UAB
Universitat Autònoma de Barcelona

Dipòsit digital de documents de la UAB

This is the **published version** of the bachelor thesis:

Rodríguez Teuler, Daniel-Jordi. *Xumet interactiu per a infants amb pluridiscapacitat*. Treball de Final de Grau (Universitat Autònoma de Barcelona), 2026 (Enginyeria Informàtica)

This version is available at https://ddd.uab.cat/record/334380

under the terms of the CC BY-SA license.

Xumet interactiu per a infants amb pluridiscapacitat

Daniel Jordi Rodriguez Teuler

Resum– Aquest article presenta el desenvolupament d'un xumet interactiu orientat a infants amb pluridiscapacitat, amb l'objectiu de facilitar una forma d'interacció accessible amb un entorn digital mitjançant estímuls visuals i sonors. El sistema proposat transforma una pressió exercida sobre el xumet en una acció dins d'un videojoc 2D desenvolupat en Unity. Per assolir-ho, s'ha seguit una metodologia incremental, basada en el disseny i validació progressiva del prototip físic, el firmware del microcontrolador, la comunicació Bluetooth Low Energy i la integració amb el joc. El resultat és un prototip funcional format per un sensor de pressió connectat a un microcontrolador capaç d'enviar missatges sense fils a una aplicació executada en Windows. En conclusió, el projecte demostra la viabilitat d'utilitzar un xumet adaptat com a interfície d'entrada per a experiències interactives accessibles.

Paraules clau– accessibilitat, Bluetooth Low Energy, sensor de pressió, tecnología assistiva, Unity, videojoc 2D, xumet interactiu

Abstract– This article presents the development of an interactive pacifier aimed at children with multiple disabilities, with the goal of providing an accessible form of interaction with a digital environment through visual and auditory stimuli. The proposed system transforms pressure applied to the pacifier into an action within a 2D video game developed in Unity. To achieve this, an incremental methodology has been followed, based on the progressive design and validation of the physical prototype, the microcontroller firmware, Bluetooth Low Energy communication, and integration with the game. The result is a functional prototype consisting of a pressure sensor connected to a microcontroller capable of sending wireless messages to a Unity application running on Windows. In conclusion, the project demonstrates the feasibility of using an adapted pacifier as an input interface for accessible interactive experiences.

Keywords– accessibility, assistive technology, Bluetooth Low Energy, interactive pacifier, pressure sensor, 2D video game, Unity

1 Introducció - Context del treball

Aquest treball presenta el disseny i la construcció d'un xumet interactiu que funciona com a controlador d'un videojoc senzill per a infants amb pluridiscapacitat. La idea és senzilla: quan l'infant prem el xumet amb la boca, aquesta acció es tradueix en un moviment dins d'un joc 2D, acompanyat d'estímuls visuals i sonors. El projecte neix de la col·laboració amb la Fundació Nexe [1] [2], una entitat de Barcelona que treballa amb infants amb pluridiscapacitat, i respon a una necessitat real que els seus professionals plantegen cada dia: trobar maneres perquè aquests infants puguin interactuar amb l'entorn. La pluridiscapacitat és la concurrència, en una mateixa persona, d'una discapacitat motriu greu i una discapacitat intel·lectual, sovint acompanyades de problemes sensorials i de salut. Aquesta combinació limita molt la mobilitat, la comunicació i la capacitat d'actuar de manera autònoma sobre l'entorn. En el cas dels infants als quals s'adreça el projecte, les limitacions motrius són importants, i poden tenir molt poc control del moviment voluntari, però conserven accions corporals simples com la succió o la pressió amb la boca. Aleshores, el prototip busca que puguin, per exemple, jugar a un videojoc únicament havent de mossegar el xumet.

Aquí és on apareix el motiu del treball. Per a un in-

• E-mail de contacte: danieljordirodriguezteuler@gmail.com
• Menció: Enginyeria de Computadors
• Treball tutoritzat per: Marta Prim Sabrià (Departament de Microelectrònica i Sistemes Electrònics)
• Curs 2025/26

fant amb mobilitat molt reduïda, comprovar que una acció pròpia provoca una resposta clara a l'entorn no és trivial: és una experiència de causa-efecte que sovint té poques oportunitats de produir-se. El xumet interactiu busca precisament això, transformar un gest que l'infant ja domina, prémer un xumet, en una conseqüència immediata que pot veure i sentir. A banda d'aquesta motivació, hi ha una raó de fons que justifica un projecte com aquest. Una de les parts importants a l'hora de realitzar aquest projecte és que aquest tipus de tecnologia assistiva per a infants amb aquesta condició no genera suficient mercat com per a que una marca s'interessi per a la seva producció en massa. Per això té sentit desenvolupar un dispositiu de baix cost, construït a partir d'un objecte quotidià i familiar com és un xumet.

En aquest document s'explicarà la metodologia dut a terme i la planificació i evolució del desenvolupament del treball, l'estat de l'art i l'arquitectura del sistema. Després s'exposa en profunditat el projecte, separant l'explicació en dos blocs: un primer bloc de hardware, on s'expliquen els components i el disseny mecànic, i un bloc de software on s'exposa el programari usat i la creació del joc en 2D. Finalment, s'analitza el funcionament global del sistema i es valora com a eina d'interacció per a infants amb necessitats especials.

2 OBJECTIUS

L'objectiu principal del projecte és explorar noves formes d'interacció entre infants amb pluridiscapacitat i el seu entorn mitjançant estímuls visuals i sonors. En aquest context, el xumet interactiu no es planteja únicament com un controlador de joc, sinó com una interfície assistiva: un mitjà perquè l'infant actuï sobre un entorn digital amb un gest que ja domina.

Per assolir aquest objectiu principal, el treball es concreta en una sèrie de tasques específiques:

- Adaptar físicament un xumet perquè integri un sensor de pressió de manera estable, protegida i segura per a l'infant.
- Desenvolupar el sistema electrònic i el programari que detecti la pressió i la converteixi en un esdeveniment.
- Establir una comunicació sense fils entre el dispositiu i l'ordinador on s'executa el joc.
- Dissenyar un joc 2D senzill i amigable, adequat al públic al qual va destinat.
- Integrar tot el conjunt perquè la pressió sobre el xumet generi una resposta visual i sonora dins del joc.

3 METODOLOGIA I PLANIFICACIÓ

3.1 Metodologia

Per al desenvolupament del projecte s'ha seguit una metodologia incremental, dividint el treball en fases progressives que permetessin validar cada part dels sistema abans d'integrar-la amb la següent. Aquesta aproximació ha estat adequada per a un projecte que combina hardware i software, ja que el funcionament final depèn tant de la correcta captació de la pressió del sensor com de la comunicació wireless i de la resposta generada dins l'entorn digital.

El procés s'ha basat en la construcció gradual del prototip: primer es va definir l'arquitectura general i es van seleccionar els components; després, es va validar el conjunt sensor-microcontrolador i, finalment, es va integrar la comunicació Bluetooth Low Energy amb l'aplicació interactiva. Durant el desenvolupament, la planificació s'ha adaptat a les necessitats reals del projecte, com l'arribada dels components o els ajustos en el sistema d'alimentació.

3.2 Planificació

La planificació es va organitzar en fases. Cada fase tancava una part del sistema abans de passar a la següent, de manera que els errors es detectaven aviat i no s'arrossegaven endavant. El càlcul inicial era de divuit setmanes, de febrer a juny. A la pràctica l'ordre es va haver d'ajustar: l'espera dels components va obligar a avançar feina d'adaptació física del xumet mentre encara no havia arribat el material per muntar el circuit.

