota manera, no es va activar l'opció de fer ploure, ja que no era necessari per a les activitats plantejades.

Per acabar, es van executar les següents comandes, que serveixen per crear una icona a l'escriptori de l'ordinador i evitar haver d'obrir la terminal per executar la comanda que fa obrir la pàgina on hi ha les corbes de nivell. Primer es va haver d'executar:

```
xed ~/src/SARndbox-2.8/RunSARndbox.sh
```

Aquesta comanda va obrir un nou document, i s'hi va copiar el següent:

```
#!/bin/bash

# Enter SARndbox directory:
cd ~/src/SARndbox-2.8

# Run SARndbox with proper command line arguments:
./bin/SARndbox -uhm -fpv
```

Un cop guardat aquest document, es van executar aquestes comandes a la terminal:

```
chmod a+x ~/src/SARndbox-2.8/RunSARndbox.sh
```

```
xed ~/Desktop/RunSARndbox.desktop
```

Aquestes van obrir un nou document, i s'hi va copiar i guardar el següent:

```
#!/usr/bin/env xdg-open
[Desktop Entry]
Version=1.0
Type=Application
Terminal=false
Icon=mate-panel-launcher
Icon[en_US]=
```



```
Name[en_US]=  
Exec=/home/<codelearn>/src/SARndbox-2.8/RunSARndbox.sh  
Comment[en_US]=  
Name=Start the AR Sandbox  
Comment=
```

I ja per acabar es va executar la darrera comanda:

```
chmod a+x ~/Desktop/RunSARndbox.desktop
```

Un cop executades aquestes comandes, va aparèixer la icona de la *Sandbox* a l'escriptori de l'ordinador.

4. CONSTRUCCIÓ DE L'ESTRUCTURA

Abans de començar a construir la *Sandbox* que es presenta en aquest treball, es va haver de fer un croquis del model que es volia elaborar. Per construir la *Sandbox* es va seguir el procediment explicat en els següents subapartats. En primer lloc, es va fer una pluja d'idees de cinc esbossos, que eren possibles estructures per a la *Sandbox*. Es va procurar que totes elles fossin estables, estèticament agradables i que es poguessin subjectar bé el sensor, el projector i la resta de components necessaris. Seguidament, es va fer la tria de la millor opció pensant que havia de ser exposada en un museu. Gràcies a les visites a l'escola Thau, a la UPC i a La Città Infinita, es van escollir unes mides determinades i un model concret. Tot seguit se'n va fer un croquis i es va començar a construir la *Sandbox*.

4.1. Esbossos

Tot seguit hi ha l'explicació dels cinc esbossos diferents que es van fer per a la *Sandbox*, els quals es mostren a les figures de la 14 a 20.

El primer esbós (veure figura 14) és una taula de fusta on de cada vèrtex en surt una columna que aguanta un rectangle, també de fusta, de la mida de la taula. En aquest, s'hi enganxaran el sensor i el projector. Aquest model és el mateix que tenen a la UPC, i és molt compacta, de manera que si la taula rep algun cop o és transportada, el sensor i projector no es descalibren.

El problema que es va trobar en aquest mòdul, va ser que a l'hora de tocar i modelar la sorra, el rectangle superior podia ser una molèstia per a la gent alta. Encara que la *Sandbox* estigui pensada per a nens de primària, s'ha de tenir present que estarà exposada en un museu i, per tant, disponible a un públic de totes les edats. S'ha de tenir en compte que l'alçada de la *Sandbox* està al voltant de 180 cm. Avui dia, molta gent sobrepassa aquesta alçada i, per tant, els hi podria ser un destorb.

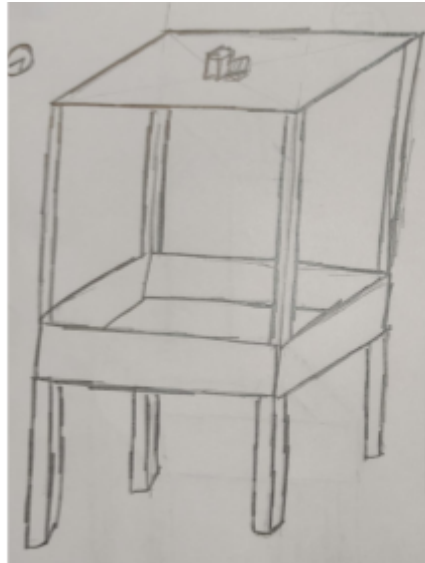


Figura 14: esbós 1.
Font pròpia.

Per aquest motiu es va fer l'esbós 2 (veure figures 15 i 16), en el qual, en comptes d'haver-hi un rectangle de fusta a la part de dalt, hi havia una creu. D'aquesta manera, es gastava menys fusta, el mòdul pesava menys i estèticament era més agradable. Un problema que es va trobar en aquests dos esbossos (l'1 i el 2), era que a l'hora de modelar la sorra, les quatre columnes dificultaven la mobilitat i impediien que menys gent pogués fer servir la *Sandbox* a la vegada.

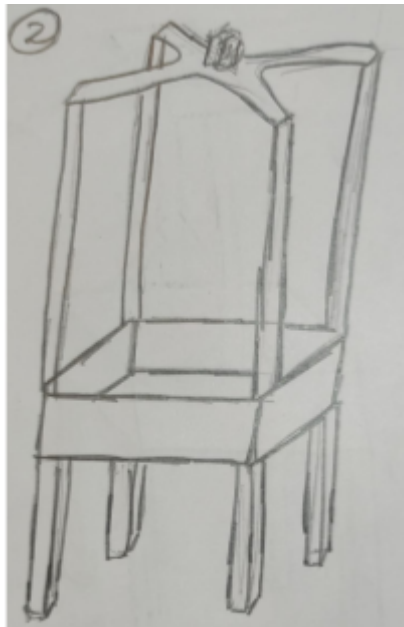


Figura 15: esbós 2.
Font pròpia.

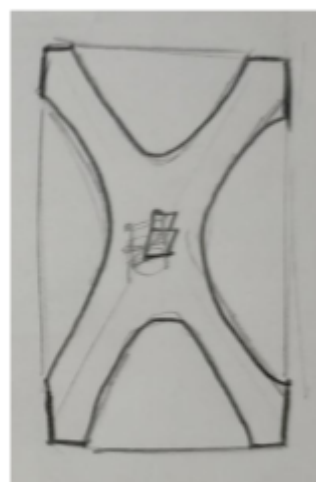


Figura 16: esbós 2 vist des
de la part superior.
Font pròpia.

Per això es va fer un nou model (esbós 3, figures 17 i 18), al qual se li van treure dues columnes. En aquest model hi hauria més espai per a modelar la sorra, però no resultava tan agradable estèticament perquè s'hi havien d'afegir més fustes per poder aguantar l'estructura, ja que amb només dues columnes l'estructura quedava molt inestable. A més a més, si s'hagués de transportar, seria molt més fàcil que es descalibrés el sensor.



Figura 17: esbós 3.
Font pròpia.

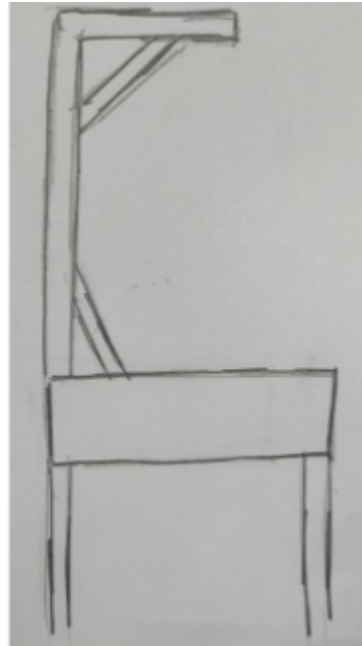


Figura 18: esbós 3 vist des del lateral.
Font pròpia.

En lloc de dues columnes a la mateixa banda, es va provar de fer un quart esbós, també amb dues columnes, però situades a la part central de la taula (veure figura 19). Així i tot, es va descartar aquest model, ja que la part del mig, la més important, quedava fora de l'abast de la gent. No s'hi podia arribar bé a causa de les columnes.

A més a més, igual que l'últim esbós (esbós 3), resultava molt inestable i s'hi havien d'afegir fustes de més, de manera que estèticament no era agradable. Cal dir que aquesta estructura és semblant a la *Sandbox* de l'Escola Thau, però per augmentar-ne l'estabilitat la seva fou construïda amb una estructura metàl·lica.

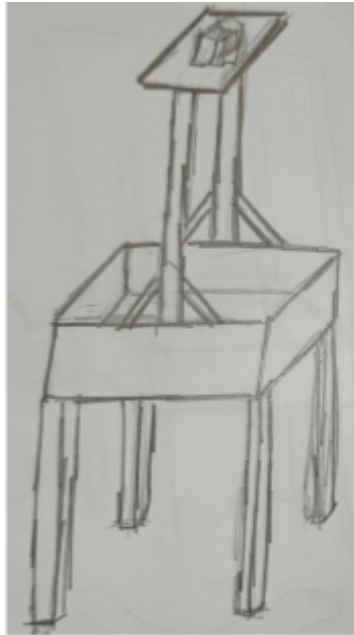


Figura 19: esbós 4.
Font pròpia.

Finalment, es va fer un últim esbós (esbós 5, figura 20), aquesta vegada amb només una columna, però molt més gruixuda que les anteriors. D'aquesta en sortiria un braç, en el qual es col·locarien el sensor i el projector. Per guanyar estabilitat, es va pensar que la columna formés part de la taula. I per acabar de reforçar la part d'on pengen el sensor i projector, s'hi afegirien unes fustes en diagonal.

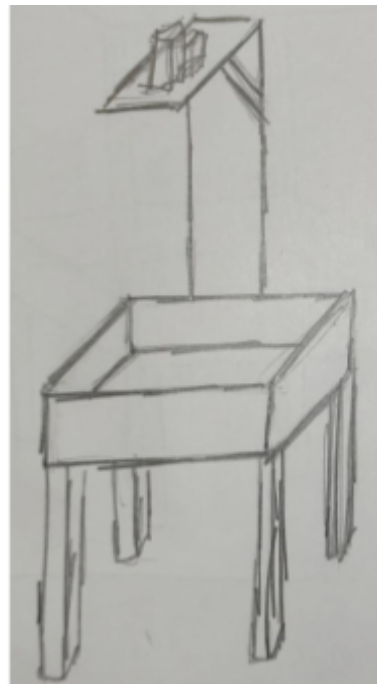


Figura 20: esbós 5.
Font pròpia.

4.2. Estructura final

Després de fer tots els esbossos i contemplar-ne els avantatges i inconvenients de cadascun, es va optar per construir una *Sandbox* amb una estructura semblant a la de l'esbós 5. Se'n va fer un croquis detallat, amb algunes modificacions, de manera que fos més agradable de veure, però que no perdés estabilitat.

Tot seguit trobareu el model final representat en un croquis i en vistes, realitzat amb el programa *Sketchup* (figures de la 21 a la 26).

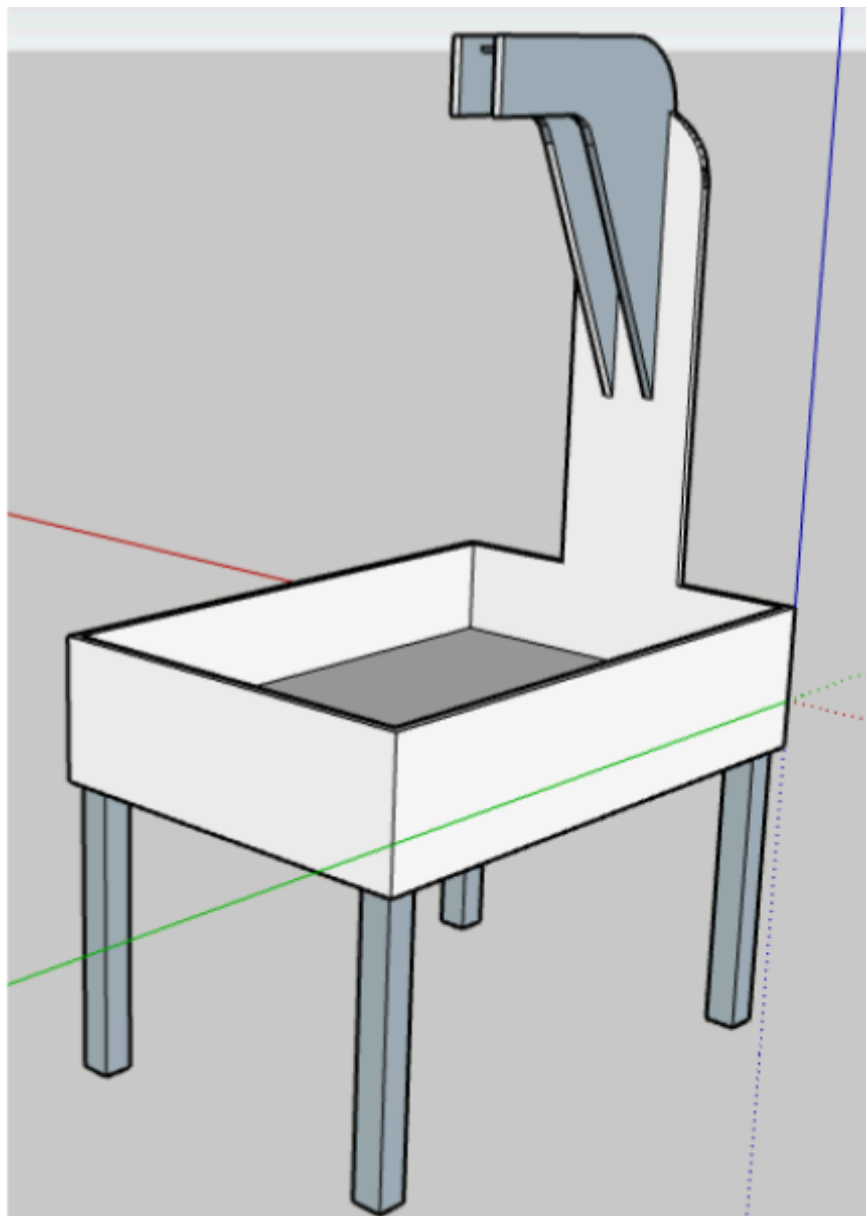


Figura 21: croquis de l'estructura final de la *Sandbox*.
Font pròpia.

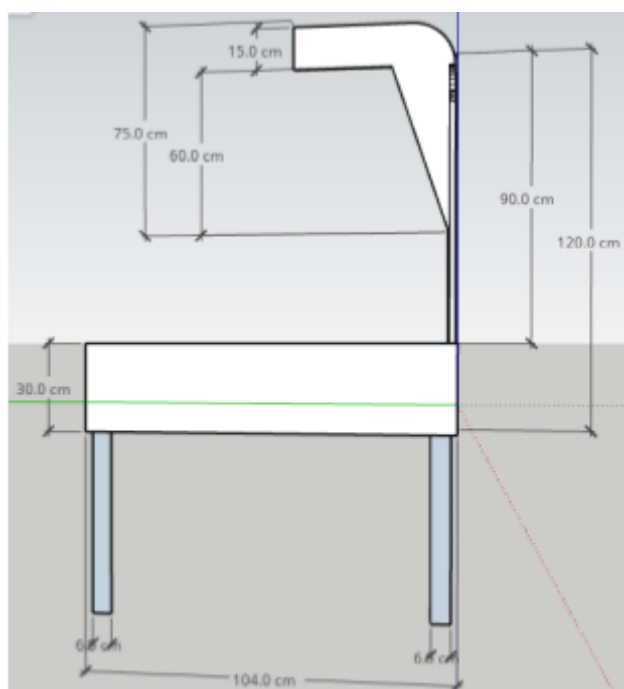


Figura 22: vista 1, perfil esquerre.
Font pròpia.

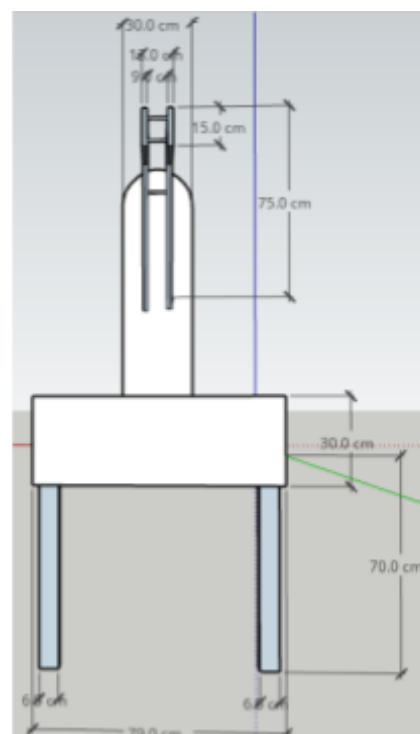


Figura 23: vista 2, alçat.
Font pròpia.

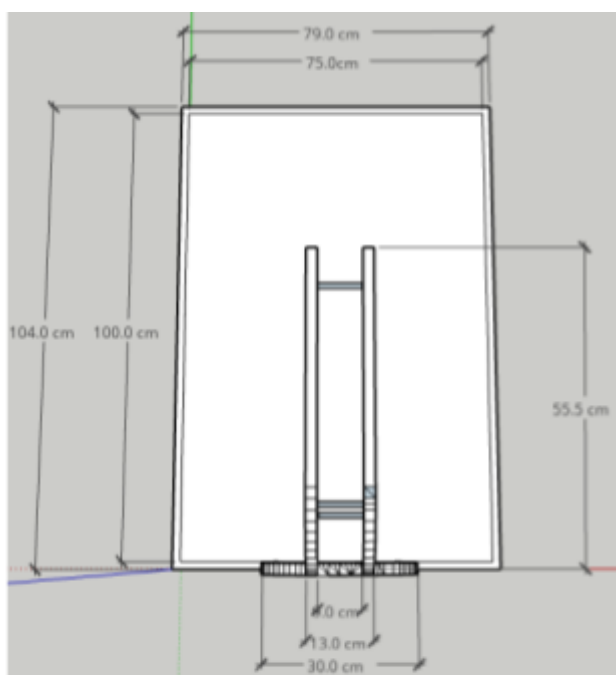


Figura 24: vista 3, planta.
Font pròpia.

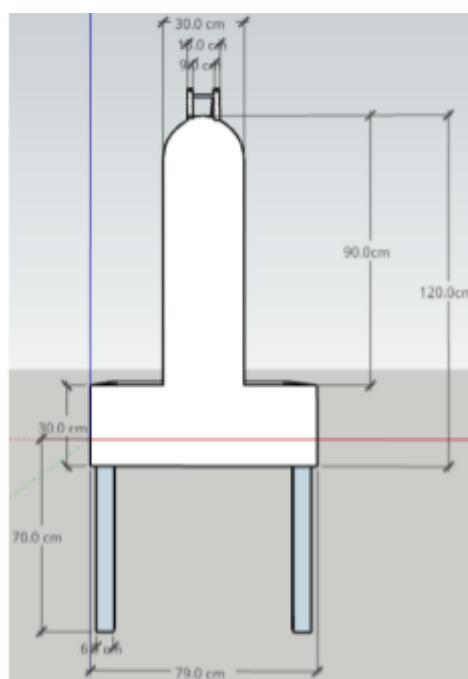


Figura 25: vista 4, vista posterior.
Font pròpia.