- **Fase d'estudi de components i definició del sistema:** Estudi de l'estat de l'art sobre xumets intel·ligents i interfícies d'accés, selecció dels components necessaris i definició dels requisits i de l'arquitectura general. En aquesta fase es va entregar l'informe inicial.
- **Fase de construcció del prototip físic:** Muntatge del circuit, preparació de l'entorn de programació i integració del sensor dins del xumet de manera estable, protegida i extraïble. Inclou les primeres lectures i comprovacions per validar el funcionament del conjunt. En aquesta fase es va entregar el primer informe de progrés.
- **Fase de processament de les dades i comunicació sense fils:** Definició de la lògica de detecció de pressió i la seva conversió en esdeveniments, garantint una lectura estable i fiable, i implementació de l'enviament de les dades per Bluetooth entre el dispositiu i el receptor.
- **Fase de desenvolupament i integració del joc:** Creació i adaptació del joc 2D i connexió amb el dispositiu, de manera que la pressió sobre el xumet es traduís en accions dins del joc. Durant aquesta fase es va entregar el segon informe de progrés.
- **Fase de proves i validació final:** Comprovació del funcionament del sistema complet, ajust de la jugabilitat. En aquesta fase es va visitar la fundació Nexe i es va rebre feedback, amb el qual es van corregir errors i es van afinar els detalls.
- **Fase de documentació final:** Redacció del document final del treball, recopilant tot el desenvolupament dut a terme al llarg del projecte, i preparació dels materials d'entrega finals.

4 ESTAT DE L'ART

Els xumets intel·ligents existents se centren principalment en l'àmbit de la monitorització i el seguiment de l'estat del

nadó. En la majoria de casos, aquests dispositius incorporen sensors destinats a obtenir dades fisiològiques o conductuals, com ara temperatura, humitat, patrons de succió, freqüència d'ús o altres paràmetres relacionats amb la salut. Aquesta aproximació situa el xumet com una eina de registre i diagnòstic, pensada sobretot per aportar informació a famílies o professionals sanitaris, més que no pas com una interfícies activa d'interacció per part de l'infant. En l'àmbit de la recerca també s'han desenvolupat prototips de xumets amb sensors integrats per a la monitorització neonatal. Alguns treballs proposen biosensors incorporats al xumet per analitzar biomarcadors presents a la saliva, com la glucosa o determinats electròlits, amb l'objectiu d'obtenir mesures de manera no invasiva. Aquests sistemes destaquen per la seva capacitat d'integrar electrònica wireless i disseny compacte en un objecte quotidià, però mantenen una finalitat principalment clínica o mèdica [3] [4].

Un dels exemples més propers al plantejament d'aquest projecte és el Brainchild Smart Pacifier (*Figura 1*), un xumet amb sensors interns capaç de registrar dades de succió i pressió en temps real. Aquest sistema utilitza la informació obtinguda per estudiar el comportament de succió del nadó i relacionar-lo amb possibles indicadors de desenvolupament neurològic o auditiu, Tot i que aquest cas incorpora sensors de pressió i comunicació Bluetooth, la seva finalitat continua vinculada a monitoratge i l'anàlisi de dades, mentre que el present projecte utilitza la pressió com una entrada directa per a generar una resposta interactiva [5].



Fig. 1: Xumet de SmartPacifier

D'altra banda, dins l'àmbit de les tecnologies assistives, existeixen sistemes d'accés basats en polsadors o interruptors adaptats que permeten a persones amb limitacions motrius interactuar amb dispositius digitals. Aquest tipus d'interacció és especialment rellevant en infants amb pluridiscapacitat, ja que facilita l'objectiu que sentin que una acció física seva provoca una resposta clara en l'entorn. Les activitats interactives accessibles solen utilitzar estímuls visuals i sonors per afavorir la participació de l'usuari i reforçar la percepció que una acció pròpia té conseqüències sobre el sistema [6].

En aquest context, el projecte desenvolupat se situa entre els xumets intel·ligents i les interfícies assistives d'accés simple. A diferència dels xumets orientats exclusivament a la monitorització, aquest treball proposa utilitzar el xumet com una interfície d'entrada per controlar un entorn digital. I, a diferència dels polsadors convencionals, la interacció es basa en un objecte adaptat a una acció corporal concreta, com és la pressió o mossegada sobre el xumet. D'aquesta manera, el sistema converteix una mossegada en una resposta visual i sonora immediata, pensada específicament per a infants amb pluridiscapacitat.

5 Arquitectura del sistema

El prototip està format per tres blocs principals: el dispositiu físic d'entrada, encarregat de captar la pressió exercida per l'usuari; el sistema de processament i comunicació, que interpreta aquesta lectura i l'envia sense fils; i el videojoc final, que rep la informació i la tradueix en accions dins del joc. Es pot veure més clar en l'esquema de la Figura 2:

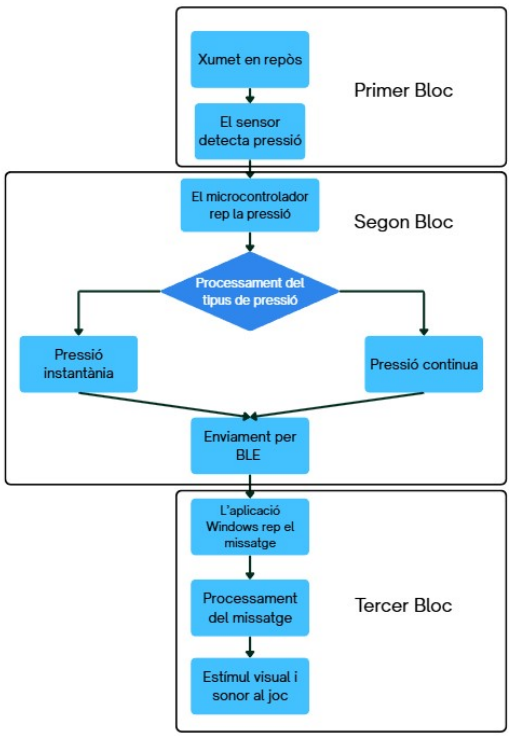

Fig. 2: Prototip d'entrada complet

El primer bloc correspon al xumet adaptat. En aquest s'integra un sensor de pressió situat de manera que pugui detectar la força aplicada sobre la tetina. La funció d'aquest bloc no és processar la informació, sinó convertir la interacció física de l'usuari en un senyal elèctric mesurable. Per fer-ho, el sensor es connecta al microcontrolador mitjançant cablejat, mantenint separada la zona d'interacció de la part electrònica principal.

El segon bloc està format pel microcontrolador i el firmware carregat a la placa. Aquest bloc rep la lectura analògica del sensor, n'analitza el valor i determina si hi ha o no pressió. A partir d'aquesta interpretació, el sistema genera missatges digitals que representen l'acció detectada. La comunicació entre el dispositiu físic i el joc es realitza mitjançant Bluetooth Low Energy, on el microcontrolador actua com a perifèric BLE, mentre que l'ordinador Windows on s'executa el videojoc actua com a receptor. Aquesta decisió permet que el xumet funcioni com un controlador wireless, sense dependre d'una connexió física amb l'ordinador durant l'ús.

El tercer bloc correspon a l'aplicació interactiva. Aquesta aplicació s'executa en Windows i és l'encarregada de buscar el dispositiu BLE, connectar-s'hi, rebre els missatges enviats pel microcontrolador i aplicar-los a la lògica del joc. El videojoc compta amb una escena de selecció de nivell i dues

mecàniques principals: un nivell en què el personatge salta quan es detecta una pressió, i un altre en què el personatge camina mentre el sensor es manté pressionat.

El flux general del sistema es pot resumir de la manera següent: l'usuari pressiona el xumet, el sensor transforma aquesta pressió en una lectura analògica, el microcontrolador interpreta la lectura, envia el missatge corresponent per BLE i el joc el rep per activar una resposta. Aquesta resposta pot ser visual, com el moviment o el salt del personatge, i també sonora, mitjançant efectes d'àudio associats a la interacció.

A l'annex 1 es poden veure més esquemes del sistema.

6 EINES UTILITZADES

Per al desenvolupament del projecte s'han fet servir diversos programes i eines especialitzades, cadascun adequat a una part concreta del sistema. A continuació es detallen.

- **Arduino IDE**

  És l'entorn on s'ha programat el firmware del microcontrolador. S'ha escollit per dos motius: ja s'hi havia treballat abans, de manera que es partia d'una certa experiència, i és un entorn senzill i compatible amb el microcontrolador un cop instal·lat el paquet de plaques corresponent. A més, permet gestionar fàcilment les llibreries necessàries per a la lectura del sensor i per a la comunicació Bluetooth.