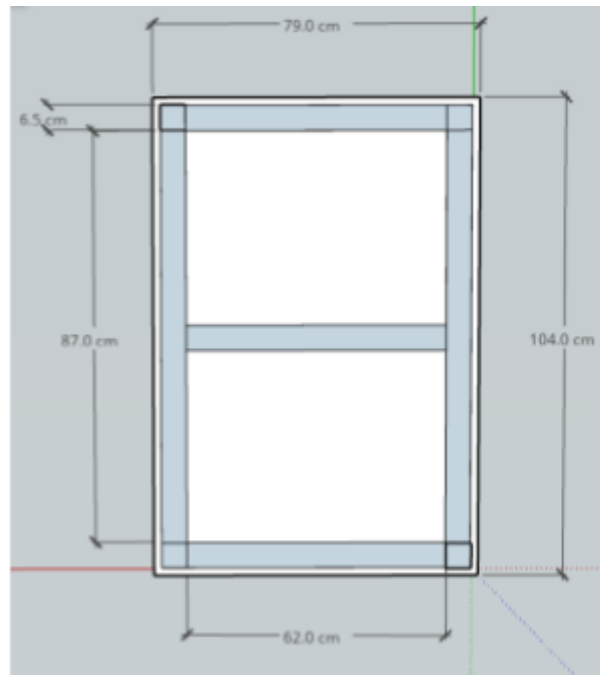


Figura 26: vista 5, vista inferior.
Font pròpia.

Com es pot veure en les diferents vistes, la part que es va millorar fou el braç que surt de la taula i aguanta el sensor i projector (veure figura 21).

A les figures 23 i 25 es pot observar que aquest braç no acaba en forma rectangular, sinó en semicercle. Per altra banda, com es pot veure a la figura 21 i 22, no fan falta fustes addicionals per aguantar l'estructura que subjecta el sensor i el projector. Això s'aconseguí fent començar l'estructura més avall en lloc de començar a la part de dalt del braç vertical. D'aquesta manera l'estructura s'aguanta ella sola i té més estabilitat i, per tant, no va caldre afegir-hi més fustes millorant així l'estètica final.

Aquesta estructura es va dissenyar amb dues fustes separades 9 cm per tal que el sensor pugui estar just al centre de la *Sandbox*, ja que el sensor té una amplada de 4,5 centímetres.

Per facilitar el transport, es va pensar a separar l'estructura de la *Sandbox* en dues parts, una les potes i l'altra la taula. En les vistes aquestes dues estructures estan juntes.

L'estructura de les potes està formada per un rectangle horitzontal de fusta on en els quatre vèrtexs hi ha una de les potes. La mida de les potes és de 70 cm d'alçada i 6,5 cm d'amplada i llargada. L'estructura rectangular està formada per

dues fustes de 87 cm i dues més de 62 cm (vista 5, veure figura 26). A més a més, es va col·locar una tercera barra que travessa que reforça el rectangle pel costat més ample, també de 62 cm.

L'estructura de la taula, té una llargada d'1 metre, 75 cm d'amplada i 30 cm d'alçada. La base de la taula, es va dissenyar enganxada 10 cm per sobre, de manera que quedaran 10 cm a sota seu, que permeten amagar una part de les potes fent que l'estructura final quedi estèticament més agradable.

Un dels costats curts de la taula no es va pensar de forma rectangular, sinó amb la forma que s'observa en la figura 25. És a dir, amb una part central d'alçada 120 cm. Es va pensar a acabar aquesta part central en forma de semicercle. És en aquesta part central on es va pensar col·locar l'estructura esmentada abans, dissenyada per subjectar el sensor i el projector.

En quant el material, tenint en compte que la *Sandbox* anirà al MMACA, es va considerar que era important que estigués feta del mateix material que els altres mòduls, que és fusta de pi d'una amplada de 2 cm.

4.3. Fase de construcció. Problemes que ha calgut resoldre

4.3.1. 1r pas: construcció de la taula

El primer pas de tots va ser agafar les fustes i tallar-les. El MMACA va proporcionar les fustes. Pel tall, es va utilitzar una serra circular per fer-los nets i amb més precisió. Se'n van tallar dues de 104x30 cm, una de 79x30 cm i una de 79x120 cm per les fustes dels costats, i pel terra, una de 100x75 cm. Els costats de 30 cm de les fustes dels laterals es van tallar en un angle de 45°, de manera que la llargada de les fustes de 104 i 79 cm quedessin d'un costat de 100 i 75 cm (veure figura 30).



Figura 27: fustes necessàries per a la construcció de la *Sandbox*.
Font pròpia.



Figura 28: inici de la construcció de la *Sandbox*. S'estan tallant les fustes per fer la caixa de sorra.
Font pròpia.



Figura 29: construcció de la *Sandbox*. Les fustes que donen forma a la caixa ja s'han tallat.
Font pròpia.

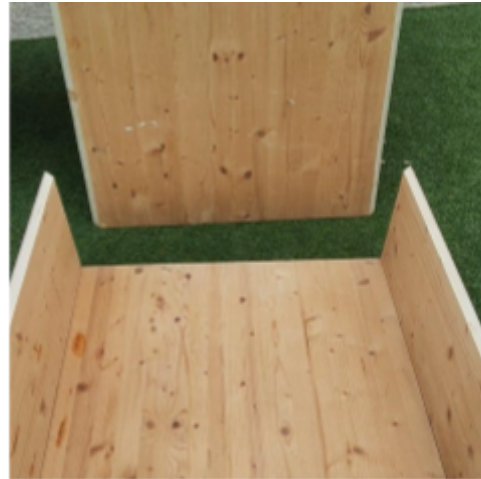


Figura 30: construcció de la *Sandbox*. Es poden veure els costats de les fustes tallades a un angle de 45°.
Font pròpia.

Tot seguit, de la fusta tallada de 79x120 centímetres, es va tornar a tallar de manera que tingués una alçada de 30 centímetres, excepte de la part del centre, que es va deixar a una alçada de 120 centímetres i acabada en forma de semicercle (veure figura 31).

Tal com s'ha comentat a l'apartat anterior, la base de la caixa es va enganxar a una alçada de 10 cm, d'aquesta manera no es pot veure la unió amb les potes una vegada es té tota l'estructura muntada.

Es van enganxar les fustes amb cola blanca i angles de metall i va quedar de la següent manera:



Figura 31: construcció de la *Sandbox*. Fustes de la caixa acabades de tallar.
Font pròpia.

4.3.2. 2n pas: construcció del suport de les càmeres

A continuació, es va construir i muntar l'estructura per aguantar el sensor i el projector. Se li va donar una forma i mides determinades perquè pogués aguantar bé el sensor i el projector i a la vegada aportar estabilitat a l'estructura. Inicialment, les mides eren unes concretes, però a l'hora de calibrar la *Sandbox* es va veure que es necessitava que el projector anés més amunt, ja que no encaixava amb les mides de la *Sandbox*. Davant aquest problema, primer es va voler buscar una estructura on el projector pogués estar a l'altura correcta i el sensor es quedés a l'alçada on estava. Finalment, es va veure que no passava res si el sensor canviava d'altura. Per aquest motiu, es va fer una nova estructura, igual a l'anterior, amb dues fustes separades per 9 cm. L'única diferència és que aquesta estructura és més alta que l'altra. Trobareu la nova estructura a les figures 32 i 33:

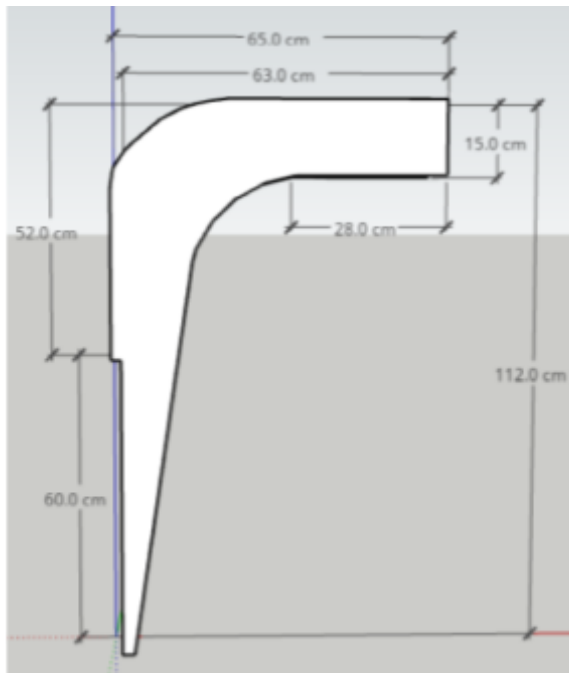


Figura 32: vista de l'estructura final que aguanta el sensor i el projector.
Font pròpia.



Figura 33: estructura que subjecta el sensor i el projector final.
Font pròpia.

Arribats a aquest punt, es va decidir parar durant un temps la construcció de la *Sandbox* per tal de poder procedir a la fase de calibració (veure apartat 3.2). Com que per poder fer la calibració era necessari disposar de la *Sandbox* muntada, es van enganxar provisionalment el sensor i el projector amb brides per trobar el lloc exacte a on havien d'anar.

4.3.3. 3r pas: construcció de l'estructura de les potes

El següent pas de la construcció, va ser fer les potes. Les fustes que es van enganxar les van tallar a Fusteria Casals. Totes elles tenen una mida de 6,5 x 6,5 cm i hi havia tres alçades diferents: 2 fustes de 87 cm, 3 de 62 cm i 4 de 70 cm d'alçada (veure figura 34).