- **Tinkercad**

  S'ha utilitzat amb dues finalitats. D'una banda, per fer una primera aproximació del circuit abans de muntar-lo físicament, representant de manera visual les connexions entre el sensor, la resistència i el microcontrolador, cosa que va ajudar a planificar el muntatge i a evitar errors a la protoboard quan es feien les proves. De l'altra, per modelar en 3D peces de protecció per al prototip, com una caixa que allotja el microcontrolador i la bateria. S'ha escollit perquè és una eina senzilla i gratuïta, adequada tant per a esquemes de circuits com per a un modelatge 3D bàsic com el que requeria el projecte.

- **Unity** [7]

  És el motor amb què s'ha desenvolupat el videojoc interactiu 2D. Inicialment es va valorar Godot [8], un altra eina de desenvolupament de videojocs que oferia integració Bluetooth nativa, però finalment es va optar per Unity per recomanació de professionals. Unity és un dels motors més estandarditzats i utilitzats a la indústria, compta amb molta documentació i exemples, i incorpora nivells preprogramats que faciliten el punt de partida. Tot i no tenir suport Bluetooth natiu a Windows, aquest inconvenient es va resoldre amb un connector extern.

- **Impressió 3D**

  S'han utilitzat les impressores 3D del DissenyLab a la UAB [9] per a fabricar les peces de protecció del prototip dissenyades amb Tinkercad. S'ha optat per la impressió 3D perquè permet crear peces personalitzades segons les mesures exactes del prototip, és un mètode econòmic i el material emprat és lleuger i fàcil d'imprimir. Aquesta llibertat de disseny era necessària per ajustar les proteccions a un dispositiu fet a mida.

7 HARDWARE

En aquesta secció s'exposarà en detall tot el relacionat amb el hardware i components del sistema. Per al desenvolupament s'han escollit components que permetessin construir un sistema autònom i capaç de detectar una acció física senzilla per transformar-la en una entrada digital. La selecció s'ha fet tenint en compte la mida del dispositiu, la sensibilitat necessària i la possibilitat de comunicació wireless.

7.1 Selecció de components

A continuació, es detalla els components considerats per la implementació del sistema.

- **FSR DF9-40**

  El sensor DF9-40 és l'encarregat de detectar la pressió exercida sobre el xumet. S'ha escollit perquè és un sensor de força resistiva de dimensions reduïdes, és flexible i prou sensible per a captar pressions aplicades sobre una zona petita. Aquestes característiques el fan adequat per situar la seva part sensible dins de la tetina i utilitzar-lo com a mecanisme d'entrada. El sensor té unes dimensions de 45.7 mm de llarg, 10 mm d'ample i 0.3 mm de gruix.

- **XIAO Seeed nRF52840**

  El microcontrolador és l'encarregat de llegir el valor analògic del sensor, processar-lo i enviar l'esdeveniment corresponent cap al dispositiu receptor. S'ha triat el Seeed Studio XIAO nRF52840 [10] perquè incorpora Bluetooth Low Energy, disposa de pins analògics per a rebre les lectures del sensor, té una mida molt reduïda (21 x 17.8 mm) i pot funcionar de manera autònoma amb bateria.

- **Resistència**

  Ha sigut necessari l'ús d'una resistència de 100k Ohms per al correcte funcionament del sistema,

- **Xumet Philips Avent ultra air Nighttime 6-18m** [11]

  El xumet actua com a suport físic principal del sistema i com a element d'interacció amb l'usuari. S'ha utilitzat perquè és un objecte quotidià i familiar per al públic al qual va destinat el projecte. S'ha escollit aquest model perquè una part de l'escut és extraïble i deixa un forat per a introduir el sensor a la tetina.

- **Bateria LiPo 3.7V**

  La bateria permet que el prototip funcioni de manera autònoma, sense necessitat d'estar connectat constantment a l'ordinador. Aquesta característica és important perquè el dispositiu ha de poder utilitzar-se com un controlador físic independent. La càrrega es realitza mitjançant el port USB-C del XIAO. S'ha escollit aquest model degut a les seves dimensions reduïdes de 30 x 20 x 6 mm.

- **Placa de Trolase**

  El Trolase s'ha utilitzat com a base rígida sobre la qual es col·loca el sensor. Aquest material s'ha escollit perquè ofereix prou rigidesa per mantenir el sensor estable i transmetre correctament la pressió, però alhora permet ser tallat amb làser amb precisió. Això ha facilitat obtenir una peça adaptada a les dimensions del xumet. La base té unes dimensions de 45 x 10 x 1.5 mm.

- **Goma espuma**

  La goma espuma s'ha col·locat sobre la zona sensible del sensor per evitar una pressió directa sobre aquest. La seva funció és suavitzar la mossegada, protegir el sensor i repartir millor la força aplicada. D'aquesta manera, el contacte amb el sensor és menys brusc i el conjunt resulta més adequat per a l'ús previst. S'ha usat un fragment de 10 x 15 x 1 mm.

- **PLA**

  El PLA (Polylactic Acid) és un dels materials més utilitzats per a impressió 3D. S'ha utilitzat per fabricar les peces de protecció del prototip.

- **Cablejat**

  El cablejat connecta el sensor amb el microcontrolador i permet separar físicament la zona d'interacció de la part electrònica.



Fig. 3: Sensor muntat a la placa de trolase

Pel concepte original del dispositiu, el sensor s'havia de poder posar i treure d'un xumet a l'altre, per això una altra part important del disseny mecànic va ser aprofitar l'estructura pròpia del xumet per crear un sistema extraïble.



Fig. 4: Xumet original

7.2 Disseny mecànic

El disseny mecànic del prototip s'ha plantejat amb dos objectius: el primer consisteix a integrar el sensor de pressió en l'estructura del xumet de manera estable i protegida. A més, el sistema ha d'assegurar que el nen no mossega res lo suficientment dur com per a sentir molèsties. El segon objectiu es basa en protegir el microcontrolador, col·locarlo en una pinça enganxada a la roba del nen i, finalment, connectar els dos elements, el microcontrolador i el sensor, mitjançant un cable.

Una part crucial del disseny és la col·locació del sensor a la tetina del xumet. Per a això s'ha dissenyat una base rígida que actua com a suport estructural del sensor i permet que aquest estigui en una posició estable, inclús durant una mossegada. S'ha optat fer la base de trolase de color metàl·lic. El trolase permet ser tallat amb làser, important quan tenim en compte les petites dimensions del sistema a implementar. A més, el trolase es rígid però flexible, això facilita que la pressió exercida sobre la tetina es transmeti cap a la zona sensible del component i redueix en gran mesura una possible fractura de la base. Sobre aquesta placa s'hi ha fixat el sensor. A la zona activa del sensor s'hi ha col·locat un petit retall de goma espuma per a evitar un contacte directe amb el sensor i un millor repartiment de la pressió. D'aquesta manera, la zona sensible del sensor queda protegida per la goma espuma i el làtex de la tetina. Finalment, la soldadura del cable s'ha protegit amb tub termoretràctil i silicona (*Figura 3*) El procés de soldadura, tant del sensor com del microcontrolador, es veu en detall a l'annex 2.

Per fer-ho, es va separar la peça interior de l'escut, que originalment forma part del mecanisme de subjecció de la tetina (*Figura 4*). Aquesta peça es va modificar manualment per poder-hi fer passar el cablejat del sensor i, al mateix temps, servir com a punt de suport per a la base rígida. La modificació principal va consistir en obrir un forat a la peça separable de l'escut. Aquest forat permet la sortida dels cables cap a la part posterior del xumet, evitant que quedin atrapats o interfereixin amb la col·locació del sensor dins de la tetina. A més, es va aprofitar una petita superfície de plàstic que ja venia incorporada en aquesta peça com a zona de fixació. Aquesta superfície es tractava d'un sortint que es trobava a l'interior del xumet, per la part entre l'escut i el començament de la tetina d'uns 2 cm de llarg. Aquest sortint es va llimar i tallar per a deixar-lo preparat i fixar-hi la placa de trolase. Aquest procés es veu en detall a l'annex 3.

Amb aquesta solució, el conjunt format per la peça de l'escut, la base rígida i el sensor funciona com un mòdul extraïble. Això permet introduir i retirar el sensor del xumet amb més facilitat, sense haver de modificar de manera permanent tota l'estructura del dispositiu. Finalment, s'ha fabricat un petit mòdul extern de PLA, imprès en 3D, per protegir la zona de soldadura del sensor i els cables. En aquest cas és una petita capsa de 25 x 15 x 7.5 mm (*Figura 5, Figura 6*).

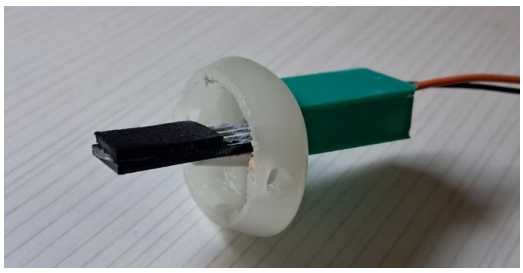

Fig. 5: Base extraïble amb el sensor

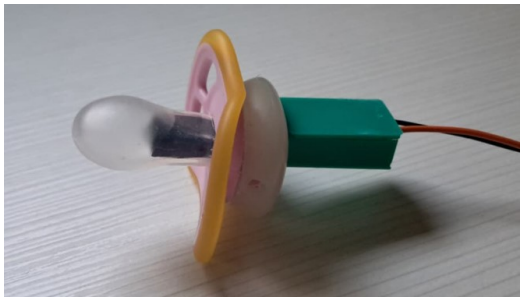

Fig. 6: Prototip d'entrada complet

Per la banda del microcontrolador, s'ha desenvolupat una petita capsa impresa en 3D (Annex 4). S'ha embolicat amb cinta Kapton el prototip conformat per microcontrolador amb els cables, la resistència i la bateria ja soldats, i s'ha col·locat dins de la capsa, enganxat perquè no es mogui. La capsa compta amb una porta lliscant que permet obrir i tancar el conjunt, i té dues obertures: una rectangular per la part on es troba el port USB-C per a carregar la bateria, i una altra rodona per on surten els cables. Té unes dimensions de 35 x 45 x 30 mm, i va enganxada a una pinça transparent que permet que s'enganxi a la roba del nen (*Figura 7*). Finalment, en aquest disseny hi ha l'opció a fer *reset* i encendre el microcontrolador pressionant el botó propi d'aquest.

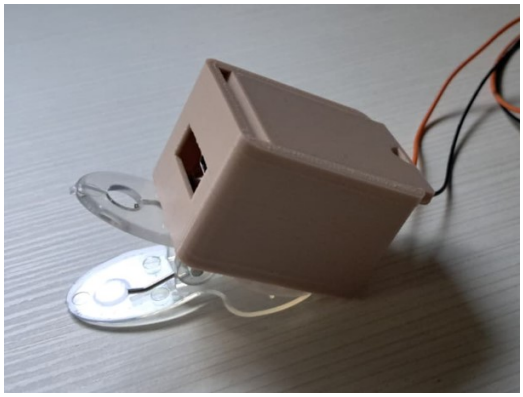

Fig. 7: Capsa que conté el microcontrolador

7.3 Autonomia i consum

L'autonomia del prototip s'ha estimat a partir de la capacitat de la bateria i del consum mitjà del sistema, segons la fórmula:

$$t(h) = Capacitat(mAh)/ConsumMitjà(mA) \quad (1)$$

La bateria escollida té una capacitat de 300 mAh. Pel que fa al consum, el datasheet del XIAO nRF52840 indica un valor mitjà d'uns 10,38 mA, al qual el sensor FSR amb prou feines afegeix res, ja que és un component resistiu. Dins d'aquest consum, la transmissió per Bluetooth Low Energy és el factor més determinant i variable, ja que la radio consumeix en pics breus cada cop que envia dades: com més sovint transmet, més puja el consum mitjà. Així, durant l'ús actiu el consum real pot superar el valor de referència. Aleshores, es treballa amb un consum aproximat d'11 mA. Amb aquests valors:

$$t = 300/11 = 27 \quad (2)$$

L'autonomia és d'aproximadament 27 hores, encara que aquesta xifra és una estimació teòrica, no una mesura calculada empíricament, i convé interpretar-la amb cura. també, Una bateria LiPo no es descarrega mai del tot sense malmetre's, de manera que la capacitat realment aprofitable és inferior a la nominal i l'autonomia contínua real seria una mica menor.

8 SOFTWARE

En aquesta secció s'explica tot el relacionat amb el software del sistema. Principalment, s'expliquen els programes utilitzats, el codi usat, la comunicació per Bluetooth i com s'han adaptat els scripts per a aquesta. També s'exposa el motiu de cada decisió, i finalment s'explica el joc final desenvolupat

8.1 Firmware del microcontrolador

El firmware del microcontrolador s'ha desenvolupat amb Arduino IDE i té com a funció principal llegir el senyal del sensor de pressió, interpretar-lo i enviar els esdeveniments corresponents a l'aplicació receptora mitjançant Bluetooth Low Energy. Per fer-ho, el programa utilitza les llibreries "bluefruit.hï "nrf-soc.h", que permeten treballar amb les funcionalitats BLE del Seeed Studio XIAO nRF52840 i amb funcions específiques del microxip Nordic nRF52840 incorporat.

En un primer moment, per a detectar una mossegada s'establia un llindar fix el qual, al ser superat pel valor d'una lectura, detectava una mossegada. Van aparèixer errors amb aquest enfocament degut a que el sensor té canvis de lectura estant en repòs, i pot arribar a llegir valors per sobre del llindar de manera continua, i, quan això passava, el sistema quedava blocat. Per a evitar això s'ha desenvolupat una línia base dinàmica del sensor en repòs. Durant l'inici del sistema es realitza una calibració inicial a partir de diverses lectures del sensor sense pressió, i amb aquest valor es calcula el llindar de detecció. Posteriorment, mentre el sensor no està pressionat, aquesta línia base es va actualitzant suaument per adaptar-se a petites variacions de lectura. Aquest establiment del llindar dinàmic permet adaptar-se contínuament a qualsevol possible canvi de lectura del sensor en repòs i impossibilita el blocatge del sistema.

Una altra part del firmware és la generació dels missatges que s'envien per Bluetooth. Un cop el sensor ha estat llegit i s'ha interpretat el seu estat, el microcontrolador transmet

aquesta informació mitjançant el servei BLEUart. El dispositiu s'anuncia amb el nom públic Chupete-BLE, de manera que l'aplicació desenvolupada en Unity el pugui localitzar durant l'escaneig. Els missatges enviats depenen del tipus d'interacció detectada: quan es confirma l'inici d'una nova pressió instantània, el firmware envia JUMP, que Unity interpreta com una acció puntual, però, quan es detecta una pressió mantinguda s'envien missatges d'estat amb el format PRESS:1 i PRESS:0, que indiquen si el sensor està pressionat o alliberat. Aquesta distinció és el que permet que un mateix dispositiu controli dues mecàniques de joc diferents, una de salt i una de moviment mantingut. En passar un temps de deu minuts sense detectar cap pressió, el microcontrolador envia el missatge OFF i passa a un estat d'apagat. El conjunt complet de missatges i el seu significat es detallen a l'apartat següent, dedicat a la comunicació Bluetooth Low Energy, mentre que les dues mecàniques de joc s'expliquen més endavant, a l'apartat de desenvolupament del videojoc.

8.2 Comunicació Bluetooth Low Energy

La comunicació entre el prototip físic i el videojoc s'ha implementat mitjançant Bluetooth Low Energy, amb l'objectiu de permetre que el xumet funcioni com un controlador wireless.