Figura 34: construcció de les potes de la *Sandbox*. Fustes necessàries.
Font pròpia.



Figura 35: construcció de potes de la *Sandbox*. Aquí s'està fent un forat perquè el vis hi càpiga bé.
Font pròpia.

Les fustes es van enganxar amb visos de manera que quedés en forma de taula (veure figures 35 i 37), és a dir, les 4 fustes de 70 cm d'alçada són les potes, les 2 de 87 cm són els costats llargs i les 3 de 62 són les dels costats curts i una del mig, per acabar de reforçar. I per acabar d'enfortir s'hi van posar angles de metall (veure figura 36).



Figura 36: construcció de les potes de la *Sandbox*. Es pot veure com, a part dels visos, també estan enganxades amb angles de metall.
Font pròpia.



Figura 37: resultat final de les potes de la *Sandbox*.
Font pròpia.

4.3.4. 4t pas: retocs finals

Un cop la *Sandbox* va estar calibrada, es van fer els acabaments finals, que inclouen polir-la, pintar-la, polir els vèrtexs i les arestes, enganxar amb visos el sensor i el projector i ordenar bé tots els cables. Això va comportar desmuntar l'estructura provisional, fer els retocs esmentats i muntar finalment l'estructura definitiva.

Aquesta fase es va iniciar amb la feina de polir tots els costats de la *Sandbox*, ja que la fusta era molt vella i els seus costats estaven bruts.

Un cop polida, es va pintar la *Sandbox* de la part de dins (veure figura 38). Primer es van fer dues capes de Valtodo, una pintura que protegeix la fusta de l'aigua. D'aquesta manera, si la sorra queda humida perquè s'ha mullat amb aigua, no malmetrà la fusta de l'estructura. Tot seguit, es van fer dues capes més de pintura negra. La pintura negra és important per si en algun moment el projector sobrepassa una mica la sorra. El color negre fa que no es vegi tant per la pantalla.

Després es van polir les arestes i vèrtexs amb paper de vidre perquè no acabessin en punta i la gent es pogués fer mal (figura 39).



Figura 38: construcció de la *Sandbox*. Fase d'aplicació de pintura a l'interior.
Font pròpia.



Figura 39: construcció de la *Sandbox*. Fase de polir i arrodonir els costats i puntes.
Font pròpia.

Després de pintar i polir la *Sandbox* es va tornar a muntar, buscant la posició exacta del sensor i el projector, fent que el sensor anés exactament al centre de l'estructura i el projector projectés només sobre la sorra i es van enganxar definitivament (figures 40 i 41). Un cop feta aquesta part, es va tornar a calibrar la *Sandbox*.

Tot seguit, també es va instal·lar la pantalla (figura 42) a la *Sandbox*. Aquesta pantalla permet veure la representació de les corbes de nivell en 2D. Es va

aconseguir una pantalla, la qual es va col·locar a la part inferior del braç de 30 cm d'amplada que pujava.



Figura 40: acabats de la *Sandbox*. El sensor ja està enganxat al suport.
Font pròpia.



Figura 41: acabats de la *Sandbox*. El projector ja està enganxat al suport.
Font pròpia.



Figura 42: acabats de la *Sandbox*. La pantalla ja enganxada a l'estructura.
Font pròpia.

A continuació, es van ordenar tots els cables; els del sensor, del projector, de la pantalla i el de l'ordinador. A les figures 43 i 44 es pot observar l'estructura acabada de la *Sandbox*. Finalment, es va omplir la caixa amb silici, un tipus de sorra clara i més compacta.



Figura 43: resultat final de la construcció de la *Sandbox*.
Font pròpia.



Figura 44: resultat final de la construcció de la *Sandbox*.
Font pròpia.

5. PREPARACIÓ D'ACTIVITATS MATEMÀTIQUES

En aquesta part del treball de recerca es van dur a terme la creació d'activitats matemàtiques amb la *Sandbox* per al MMACA, el Museu de Matemàtiques de Catalunya.

El MMACA és una entitat sense ànim de lucre fundada l'any 2008 que té com a objectiu divulgar les matemàtiques per aconseguir-ne una imatge social positiva i donar suport a la tasca dels centres educatius en aquest àmbit. És per això que volen apropar les matemàtiques a la gent mitjançant experiències interactives i activitats pràctiques. Tenen una exposició permanent al Palau Mercader de Cornellà de Llobregat, però, d'altra banda, també fan exposicions temporals a diferents ciutats de Catalunya. En aquests moments s'està construint una nova exposició permanent a Girona, on es preveu que acabarà instal·lada la *Sandbox* [11].

Les activitats preparades que es detallen a continuació estan pensades per a l'alumnat de primària. D'entre les etapes d'infantil, primària, secundària, batxillerat i universitat es va escollir la segona, ja que era la que agradava més a l'hora d'haver de preparar activitats. A més a més, encara que el MMACA estigui obert a totes les edats, reben més grups de primària que no pas de secundària.

Un possible treball de recerca futur relacionat amb la *Sandbox* seria la preparació d'activitats per a l'alumnat d'infantil, secundària, batxillerat i universitat.

Els passos que es van seguir per a preparar aquesta part final del treball van ser les següents. En primer lloc, es va buscar informació sobre les competències matemàtiques que es treballen a primària. En segon lloc, es va fer una pluja d'idees de possibles activitats, consultant a especialistes membres del MMACA però també amb professors de didàctica de les matemàtiques. Seguidament, es van escriure les activitats i finalment, se'n va preparar el material necessari.

5.1. Competències matemàtiques a primària

En la preparació de les tres activitats proposades s'han tingut en compte les competències específiques de matemàtiques, que es detallen al decret 175/2022,

de dia 27 de setembre. En concret, aquestes activitats permeten aprofundir més específicament en cinc de les competències específiques de matemàtiques. [3]

La primera competència permet comprendre situacions i traduir-les utilitzant la representació matemàtica amb estratègies, conceptes i eines que permetin analitzar-ne els elements més importants.

Aquesta competència es treballa, per exemple, proposant a l'alumnat que expliquin, amb paraules o bé amb dibuixos, quina és la millor manera de representar la forma d'una muntanya (la sorra permet fer-ne una petita maqueta), perdent el mínim d'informació. Per fer-ho, a més de la *Sandbox*, es tindrà el suport d'una maqueta feta amb polietilè expandit.

La següent competència permet resoldre problemes contextualitzats usant i compartint diferents estratègies, tècniques i raonaments, assegurant la validesa de les solucions i generant noves preguntes i reptes.

En les activitats plantejades es proposa representar en 3D un mapa de 2D expressat amb corbes de nivell, i saber si en un punt concret hi ha molt o poc pendent,

La tercera competència permet explorar, formular i comprovar conjetures senzilles, utilitzant el raonament espacial i lògic, i generar nous coneixements matemàtics a partir dels arguments compartits.

Aquesta competència es treballa en tot moment gràcies al raonament que es demana constantment, com per exemple quan els alumnes han d'argumentar quina és la diferència entre quines corbes de nivell corresponen a una muntanya i quines corresponen a una vall, a més del pendent que té cada punt.

La següent competència treballada és la que correspon a la cinquena posició del currículum d'Educació Primària, i permet relacionar conceptes i procediments matemàtics amb altres àrees i amb la vida quotidiana, així com connectar diferents idees matemàtiques entre elles.

Amb les activitats plantejades constantment es treballa aquesta competència, ja que per exemple relaciona el rerefons matemàtic que hi ha a qualsevol superfície,

connectant les matemàtiques amb la geografia, per exemple. A més, també es pot relacionar la forma de diferents cossos geomètrics amb les seves propietats.

A l'apartat 5.2 es pot veure com totes les activitats proposades permeten treballar una última competència matemàtica, la sisena del currículum d'Educació Primària. Tal com indica la competència, a les activitats es permet comunicar i representar conceptes, procediments i resultats matemàtics representant-los de manera oral, escrita o gràfica, i utilitzant una terminologia matemàtica adequada, donant significat a les idees matemàtiques.

Els sabers són el conjunt de coneixements, valors, habilitats i actituds. Es formulen en relació amb l'entorn en el qual es poden desenvolupar les habilitats d'aprenentatge.

El saber treballat amb la *Sandbox* és el sentit espacial, que treballa les formes geomètriques de dues o tres dimensions, la localització i sistemes de representació, el moviment i transformacions i el raonament, modelització i visualització geomètrica.

5.2. Propostes d'activitats

En aquest apartat es resumeix com es va dur a terme la preparació de tres activitats matemàtiques, una per cycle inicial, una altra per cycle mitjà i l'última per cycle superior.

Primer de tot es va contactar amb la Dra. Paula López, una professora del Departament de Didàctiques Específiques de la Universitat de Girona. Es va concertar una trobada en línia on es va poder discutir el projecte i on la Paula va donar diferents idees per a possibles activitats amb la *Sandbox*. Per altra banda, també es va contactar amb un grup de mestres, professors i professores de les comarques gironines i membres del MMACA, i es va fer una trobada presencial. En aquest cas, es va poder provar l'estructura provisional de la *Sandbox*. D'aquesta reunió també se'n van recollir diferents idees.

Després de contemplar les diferents idees d'activitats proposades per la Paula i els integrants del MMACA, es van combinar i finalment es van preparar tres activitats.

La primera fou pensada per Cicle Inicial. L'activitat comença amb una explicació senzilla del que són les corbes de nivell, perquè serveixen, què vol dir que hi hagi corbes més juntes que d'altres, perquè hi ha diferents colors, etc. S'utilitza la *Sandbox* perquè l'alumnat experimenti i una maqueta d'una muntanya per explicar alguns conceptes teòrics (figures 45 i 46).