Al firmware del microcontrolador s'utilitza el servei BLEUart, que permet enviar missatges de text a través de BLE. La connexió es realitza de la manera següent: el dispositiu XIAO s'anuncia amb el nom públic Chupete-BLE, de manera que el programa receptor pugui identificar-lo durant el procés d'escaneig. Per la seva banda, l'aplicació Unity comença a fer un escaneig buscant un dispositiu amb aquest mateix nom, i un cop el localitza s'estableix la connexió i el joc se subscriu a la característica de notificacions del servei UART del microcontrolador, per on aquest envia les dades. El protocol de comunicació definit és senzill i està basat en missatges de text. Els missatges principals es poden veure a la següent Taula 1:

TAULA 1: Missatges BLE

Missatge	Significat i ús
JUMP	Usat pel joc de salt
PRESS:1	Indica que el sensor comença una pressió mantinguda
PRESS:0	Indica la fi de la pressió iniciada amb PRESS:1
OFF	Indica l'entrada en mode de baix consum passat un temps

Aquesta separació entre missatges permet diferenciar dues formes d'interacció, dissenyades així pels dos nivells jugables: un nivell de salt i un altre de moviment. D'una banda, el missatge JUMP representa un esdeveniment puntual, enviat només quan es detecta una pressió curta. Aquest comportament és adequat per al nivell de salt, on una mossegada ha de provocar una única acció. D'altra banda, els missatges PRESS:1 i PRESS:0 s'utilitzen en el nivell de moviment, on el personatge camina mentre el sensor es manté pressionat i s'atura quan s'allibera. Per últim, el microcontrolador també envia lectures periòdiques amb el missatge READ, útils durant les proves per observar el comportament del sensor i comprovar que els valors arriben correctament a Unity. Aquesta opció és purament pel control del programador i no infereix en el joc, però és recomanable per saber sobre quin rang de lectures treballa el sensor, que com ja hem dit, pot variar les lectures en repòs.

8.3 Desenvolupament del videojoc 2D

Aquest apartat explica la creació i evolució del videojoc creat. La idea base per a la realització d'aquesta aplicació interactiva era fer alguna cosa que utilitzés sons i imatges relacionades, per exemple d'algun animal. Aleshores, es va decidir realitzar un joc simple d'una ovella.

Una de les característiques de Unity és que té nivells preprogramats de molts tipus. En aquest cas es buscava fer un nivell de scroll lateral en 2D. Així doncs, el projecte parteix del *sample* de plataformes 2D de Unity (Annex 5), un nivell ja creat que és pràcticament un *placeholder*. Aquest punt de partida ja proporcionava una base funcional amb personatge, escenari, moviment, salts, col·lisions i animacions bàsiques. Tots aquests elements s'han substituït i modificat per tal d'adaptar-se a les necessitats visuals i mecàniques del projecte.

A nivell visual, s'ha buscat una estètica senzilla i amigable, adequada per a una aplicació orientada a infants. Per aquest motiu, s'ha construït un entorn de granja amb assets de la pàgina Kenney [13], un servei d'assets i decoracions per videojocs gratuït, i s'ha utilitzat una ovella rosa [14] com a personatge principal. L'elecció d'aquest tipus d'escena respon a la voluntat de crear un entorn de dibuixos animats que sigui atractiu per als infants.

Abans d'accedir al joc, s'ha creat una escena de selecció de nivell des d'on es pot escollir entre els dos nivells diferents (*Figura 8*). També, abans de començar cada nivell, el joc mostra una pantalla de connexió amb el xumet en la qual s'informa de que el sistema està esperant el dispositiu i, quan la connexió s'ha establert, inicia un compte enrere abans de començar el joc.



Fig. 8: Selector de nivell

El primer nivell que es va crear va ser el nivell de salt (*Figura 9*). En aquest nivell el personatge avança automàticament i es para abans d'un obstacle, que en aquest cas són tanques de fusta. L'acció de l'usuari consisteix a pressionar el sensor per fer saltar l'ovella i superar aquests obstacles. Encara que sembli una mecànica senzilla, durant la visita a la fundació Nexe, l'equip d'atenció personalitzada ens va comentar que aquest nivell seria massa complicat

per a un infant amb pluridiscapacitat greu, i seria més apropiat deixar-lo com a nivell avançat per als nens més grans o amb menys limitacions, i crear un altre més bàsic. Els professionals de Nexe, aleshores, van comentar que una bona idea seria un nivell simple, sense decoracions en el que el personatge només camini mentre el sensor es manté pressionat. Així doncs, passem al segon nivell, el nivell de caminar (*Figura 10*). En aquest cas, quan el sensor nota una pressió, l'ovella camina i quan la pressió finalitza, aquesta s'atura. A diferència del nivell de salt, aquí la interacció no es planteja com una acció instantània, sinó com una acció contínua, cosa que permet una reacció més directa entre l'infant i el joc: si pressiono el xumet, alguna cosa a la pantalla es mou. Seguint recomanacions, el personatge es va fer més gran que en el nivell de salt, es van eliminar totes les decoracions i es va establir un color de fons que fes contrast amb el color de l'ovella.

Pel que fa a l'apartat sonor, en el nivell de salt sona una música de fons alegre i tranquil·la [15], i cada cop que l'ovella salta es reprodueix el so característic d'una ovella. El nivell de caminar, en canvi, no té música de fons, i el so de l'ovella s'escolta cada vegada que es prem el sensor. D'aquesta manera, el so acompanya sempre l'acció, ajudant l'infant a percebre que el seu gest té una conseqüència directa.

El nivell de salt té un final on l'ovella es posa a dormir, i es pot reiniciar clicant la tecla 'R' per a tornar a l'inici, mentre que l'altre nivell no té fi, l'ovella pot caminar indefinidament.

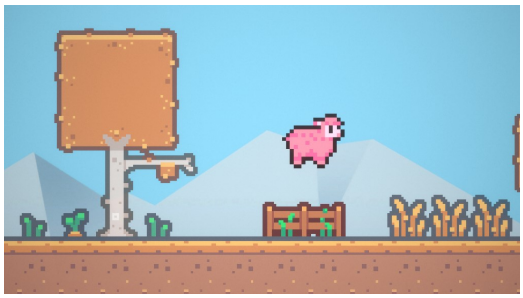

Fig. 9: Aspecte del nivell de salt

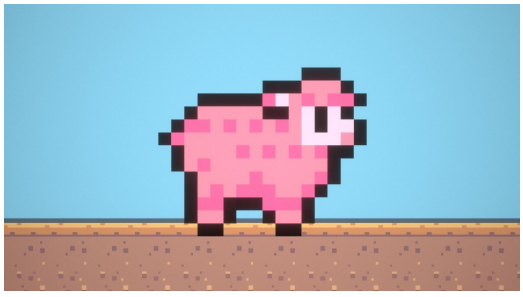

Fig. 10: Aspecte del nivell de moviment

8.4 Integració BLE en Unity

La integració de la comunicació BLE dins de Unity s'ha realitzat mitjançant el plugin extern BLEWinrtDll [12], que permet accedir a dispositius Bluetooth Low Energy des d'una aplicació Unity executada sobre Windows. Per gestionar aquesta connexió s'ha implementat un script principal, BLEManager, encarregat de buscar el dispositiu, establir la connexió, subscriure's a les notificacions i distribuir els missatges rebuts a la resta de scripts del joc.

El procés de connexió comença amb l'escaneig de dispositius BLE. Unity revisa constantment els dispositius de l'entorn fins a trobar-ne un amb el nom Chupete-BLE. Quan el dispositiu és localitzat, s'atura l'escaneig i es passa a buscar el servei UART utilitzat pel microcontrolador. Posteriorment, es localitza la característica de notificacions, que és el canal per on arriben els missatges enviats pel XIAO nRF52840. Es normalitzen els UUID, Unity es subscriu a aquest canal i espera que li arribin missatges. A partir d'aquí, els bytes rebuts es converteixen en text i es processen depenent del nivell que s'estigui executant.

Quan el gestor BLE rep un missatge que conté JUMP, pot reenviar aquesta ordre al controlador del jugador perquè executi un salt extern. Aquesta ordre no modifica directament la física del personatge, sinó que activa una petició de salt dins del mateix sistema de control del jugador. Per al nivell de moviment s'ha afegit un controlador específic que escolta els missatges PRESS:1 i PRESS:0. Quan es rep PRESS:1, el sistema considera que el sensor està pressionat i aplica una entrada horitzontal externa al personatge. Quan es rep PRESS:0, aquesta entrada s'elimina i el personatge s'atura. Aquest comportament permet que la pressió mantinguda sobre el xumet es tradueixi en un moviment continu dins del joc. A continuació es mostren els scripts principals i la seva funció:

- **BLEManager:** Gestiona la comunicació Bluetooth Low Energy amb el xumet. S'encarrega d'escanejar dispositius, trobar Chupete-BLE, connectar-s'hi, subscriure's a les notificacions i rebre els missatges enviats pel microcontrolador.
- **PlayerController:** Controla el comportament del personatge dins del joc. Manté la lògica original de moviment i salt, però incorpora entrades externes perquè altres scripts puguin activar el salt o el moviment a partir dels missatges BLE.
- **SensorHoldMovementController:** Controla el nivell de moviment mantingut. Interpreta els missatges PRESS:1 i PRESS:0 per fer caminar el personatge mentre el sensor està pressionat i aturar-lo quan s'allibera.
- **ConnectionFlowController:** Gestiona la pantalla inicial de connexió. Mostra l'estat de connexió amb el xumet, executa una compte enrere i activa el control del personatge quan el sistema ja està preparat.
- **LevelSelectController:** Implementa el selector de nivells. Permet escollir entre el nivell de moviment mantingut i el nivell de salt, carregant l'escena corresponent.
- **RuntimeUi:** Proporciona funcions auxiliars per generar interfícies gràfiques per codi, com textos, panells, botons i elements visuals utilitzats en els menús i pantalles del joc.

9 Proves i resultats

Aquest projecte presenta una particularitat: el dispositiu està pensat per a un col·lectiu molt concret i vulnerable, i

durant el desenvolupament no ha estat possible provar-lo amb cap infant. Per això, la validació s'ha plantejat en dos nivells. D'una banda, la comprovació tècnica del funcionament del sistema, i d'altra banda, la valoració qualitativa per part dels professionals de la Fundació Nexe, que coneixen de primera mà les necessitats dels infants i poden jutjar si la proposta té sentit.

- **Validació tècnica**

  A escala tècnica, el sistema funciona de manera correcta i completa. La pressió sobre el xumet es detecta de manera fiable, el microcontrolador la interpreta i envia el missatge corresponent per Bluetooth, i el joc en Unity hi respon amb l'acció prevista. Aquest recorregut, del xumet fins a la pantalla, s'ha comprovat en les dues mecàniques implementades: la de salt i la de moviment mantingut. En aquest sentit, l'objectiu de construir un prototip funcional s'ha assolit.

- **Validació amb la Fundació Nexe**

  La valoració dels professionals de la fundació va ser positiva i, a més, va aportar coneixement, canvis i noves idees sorgides d'ells mateixos. Durant el desenvolupament de la part del sensor de la tetina, es dubtava de quin havia de ser el llindar per detectar correctament la mossegada o la pressió que pogués fer l'infant a la tetina. Existia el risc que fos massa alt per a la força de mossegada d'un infant del centre, però abaixar-lo massa obria la porta a falsos positius. Els professionals van resoldre aquest dubte: van confirmar que la pressió necessària per activar el sensor és adequada per a un infant. També van validar la idea de fons del projecte. Utilitzar un objecte familiar com el xumet per oferir una experiència basada en la causa-efecte els va semblar una proposta encertada per als infants de la fundació. Més enllà d'aquesta valoració general, van aportar recomanacions concretes que s'han incorporat al disseny, com la necessitat de simplificar al màxim un dels nivells, deixant només el personatge, un terra i un fons que el fes ressaltar.

- **Referent físic**

  Cap al final del desenvolupament, es va decidir incorporar un element addicional al projecte: un peluix que reprodueix el personatge principal del joc, l'ovella rosa (*Figura 11*). La idea és que l'infant disposi d'una referència física i tangible del que veu a la pantalla. Aquest plantejament es recolza en l'ús dels anomenats objectes de referència o símbols tangibles, àmpliament emprats en l'educació d'infants amb pluridiscapacitat. Es tracta d'objectes tridimensionals i manipulables que comparteixen una relació perceptiva amb allò que representen i que, en exigir menys capacitat d'abstracció i de memòria, resulten més accessibles per a infants amb limitacions sensorials, motrius i cognitives [16]. Disposar de l'ovella com a objecte real pot ajudar l'infant a relacionar el seu propi gest amb el que succeeix al joc, reforçant la connexió entre l'acció i la resposta. Un cop plantejada la idea, els professionals de la fundació hi van donar suport i la van considerar completament encertada.



Fig. 11: Peluix real

10 Conclusions

L'objectiu principal d'aquest treball era explorar una nova forma d'interacció entre infants amb pluridiscapacitat i el seu entorn, i el resultat és un prototip funcional que ho demostra. S'ha construït un xumet capaç de detectar la pressió que hi exerceix l'infant i de convertir-la, sense fils, en una acció dins d'un joc 2D amb resposta visual i sonora. El sistema complet, del xumet fins a la pantalla, funciona de manera estable, i això valida la idea de partida: un gest corporal senzill pot servir com a interfície d'entrada per a una experiència interactiva accessible.

Pel camí s'han completat les tasques específiques que es van plantejar. S'ha aconseguit integrar el sensor dins d'un objecte quotidià i petit com és un xumet, de manera estable, protegida i extraïble, que era una de les parts mecànicament més delicades. S'ha desenvolupat el firmware que llegeix el sensor i n'interpreta l'estat, resolent problemes reals que van anar apareixent, com el bloqueig per la deriva del sensor en repòs. S'ha implementat la comunicació Bluetooth Low Energy perquè el dispositiu funcioni com a controlador sense fils, i s'ha integrat tot amb un joc en Unity que ofereix dues mecàniques diferents a partir del mateix dispositiu, una de salt i una de moviment mantingut, pensades per a graus de dificultat diferents.

La valoració dels professionals de la Fundació Nexe reforça aquests resultats. Tot i això, la conclusió més important d'aquest treball és també la seva limitació principal: el sistema encara no s'ha provat amb cap infant amb pluridiscapacitat. La validació feta és tècnica i experta, però falta la de l'usuari final, que és qui ha de verificar amb les seves accions si el dispositiu compleix el seu propòsit. Aquest treball, per tant, deixa enllestida una base sòlida i funcional, però la part més rellevant de l'avaluació queda oberta.

És aquí on s'obren les següents línies de continuïtat del projecte:

- Provar el dispositiu amb infants de la fundació.
- A partir de les proves amb els infants, realitzar els canvis i les millores necessàries.
- Ampliar el ventall de jocs i mecàniques.
- Buscar un sensor més fiable i robust.

Més enllà del resultat tècnic, aquest treball mostra que és viable construir tecnologia assistiva a mida i de baix cost per a un col·lectiu que, precisament per la seva mida, no resulta atractiu per a la producció comercial. Aprofitar un

objecte tan quotidià com un xumet per donar a un infant amb pluridiscapacitat la possibilitat de veure que una acció pròpia té conseqüències és, després de tot, la finalitat que justifica tot el projecte.

Ús de la IA Generativa

Durant la realització d'aquest treball s'ha utilitzat la intel·ligència artificial generativa com a eina de suport, concretament Claude. El seu ús s'ha limitat a l'ajuda en la redacció dels texts del document: correcció gramatical, millora de l'estructura i de la claredat dels apartats. També s'ha usat en el suport en la depuració del codi, ajudant a corregir errors durant el desenvolupament dels scripts i el firmware.

En cap cas la IA ha substituït o ideat cap aspecte del treball. Totes les idees, bases, inspiracions, desenvolupaments i relacionats han estat pròpies.