En la segona activitat, l'alumnat de Cicle Mitjà haurà d'aprendre a passar d'un mapa en 2D a un en 3D i viceversa, és a dir, se'ls donarà un full amb un mapa en corbes de nivell i l'hauran de representar a la *Sandbox*. També ho hauran de fer al revés, és a dir, es farà una muntanya a la *Sandbox* i caldrà passar-ho a un full en 2D.

L'última activitat, pensada per a Cicle Superior, es tracta que l'alumnat identifiqui diferents cossos geomètrics a partir de les corbes de nivell. La *Sandbox*, a part de les corbes de nivell sobre la sorra, també permet la projecció de les corbes en 2D sobre una pantalla. Així doncs, es col·locaran les figures geomètriques, sense que l'alumnat les vegi, i s'haurà de mirar a la pantalla i dir quina figura és cadascuna. Si els hi és molt fàcil, les figures es poden posar de diferent manera, inclinades, horitzontals, del revés, etc.

Un cop es van tenir clares les 3 activitats es van elaborar unes fitxes. Són unes taules amb l'explicació del material de l'activitat, què es fa, indicacions per seguir-la, per a quines edats està pensada i quins sabers i competències es treballen.

Aquestes fitxes estan pensades per donar als educadors del MMACA i penjar-les a la web perquè tothom que vulgui hi pugui accedir.

5.3. Preparació del material per a les activitats

Per a dur a terme les tres activitats es van haver de preparar diversos materials. Per a la primera activitat es va necessitar fer una maqueta d'una muntanya amb polietilè expandit (porexpan) i tallar-la en corbes de nivell. Tot seguit es van pintar els diferents talls de diferents colors, com a les corbes de nivell (figures 45 i 46).

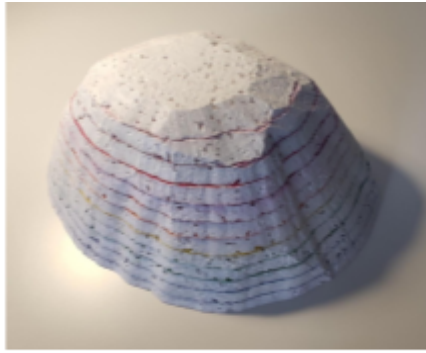


Figura 45: maqueta d'una muntanya tallada en corbes de nivell i pintada.
Font pròpia.

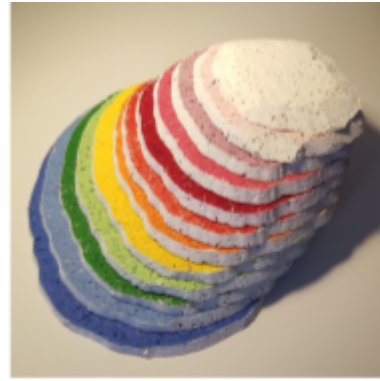


Figura 46: maqueta d'una muntanya tallada en corbes de nivell i pintada.
Font pròpia.

Per a la segona activitat es van haver de preparar diversos mapes de corbes de nivell en 2D. Es va agafar la *Sandbox*, es van pensar diverses formes interessants amb la sorra i es van fer captures de pantalla dels mapes 2D corresponents. Tot seguit es van imprimir i plastificar els mapes (figura 47).

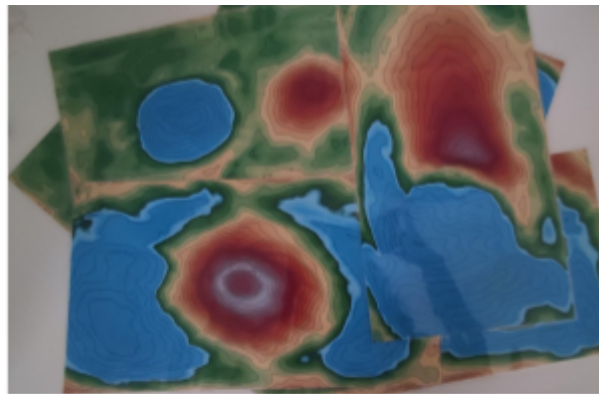


Figura 47: mapes 2D per a l'activitat 2.
Font pròpia.

Per a l'última activitat, es van comprar diferents cossos geomètrics de porexpan per poder posar directament sobre la sorra de la *Sandbox* per tal que el programa representi directament sobre seu les corbes de nivell.



Figura 48: cossos geomètrics per a l'activitat 3.
Font pròpia.

5.4. Fitxes d'activitats

Un cop es van tenir les activitats pensades, es van fer fitxes d'activitats. Són unes taules que expliquen els objectius de l'activitat, materials necessaris, què es fa, les indicacions a seguir, per a quines edats està pensada i quins coneixements i habilitats implica.

Aquests documents es proporcionen als educadors del MMACA i es publiquen en la pàgina web oficial del MMACA perquè tothom qui vulgui pugui accedir-hi.

Fitxa de presentació: La <i>Sandbox</i> i corbes de nivell		
Edat mínima recomanada:	A partir del primer curs d'Educació Primària	
Descripció del material:		
<p>La <i>Sandbox</i> consta d'una caixa de sorra amb un sensor i un projecteur. Sobre la sorra s'hi projecten diferents corbes de nivell segons l'alçada de la sorra.</p> <p>Per aquesta activitat també es necessitarà una maqueta d'una muntanya, feta amb porexpan, i tallada en corbes de nivell.</p>		
Descripció de l'activitat plantejada:		
<p>Es tracta de fer veure als nens i nenes què són les corbes de nivell, què signifiquen els colors i com ens permeten saber l'altura i el pendent d'una muntanya.</p> <p>És una activitat dirigida, on es van plantejant preguntes als alumnes i ells van responent segons el que saben i el que van descobrint.</p>		

Indicacions per assolir el repte:

Es fa dibuixar als alumnes (en un full o amb el dit) la forma de la muntanya d'una maqueta (la qual es pot separar en corbes de nivell).

És possible que en lloc de dibuixar-la amb corbes de nivell, dibuixin el perfil de la muntanya. Se'ls haurà de fer veure que si es dibuixa amb corbes de nivell, tindran molta més informació de la muntanya que no pas si es dibuixa amb el perfil. Explicar-los què són les corbes de nivell amb ajuda de la maqueta si és necessari.

Ara ja amb la *Sandbox* preguntar com és que hi ha corbes més juntes que d'altres, perquè hi ha diferents colors i el seu significat.

Sabers treballats:

Sentit espacial

- Formes geomètriques de dues o tres dimensions
- Localització i sistemes de representació
- Raonament, modelització i visualització geomètrica

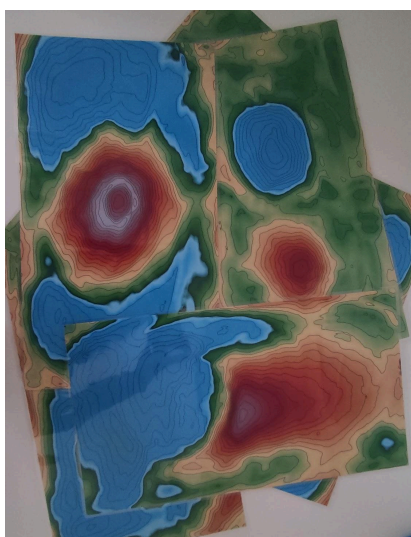
Competències específiques: 1, 2, 3, 5, 6

Fitxa de presentació:

La *Sandbox* i mapes en dues dimensions

mmaca

Museu
de Matemàtiques
de Catalunya



Edat mínima recomanada:

A partir del tercer curs d'Educació Primària

Descripció del material:

La *Sandbox* consta d'una caixa de sorra amb un sensor i un projector. Sobre la sorra s'hi projecten diferents corbes de nivell segons l'alçada de la sorra. Caldrà tenir diferents mapes de corbes de nivell (diferents muntanyes, diferents corbes de nivell, amb color, sense color, etc.)

Descripció de l'activitat plantejada:

En aquesta activitat es planteja que l'alumnat aprengui a interpretar representacions de mapes expressats en 2 dimensions i que sigui capaç de fer-ne una maqueta a la *Sandbox* en 3 dimensions i a la inversa.

Indicacions per assolir el repte:

Es demanarà als alumnes que dibuixin o representin la muntanya feta a la *Sandbox* a un full perdent el mínim d'informació (tapant la pantalla de la *Sandbox*). Si en lloc de dibuixar la muntanya amb corbes de nivell ho fan amb el perfil, explicar-los què són les corbes de nivell i fer-los veure que amb elles podem tenir molta més informació de la muntanya amb ajuda de diferents mapes a 2D. Explicar-los el significat dels colors, què vol dir que hi hagi corbes més juntes que d'altres, etc.

Si directament dibuixen la muntanya amb corbes de nivell i saben què són, se'ls proposarà fer-ho al revés, és a dir, a partir d'un mapa d'una muntanya en 2D (en corbes de nivell) el representin a la *Sandbox* en 3D.



Fer-los-hi fer amb diferents mapes i diferents muntanyes a la *Sandbox* (observar que si no s'utilitza el codi de colors, hi ha diferents solucions).

Sabers treballats:

Sentit espacial

- Formes geomètriques de dues o tres dimensions
- Localització i sistemes de representació
- Raonament, modelització i visualització geomètrica

Competències específiques: 1, 2, 3, 5, 6

Fitxa de presentació: La <i>Sandbox</i> i cossos geomètrics		
		
Edat mínima recomanada:	A partir del cinquè curs d'Educació Primària	
Descripció del material:		
<p>La <i>Sandbox</i> consta d'una caixa de sorra amb un sensor i projector sobre d'aquesta que projecten diferents corbes de nivell segons l'alçada on es troba la sorra.</p>		
Descripció de l'activitat plantejada:		
<p>En aquesta activitat es planteja que l'alumnat aprengui a diferenciar diferents cossos geomètrics a través de les corbes de nivell. També es proposa que es descobreixin algunes propietats a partir de les corbes de nivell i del moviment dels cossos geomètrics.</p>		
Indicacions per assolir el repte:		
<p>S'hauran de posar diferents cossos geomètrics a la <i>Sandbox</i>. Es recomana aplanar primer la sorra. Els i les alumnes hauran de dir quin cos és només veient la pantalla de la <i>Sandbox</i> (2D). Els cossos poden estar drets, de costat, del revés, etc.</p> <p>Un altre repte és donar-los-hi altres cossos geomètrics i que diguin quines corbes de nivell tindrien.</p>		
Sabers treballats:		
Sentit espacial <ul style="list-style-type: none"> • Formes geomètriques de dues o tres dimensions • Localització i sistemes de representació • Raonament, modelització i visualització geomètrica • Moviments i transformacions 		
Competències específiques:	1, 2, 3, 5, 6	

6. RESULTAT FINAL

Un cop finalitzat el disseny i la construcció de la *Sandbox* així com la preparació d'activitats matemàtiques, va venir l'hora de la veritat: posar-la en marxa definitivament. Es va posar la sorra a la caixa, es van connectar tots els cables i es va endollar. Es va obrir l'ordinador i es va prémer la icona que obre la pàgina amb les corbes de nivell.

Automàticament la *Sandbox* va començar a funcionar. Es va poder comprovar que hi havia una bona calibració, ja que les corbes de nivell encaixaven a la perfecció amb la forma de la sorra. A continuació, a les figures 49, 50 i 51, trobareu fotos de la *Sandbox* acabada i preparada per a ser exposada al MMACA amb totes les activitats preparades:



Figura 49: resultat final de la *Sandbox* sense funcionar.
Font pròpia.



Figura 50: resultat final de la *Sandbox* funcionant.
Font pròpia.

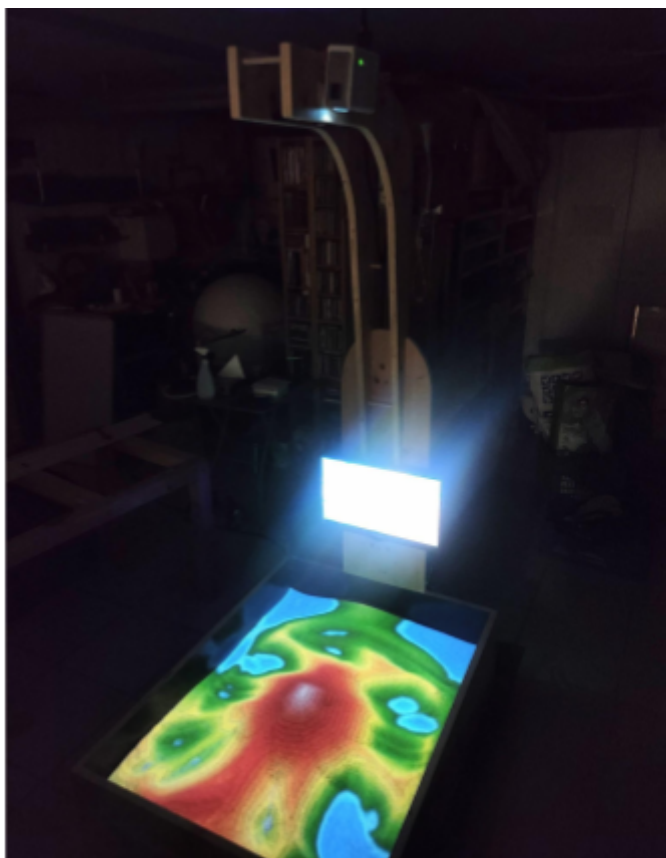


Figura 51: resultat final de la *Sandbox* funcionant.
Font pròpia.

Amb el codi QR adjunt a continuació, es podrà veure un vídeo del funcionament de la *Sandbox*. Es podrà observar la bona calibració i precisió de les corbes de nivell a l'hora d'adaptar-se a la sorra.



7. CONCLUSIONS

En aquest treball s'ha dut a terme el disseny i la construcció d'una *“Augmented Reality Sandbox”*. També s'han preparat d'activitats educatives per treballar conceptes matemàtics amb ella.

A l'hora de començar aquest projecte, es va establir el següent objectiu: **“Construir una *Sandbox* per al Museu de Matemàtiques de Catalunya, el MMACA, amb la finalitat que l'alumnat de Primària pugui aprendre conceptes matemàtics relacionats amb les corbes de nivell.”**.

Es pot dir que s'ha complert amb èxit amb el consell i guiatge de professionals.

El primer objectiu específic plantejat va ser trobar tot el material necessari, ja siguin dispositius, material per a la construcció de la *Sandbox* o trobar el programari adient. Al principi no se sabia exactament quin era el millor material i dispositius, però a través d'experts i amb les instruccions guiades per a la construcció de la *Sandbox*, s'ha escollit la fusta com a material per a construir-la i s'han trobat els millors dispositius.

El segon objectiu va ser buscar i instal·lar el software. Des d'un principi es van seguir les indicacions que dona l'Oliver Kreylos, el creador de la *Sandbox*. Bàsicament, el problema que hi va haver va ser trobar un ordinador amb tots els complements necessaris, però finalment es va trobar i es va poder instal·lar el software correctament.

El tercer objectiu era aprendre a calibrar la *Sandbox* i fer funcionar el sensor i el projector. En la segona part d'aquest objectiu, el funcionament del sensor i projector, no hi va haver problema en fer-los funcionar, però sí en trobar l'alçada correcta per al projector, ja que havia d'encaixar perfectament amb la mida de l'estructura.

Respecte a la calibració de la *Sandbox*, es van seguir els passos, igual que a la instal·lació del software, i es va assolir aquest objectiu amb èxit.

El quart objectiu era construir la *Sandbox*. Es va escollir una estructura i materials concrets per ser utilitzada al MMACA. Les mides i forma de l'estructura, sobretot la que aguanta el sensor i el projector, es van haver de canviar diverses vegades, ja que van anar sorgint diferents problemes. Però finalment es va trobar una

estructura prou estable, estèticament agradable i amb totes les característiques adequades per poder ser usada al MMACA. La Sandbox construïda està feta de fusta de pi. És una caixa d'1 metre de llargada, 75cm d'amplada i 30cm d'alçada, sobre unes potes quadrades de 70cm d'alt, i una columna amb un braç doble, a 125cm de la base de la taula, on al capdamunt hi ha col·locats el sensor i el projector. Els seus dispositius són un sensor KINECT de Xbox, un projector AKIYO de 1280x720 píxels de resolució, un ordinador i una pantalla petita (fixada a la columna, per veure les corbes de nivell en 2D). El software està compost pel sistema operatiu Linux Mint, la targeta gràfica Nvidia i el programari Vrui VR Development Toolkit, Kinect 3D Video Package (que captura les dades 3D del sensor) i el programa de la Sandbox.

El cinquè objectiu específic, ja per acabar, va ser la preparació d'activitats matemàtiques. De bon principi, no s'havia previst dur a terme aquesta part, però quan es va saber que la *Sandbox* aniria al MMACA es va decidir afegir aquest objectiu al treball.

S'han preparat un total de tres activitats, una per a cada cicle d'Educació Primària i a més a més, se n'ha elaborat un material, per a cadascuna d'elles. Per tant, es pot dir que aquest objectiu també s'ha acomplert.

Durant la realització del treball han anat sortint molts dubtes i problemes. Ja només en començar, la primera dificultat que hi va haver va ser trobar un ordinador amb totes les característiques que calien. Es van haver de provar tres ordinadors diferents abans de trobar el que s'està utilitzant en aquests moments. La segona dificultat va ser aprendre a calibrar la *Sandbox*. Com a instruccions, a la pàgina web de la *UC Davis* hi havia un vídeo on s'explicaven tots els passos, però no com s'havien de fer. Es va haver d'investigar com funcionava el programa i, un cop après, calibrar la *Sandbox*. Un altre problema va ser la construcció del suport de les càmeres. Primer s'havia construït una estructura concreta, però es va haver de canviar i tornar a fer per culpa del projector. L'últim dels problemes va ser trobar una pantalla i els cables adients, ja que no hi havia manera de connectar al mateix temps la pantalla i el projector. Es va haver d'anar a buscar una altra pantalla perquè funcionés.

Una possible continuació d'aquest treball de recerca seria la preparació de més activitats, matemàtiques o d'altres àmbits acadèmics. Un cop preparades les diferents tasques caldria anar a diverses escoles i instituts a fer-les provar a l'alumnat. Se'n podrien agafar dades (si aquella activitat ha funcionat, si han après el que s'esperava, si ha costat, etc) i fer-ne un estudi estadístic, i acabar amb una selecció de les millors activitats plantejades.

Aquest treball ha estat el meu primer contacte seriós amb el món de la recerca i m'ha mostrat la dificultat de dur a terme un projecte d'aquestes dimensions. Durant tot el procés, he estat en constant aprenentatge sobre diferents aspectes, tant en la part teòrica com a la part pràctica.

En la part teòrica he hagut d'aprendre conceptes informàtics, geològics, geogràfics, matemàtics i didàctics, com ara el funcionament del sistema operatiu Linux o la teoria relacionada amb les corbes de nivell i la manera de treballar-les amb alumnat de diverses edats. Per altra banda, en la part pràctica he hagut d'aprendre conceptes tecnològics i informàtics, com ara la manipulació de diversos tipus d'eines, la instal·lació del software i a utilitzar les comandes que cal donar al sistema operatiu Linux perquè funcioni i saber el significat de cadascuna d'elles.