Agraïments

Agraeixo a la Fundació Nexe i a la meva tutora Marta Prim per haver-me donat l'oportunitat de fer aquest treball i mostrar-me una part de la vida difícil i que es deixa de banda per la societat. A part, vull agrair novament a la meva tutora per haver-me ajudat i haver estat present en cadascun dels aspectes del treball durant tota la realització d'aquest.

Agraeixo també a la meva mare, Núria Teuler, per haver fet el peluix de l'ovella amb les seves mans, i al meu pare, Ángel Rodriguez, per haver ajudat en la realització de tota la part del disseny mecànic.

Agraeixo a l'equip de la UAB, Jordi Herrero i el personal de DissenyLab, per l'ajuda que m'han oferit.

Agraeixo als meus amics, en específic Jordi Planas, Diego Requena i Francesc Borràs, per haver-me ajudat a l'hora d'entendre com funciona la realització d'un videojoc i com funciona l'eina Unity.

Finalment, vull donar les gràcies a tota la gent que m'ha recolzat durant aquests mesos, en especial a la meva parella, Hannah Martinez i a Oriol Batista.

Referències

[1] Nexe Fundació, "Quiénes somos,"Nexe Fundació. [En línia]. Disponible: https://nexefundacio.org/es/fundacion/quienes-somos/

[2] ECOM, "Nexe Fundació,"ecom.cat. [En línia]. Disponible: https://ecom.cat/es/nexe-fundacio-1

[3] L. García-Carmona, A. Martín, J. R. Sempionatto, J. R. Moreto, M. C. González, J. Wang, y A. Escarpa, "Pacifier biosensor: Toward noninvasive saliva biomarker monitoring,"Anal. Chem., vol. 91, n.º 21, pp. 13883–13891, 2019, doi: 10.1021/acs.analchem.9b03379

[4] H.-R. Lim, S. M. Lee, S. Park, C. Choi, H. Kim, J. Kim, M. Mahmood, Y. Lee, J.-H. Kim, y W.-H. Yeo, "Smart bioelectronic pacifier for real-time continuous monitoring of salivary electrolytes,"Biosens. Bioelectron., vol. 210, art. n.º 114329, 2022, doi: 10.1016/j.bios.2022.114329

[5] Root3Labs, "Brainchild Smart Pacifier". Disponible: https://www.root3labs.com/portfolio/smart-pacifier/

[6] HelpKidzLearn, "One Switch Access". Disponible: https://l1nq.com/42vzufm

[7] Unity Technologies, Ünity Documentation". [En línia]. Disponible: https://docs.unity.com/en-us

[8] Godot Engine, "Godot Engine: Motor de videojocs 2D i 3D gratuït i de codi obert". [En línia]. Disponible: https://godotengine.org/

[9] Escola d'Enginyeria, Universitat Autònoma de Barcelona, "Disseny Lab (Open Labs),ÜAB. [En línia]. Disponible: https://www.uab.cat/ca/enginyeria/dissenylab-openlabs

[10] Seeed Studio, "Getting Started with Seeed Studio XIAO nRF52840,"Seeed Studio Wiki. [En línia]. Disponible: https://wiki.seeedstudio.com/XIAO_BLE/

[11] Philips Avent, Ültra air pacifier". [En línia]. Disponible: https://www.philips.es/c-p/SCF376_01/ultra-air-pacifier

[12] adabru, "BleWinrtDll: BLE for Unity 3d in Windows without UWP,"GitHub. [En línia]. Disponible: https://github.com/adabru/BleWinrtDll

[13] Kenney, "Pixel Platformer Farm Expansion". [En línia]. Disponible: https://kenney.nl/assets/pixel-platformer-farm-expansion

[14] NMR9, "Animated Sheep Pixel Art,ïtch.io. [En línia]. Disponible: https://nmr9.itch.io/animated-sheep

[15] Piki, "Kitty,"Free To Use. [En línia]. Disponible: https://freetouse.com/music/piki/kitty

[16] E. Trief, "The use of tangible cues for children with multiple disabilities and visual impairment,"J. Vis. Impair. Blind., vol. 101, n.º 10, pp. 613–619, 2007. [En línia]. Disponible: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0145482X0710101006

Apèndix

A.1 Diagrames i esquemes

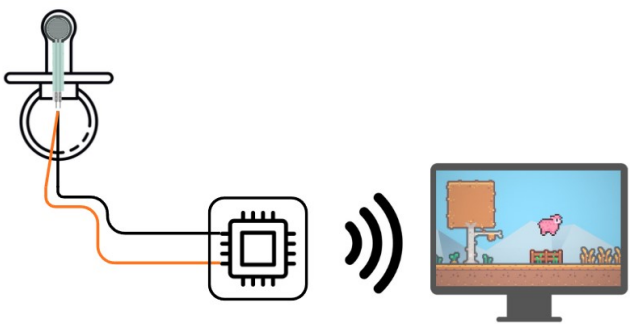

Fig. 12: Esquema general del sistema

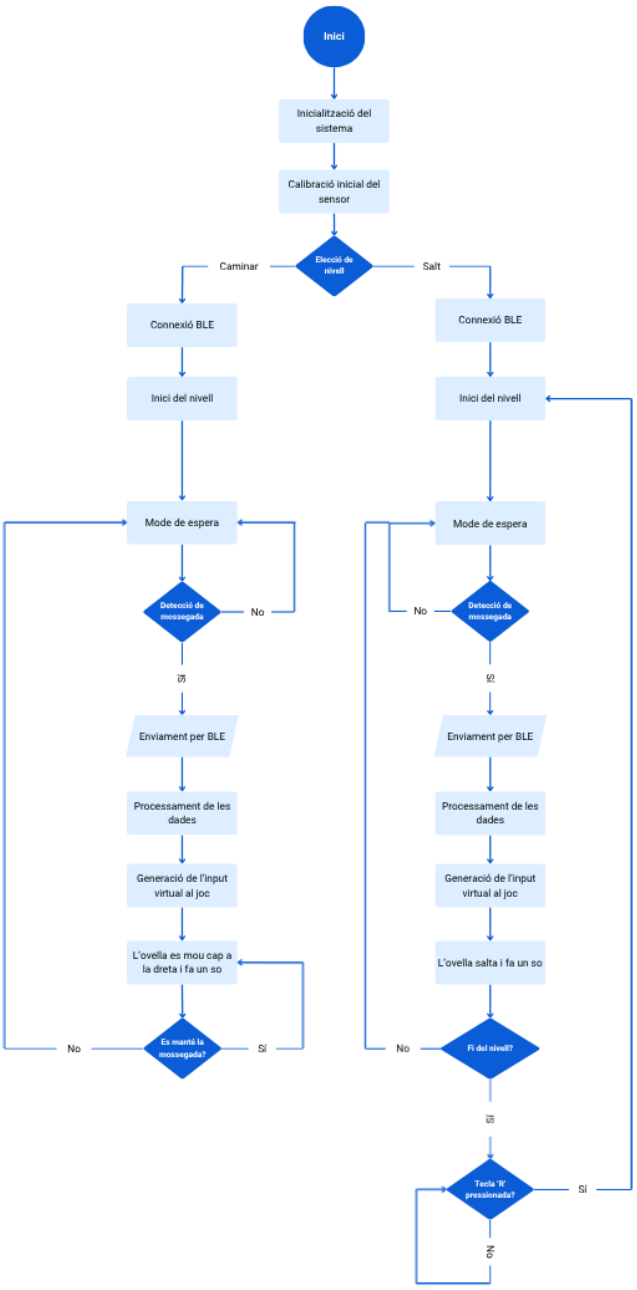

Fig. 13: Diagrama de flux general del sistema

A.2 Soldadura i reforçament

El procés de soldadura del prototip es va dur a terme als laboratoris del Departament de Microelectrònica i Sistemes Electrònics de l'Escola d'Enginyeria de la UAB, amb la col·laboració del tècnic Jordi Herrero, i utilitzant soldadura d'estany.