Sobretot, la part més important ha sigut l'aportació al MMACA en pensar, dissenyar i elaborar un nou mòdul i activitats per al museu. Per tant, aquest treball de recerca no acaba només en la construcció de la *Sandbox* i la preparació d'algunes activitats, sinó que també ajudarà a mestres i professors a explicar conceptes matemàtics contextualitzats en diferents àrees de coneixement, i com a conseqüència se'n veurà beneficiat el seu alumnat.

8. BIBLIOGRAFIA

Libres:

- [1] Alegre i Nadal, Pau (febrer del 2010) El mapa com a llenguatge geogràfic. Institut d'Estudis Catalans i Societat Catalana de Geografia.
- [2] Robinson, Arthur H.; Sale, Randall D.; Morrison, Joel L. i Muehrcke, Phillip C. (1987) *Elementos de Cartografía*. Omega
- [3] Generalitat de Catalunya, Departament d'Educació (27/09/2022) *Decret 175/2022*, 173-193

Pàgines web:

- [4] Augmented Reality Sandbox (Última actualització 26/03/2012) *Augmented Reality Sandbox*
<https://web.cs.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/SARndbox/>
- [5] Augmented Reality Sandbox (Última actualització 2/03/2023) *Instructions*
<https://web.cs.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/SARndbox/Instructions.html>
- [6] Augmented reality Sandbox (Última actualització 26/03/2023) *Software Instalation*
<https://web.cs.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/SARndbox/SoftwareInstallation.html>
- [7] Echo Leahy Center for Lake Champlain (Visitat el 24/01/2023) *Mission*
<https://www.echovermont.org/about-echo/mission/>
- [8] Hetpro (Última actualització el 2021) *Comandos Linux - nivel básico*
<https://hetpro-store.com/TUTORIALES/comandos-linux-nivel-basico/>
- [9] La Città Infinita (Visitat el 16/06/2023) *La città infinita*
<https://www.lacittainfinita.com/>
- [10] Lawrence Hall of Science (Visitat el 24/01/2023) *The Lawrence Hall of Science*
<https://lawrencehallofscience.org/>
- [11] mmaca (Visitat el 15/07/2023) *Museu de Matemàtiques de Catalunya*
<https://mmaca.cat/>

- [12] Red Hat (Visiat el 25/07/2023) *Linux*
<https://www.redhat.com/es/topics/linux>
- [13] Tahoe Environmental Research Center (Visitat el 24/01/2023) *About TERC*
<https://tahoe.ucdavis.edu/about>
- [14] Tahoe Environmental Research Center (Visitat el 24/01/2023) *TERC Research*
<https://tahoe.ucdavis.edu/research>
- [15] UC Davis KeckCaves (Visitat el 24/01/2023) *KeckCaves Overview and context*
<https://datalab.ucdavis.edu/keckcaves/>

9. ÍNDEX D'IMATGES

1. Figura 1: <i>Sandbox</i> construïda a la UC Davis. Font :	5
https://web.cs.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/SARndbox/	
2. Figura 2: <i>Sandbox</i> de l'Escola Thau de Barcelona. Font pròpia.....	8
3. Figura 3: <i>Sandbox</i> de la ETSECCPB de la UPC. Font pròpia.....	10
4. Figura 4: <i>Sandbox</i> de la Città Infinita. Font: Roberta Genova.....	12
5. Figura 5: Mapa amb diferents tipus de corbes de nivell. Font pròpia.....	17
6. Figura 6: Colors usats a la <i>Sandbox</i> . Font pròpia.....	18
7. Figura 7: Ordinador fet servir per la <i>Sandbox</i> . Font pròpia.....	19
8. Figura 8: Sensor fet servir per a la <i>Sandbox</i> . Font:	19
https://www.backmarket.es/es-es/p/microsoft-kinect-xbox-one/3edd4820-5b2d-4784-8d0e-619689d54455#?l=11&l=11	
9. Figura 9: Projector usat per a la <i>Sandbox</i> . Font: Amazon.....	20
10. Figura 10: Pàgina que s'obre amb la comanda per mesurar les profunditats de la <i>Sandbox</i> . Font pròpia.....	24
11. Figura 11: Pàgina per col·locar bé el projector. Font pròpia.....	25
12. Figura 12: Pàgina per calibrar la <i>Sandbox</i> . Font pròpia.....	26
13. Figura 13: Calibració de la <i>Sandbox</i> . Font pròpia.....	26
14. Figura 14: Esbós 1. Font pròpia.....	31
15. Figura 15: Esbós 2. Font pròpia.....	31
16. Figura 16: Esbós 2 vist des de dalt. Font pròpia.....	31
17. Figura 17: Esbós 3. Font pròpia.....	32
18. Figura 18: Esbós 3 vist des del lateral. Font pròpia.....	32
19. Figura 19: Esbós 4. Font pròpia.....	33
20. Figura 20: Esbós 5. Font pròpia.....	33
21. Figura 21: Croquis de l'estructura final. Font pròpia.....	34
22. Figura 22: Vista 1, perfil esquerre. Font pròpia.....	35
23. Figura 23: Vista 2, alçat. Font pròpia.....	35
24. Figura 24: Vista 3, planta. Font pròpia.....	35
25. Figura 25: Vista 4, vista posterior. Font pròpia.....	35
26. Figura 26: Vista 5, vista inferior. Font pròpia.....	36
27. Figura 27: Fustes necessàries per a la construcció. Font pròpia.....	38
28. Figura 28: Inici de la construcció. Tallament de les fustes. Font pròpia.....	38

29. Figura 29:	Construcció de la <i>Sandbox</i> . Fustes tallades. Font pròpia.....	38
30. Figura 30:	Construcció. Angles de 45°. Font pròpia.....	38
31. Figura 31:	Construcció. Braç acabat en semicercle. Font pròpia.....	39
32. Figura 32:	Nou model del suport de les càmeres. Font pròpia.....	40
33. Figura 33:	Nova estructura del suport de les càmeres. Font pròpia.....	40
34. Figura 34:	Fustes per a l'estructura de les potes. Font pròpia.....	40
35. Figura 35:	Construcció de l'estructura de les potes. Font pròpia.....	41
36. Figura 36:	Angles de metall a l'estructura de les potes. Font pròpia.....	41
37. Figura 37:	Estructura final de les potes. Font pròpia.....	41
38. Figura 38:	Fase d'aplicació de pintura. Font pròpia.....	42
39. Figura 39:	Fase de polir i arrodonir les puntes. Font pròpia.....	42
40. Figura 40:	Sensor enganxat. Font pròpia.....	43
41. Figura 41:	Projector enganxat. Font pròpia.....	43
42. Figura 42:	Pantalla enganxada. Font pròpia.....	43
43. Figura 43:	Estructura de la <i>Sandbox</i> final. Font pròpia.....	43
44. Figura 44:	Estructura de la <i>Sandbox</i> final. Font pròpia.....	43
45. Figura 45:	Maqueta per a l'activitat 1. Font pròpia.....	48
46. Figura 46:	Maqueta per a l'activitat 1. Font pròpia.....	48
47. Figura 47:	Mapes 2D per a l'activitat 2. Font pròpia.....	48
48. Figura 48:	Cossos geomètrics per a l'activitat 3. Font pròpia.....	48
49. Figura 49:	Resultat final de la <i>Sandbox</i> . Font pròpia.....	53
50. Figura 50:	Resultat final de la <i>Sandbox</i> . Font pròpia.....	53
51. Figura 51:	Resultat final de la <i>Sandbox</i> . Font pròpia.....	54

10. ANNEXOS

10.1. Annex 1: Entrevistes

10.1.1. Entrevista escola Thau

Es va entrevistar a Carles Galdón, professor responsable de la *Sandbox* de l'escola Thau

1. Per a quines matèries feu servir la *Sandbox*?
Pel coneixement del medi social, accidents geogràfics, mapes, geografia. S'estudia les corbes de nivell i perquè l'alumnat pugui interpretar qualsevol mena de mapa.
Els alumnes poden manipular tot l'entorn i poden ser avaluats (prova avaluativa) a través de la *Sandbox*.
2. Quines activitats feu amb la *Sandbox*?
Als exàmens: fes una península amb una muntanya, un golf, un cap...
També tenen un dossier amb totes les activitats de classe que fan.
3. Per a quines edats plantegeu la *Sandbox*?
 - 3.1. Només per primària? ESO i infantil no?
L'utilitzen bàsicament per 5è i 6è.
Tot i que cada dos anys fan la setmana de la ciència i un pare va fer servir la *Sandbox* per explicar a tota l'escola com es va cremar una muntanya.
 - 3.2. Les activitats per fer són diferents per a cada curs?
 - 3.2.1. Són les mateixes activitats, però amplieu el temari?
5è: es treballen els accidents geogràfics i mapes. Són activitats molt pautades.
6è: s'utilitza en activitats molt puntuals.
No fan les mateixes activitats, ja que a 6è, només la fan servir puntualment.
A vegades també fan servir la *Sandbox* per l'assignatura de plàstica
 - 3.3. No és difícil fer servir la *Sandbox* amb tota la classe? Com us organitzeu? La feu servir en grups més petits?

Fan servir la *Sandbox* en grups partits. Aprofiten quan tenen dos professors a l'aula. Primer la fa servir un grup i després (o a la següent classe) l'altre.