En una primera versió, el sensor es va soldar al pin A0 (per a rebre dades) i al pin de 5V (per a la font de voltatge) del microcontrolador. Aquesta configuració, però, va resultar problemàtica: el pin de 5V no proporciona tensió quan el XIAO no està connectat per USB-C, de manera que el sistema deixava de funcionar en mode autònom amb bateria. Per resoldre-ho, es va modificar la connexió, passant l'alimentació al pin de 3.3V i la lectura del sensor al pin A1. La resistència es va soldar amb un pin a GND i l'altre a A1. Per protegir les unions dels pins del sensor i fer-les més resistents a estrebades o cops, es van reforçar amb tub termoretràctil i silicona. Finalment, el conjunt format pel microcontrolador, la bateria, el cablejat i la resistència, ja soldats, es va envoltar amb cinta Kapton per mantenir-lo compacte i protegit *(Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17)*.



Fig. 14: Procés de soldadura 1

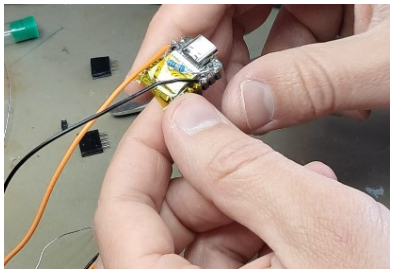

Fig. 15: Procés de soldadura 2

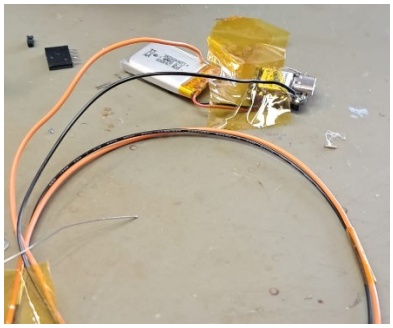

Fig. 16: Procés de soldadura 3



Fig. 17: Soldadura del sensor reforçada

A.3 Aprofitament de la base extraïble

Per a fer que el sistema del sensor es pogués posar i treure, es va aprofitar una part extraïble del xumet original. Aquesta part, però, no era extraïble com a tal, sinó que no estava completament fixe a l'escut i era possible treure-la amb una mica de manya per després tornar-la a col·locar. Per a fer-ho, es va tallar l'aro per on s'agafa el xumet, i amb un cúter i unes tisores es va separar la part verda clara del xumet (*Figura 18, Figura 19*).

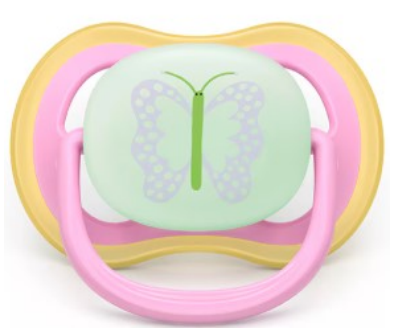

Fig. 18: Xumet original



Fig. 19: Xumet amb la base extraïble separada

Després, amb un cúter es va tallar la meitat del sortint d'aquesta base(*Figura 20, Figura 21*). El següent pas va consistir en fixar aquesta part a una fusta (*Figura 22*) i amb l'ajuda d'un trepant i un tornavís calent es va obrir un primer forat.



Fig. 20: Sortint de la base del xumet



Fig. 21: Croquis per al tall del sortint

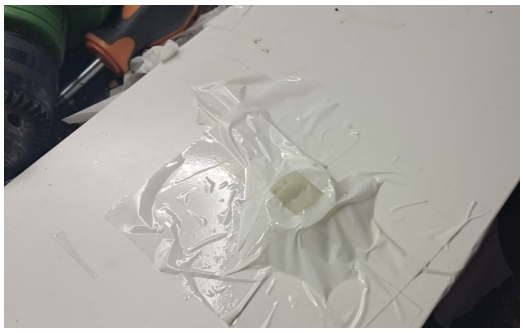

Fig. 22: Base fixada per a usar el trepant

Finalment, aquest forat es va llimar i retocar amb ajuda de llimes i un cúter.(*Figura 23, Figura 24*)



Fig. 23: Base final per davant



Fig. 24: base final per darrere

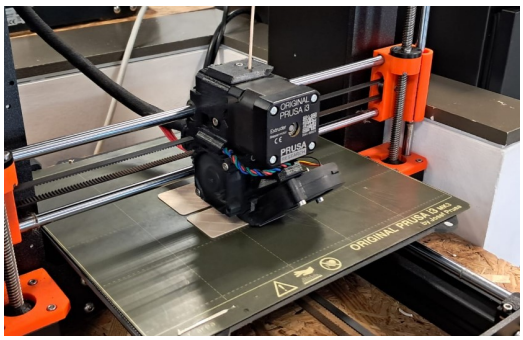

Fig. 27: Impressió 3D

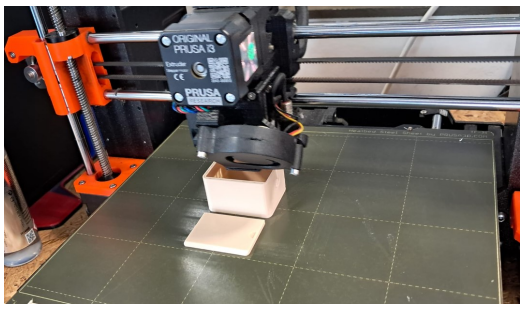

Fig. 28: Impressió 3D finalitzant

A.4 Impressió 3D

La capsa que emmagatzema el microcontrolador es va dissenyar amb Tinkercad (*Figura 25, Figura 26*) i es va imprimir al DissenyLab de l'escola d'Enginyeria de la UAB (*Figura 27, Figura 28*). Es va usar el PLA d'un color salmó proporcionat pel mateix DissenyLab, amb una temps d'uns 45 minuts fins a estar feta. Per acabar, es van haver de llimar els laterals de la porta lliscant per a que aquesta entrés i sortís d'una manera més fluida.

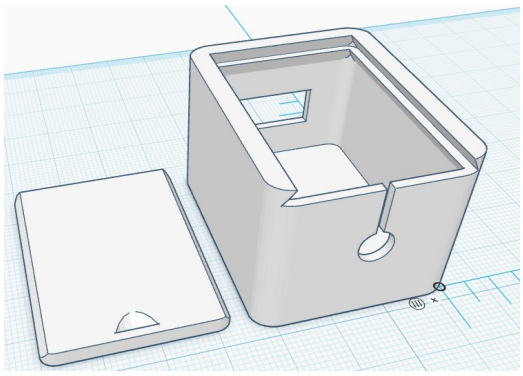

Fig. 25: Disseny de la capsa frontal

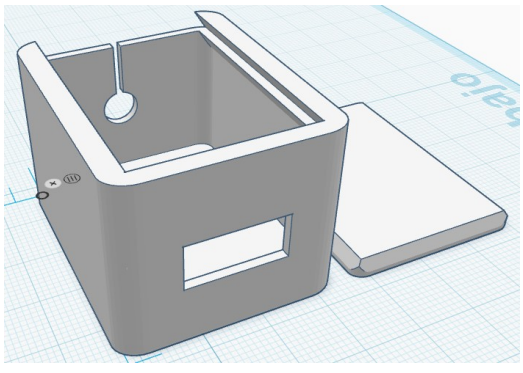

Fig. 26: Disseny de la capsa darrer

A.5 Sample de Unity

A la Figura 29 es pot veure l'aspecte original del *sample* 2D de Unity.

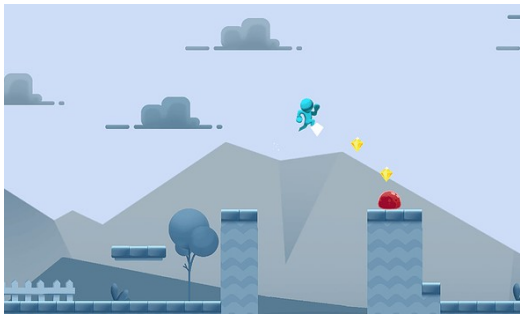

Fig. 29: Sample 2D de Unity