4. Es fa servir una sorra normal o s'utilitza un concreta? (que s'enganxi més, que estigui humida, de color blanc...)
Sorra de platja barrejada amb silici. El silici li dona consistència i evita que les construccions s'ensorrin.
Per evitar també que s'ensorri, s'hi ha de tirar aigua. Abans de cada classe, tiren aigua a la *Sandbox* i barregen una mica la sorra perquè l'aigua vagi per tot arreu. Només ha de quedar humida, no moll del tot.
5. A part de la sorra, feu servir algun altre objecte? (prismes, piràmides, cilindres, esferes...)
Habitualment no. Van dir que alguna vegada a l'assignatura de plàstica per poder fer creacions.
6. Si es fa un forat, hi surt aigua? Queda només de color blau? (per poder fer estanys)
No surt aigua, però les corbes de nivell queden de color blau, representant ser aigua.
7. Es pot fer ploure?
Sí. Si es posa la mà oberta a una certa alçada (una mica més alt del màxim de la sorra), la mà representa un núvol i cau aigua.
El problema és que després l'aigua es queda allà i no marxa. Aniria bé poder treure-la (que al cap de 30 segons marxés, un botó de restablir...)
8. Quin ordinador, sensor i projector feu servir? (marca i model)
El sensor és de la marca Kinect de la Xbox One, el projector dels que es fan servir a classe. D'ordinador no és important quina marca es tingui, sinó que tingui una CPU Core i5 o i7, amb una targeta gràfica Nvidia GeForce GTX 1060 i amb 4 Gb de RAM.
9. És un model comprat o l'heu construït vosaltres?
 - 9.1. Heu fet el codi vosaltres o l'heu baixat gratuïtament?
El codi els hi van enviar la universitat de Califòrnia, la UC Davis, que és qui va crear la *Sandbox*.

9.2. La mida de la *Sandbox* l'heu triat vosaltres? Per què aquesta mida?

La *Sandbox* fa 1 metre de llargada i 75 centímetres d'amplada. L'alçada de la taula és de 20 centímetres, però el sensor i projector estan a 1 metre i 1,5 metres d'alçada, respecte a la sorra de la *Sandbox*. Les potes són de 60 centímetres d'alçada.

La *Sandbox* va ser construïda pels de manteniment, així que en Carles no sap exactament el perquè d'aquestes mides.

10. L'alçada de les corbes de nivell l'heu pogut triar o venia amb el codi? (si no l'han fet ells)

No, no poden canviar l'alçada de les corbes de nivell. Ho han provat de canviar-ho, però el programa està molt reduït. De tota manera no ho necessiten. La mida que tenen els va bé.

10.1.2. Entrevista UPC

Es va entrevistar al Dr. Alberto García, del Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports (ETSECCPB), de la Universitat Politècnica de Catalunya.

1. Per a quines matèries feu servir la *Sandbox*?

Per fer classe no la fan servir, només alguna vegada puntualment a classe de matemàtiques, per posar un exemple de per què serveix la part numèrica de les matemàtiques.

Bàsicament, la fan servir a l'hora de fer tallers o a portes obertes.

2. Quines activitats feu amb la *Sandbox*?

Algun exemple d'activitat seria:

Els hi donen un paper amb un mapa topogràfic concret, i els hi demanen que el reproduïxin amb la *Sandbox* i que diguin a on del mapa s'acumularia més aigua.

3. Es fa servir una sorra normal o s'utilitza una concreta? (que s'enganxi més, que estigui humida, de color blanc...)

A diferència de l'escola Thau, fan servir només sorra de platja, la més blanca possible. No la barregen amb aigua, ja que volen evitar que quedi humida

4. A part de la sorra, feu servir algun altre objecte? (prismes, piràmides, cilindres, esferes...)

Sí, hi va haver un altre estudiant que va voler fer una maqueta 3D de la Garrotxa. Tenen diferents maquetes, a part d'aquesta, que fan servir a més a més de la sorra.

5. Si es fa un forat, hi surt aigua? Queda només de color blau? (per poder fer estanys)

No surt aigua, però les corbes de nivell queden de color blau, representant ser aigua.

6. Es pot fer ploure?

Sí. Si es posa la mà oberta a una certa alçada (una mica més alt del màxim de la sorra), la mà representa un núvol i cau aigua.

La *Sandbox* tenia el problema que després, l'aigua es quedava allà i no marxava. Aquí a la UPC, feien servir el número 1 del teclat per fer ploure a tot arreu de la *Sandbox* i el número 2 per fer evaporar l'aigua.

7. Quin ordinador, sensor i projector feu servir? (marca i model)

Igual que a l'escola Thau, el sensor és de la marca Kinect de la Xbox One, el projector dels que es fan servir a classe. D'ordinador no és important quina marca es tingui, sinó que tingui una CPU Core i5 o i7, amb una targeta gràfica Nvidia GeForce GTX 1060 i amb 4 Gb de RAM.

8. És un model comprat o l'heu construït vosaltres?

- 8.7. Heu fet el codi vosaltres o l'heu baixat gratuïtament?

El programa, igual que a l'escola Thau, els hi van enviar des de la Universitat de Califòrnia, la UC Davis, que són qui van inventar la *Sandbox*.

- 8.8. La mida de la *Sandbox* l'heu triat vosaltres? Per què aquesta mida?

Té una mida de 60 centímetres d'amplada i 80 centímetres de llargada i alçada. L'alçada de la taula és de 20 centímetres, però el sensor i projector estan a 80 centímetres d'alçada, respecte a la sorra de la *Sandbox*. El sensor està col·locat al centre de la *Sandbox*, però el projector no, està una mica apartat del mig i inclinat perquè projecti només a la taula de la *Sandbox*.

Les potes són de 60 centímetres d'alçada.

9. L'alçada de les corbes de nivell l'heu pogut triar o venia amb el codi? (si no l'han fet ells)

No, no poden canviar l'alçada de les corbes de nivell. Ho han provat de canviar-ho, però el programa està molt reduït. De tota manera no ho necessiten. La mida que tenen els va bé.

10.1.3. Entrevista a la Citta Infinita

L'última entrevista es va fer a Roberta Genova, cofundadora de la Citta Infinita.

1. Per a què feu servir la *Sandbox* i quines activitats feu?

Fan tallers a diversos pobles i ciutats de Catalunya. No tenen cap activitat preparada, ja que volen fomentar la creativitat i l'originalitat entre els nens i nenes. En lloc d'ensenyar als infants sobre conceptes de les ciències de la terra, deixen que juguin i experimentin amb la *Sandbox*.

2. Per a quines edats plantegeu la *Sandbox*?

Per a partir dels 4 anys

3. Es fa servir una sorra normal o s'utilitza un concreta? (que s'enganxi més, que estigui humida, de color blanc...)

Tenen sorra de platja, sense silici. Perquè quedi més compacte, la mullen amb aigua.

4. A part de la sorra, feu servir algun altre objecte? (prismes, piràmides, cilindres, esferes...)

No n'acostumen a fer servir, però si algú els n'hi demana, en donen, però perquè els nens i nenes puguin jugar.

5. Si es fa un forat, hi surt aigua? Queda només de color blau? (per poder fer estanys)

No surt aigua, però les corbes de nivell queden de color blau, representant ser aigua.

6. Es pot fer ploure?

Sí. Si es posa la mà oberta a una certa alçada (una mica més alt del màxim de la sorra), la mà representa un núvol i cau aigua.

El problema és que després l'aigua es queda allà i no marxa. Aniria bé poder treure-la (que al cap de 30 segons marxés, un botó de restablir...)

7. Quin ordinador, sensor i projector feu servir? (marca i model)

El projectador és un normal, que hi ha a les aules de les escoles actualment; el sensor és el sensor Kinect, i l'ordinador no em van saber dir quin model era, però, a diferència de la UPC i l'escola Thau, que tenien un ordinador de torre, aquest és un ordinador portàtil.

8. És un model comprat o l'heu construït vosaltres?

El programa els hi va enviar la UC Davis i l'estructura a van construir ells.

8.1. Heu fet el codi vosaltres o l'heu baixat gratuïtament?

El programa, igual que a l'escola Thau i la UPC, els hi van enviar des de la Universitat de Califòrnia, la UC Davis, que són qui van inventar la *Sandbox*.

8.2. La mida de la *Sandbox* l'heu triat vosaltres? Per què aquesta mida?

La *Sandbox* té unes mides de 72 centímetres d'amplada, 97 centímetres de llargada i, la taula en si, té una alçada de 40 centímetres. El sensor es troba a una alçada de 97 centímetres respecte a la sorra i el projectador a 1,2 metres.

D'una de les bandes llargues de la *Sandbox*, hi surt una columna de 40 centímetres de llargada i 10 centímetres d'amplada. Aquesta estructura aguanta una superfície rectangular, que és on hi ha el sensor, just al centre de la *Sandbox*, a 97 centímetres d'alçada respecte a la sorra. La columna arriba fins a una alçada d'1,2 metres, per poder aguantar el projectador, que aquest no està centrat, sinó més cap al costat i inclinat.

No hi ha cap motiu en concret d'aquestes mides. Van escollir aquestes perquè no els hi va semblar ni una mida molt petita ni massa gran.

9. L'alçada de les corbes de nivell l'heu pogut triar o venia amb el codi? (si no l'han fet ells)

No, no poden canviar l'alçada de les corbes de nivell. Ho han provat de canviar-ho, però el programa està molt reduït. De tota manera no ho necessiten. La mida que tenen els va bé.

10.2. Annex 2: Pressupost

En el següent apartat es presenta el pressupost total de la realització d'aquest treball de recerca, la qual cosa només ha sigut del cost del material.

MATERIAL	PREU
Sorra de silici	35,41€
Projector	59,49€
Ferreteria	15,04€
Cola i cinta d'embalar	16,00€
Fusta potes	73,66€
Sensor	36,00€
Ordinador	200€
Porexpan (figures geomètriques i muntanya)	15€
Pintura i pintura impermeable	25,12€
Mapes 2D	30,80€
Teclat	11,99€
Cables	8,99€
TOTAL	527,50€