



Informe final publicable de proyecto

Estudio y desarrollo de interfaces alternativas entre personas y dispositivos electrónicos

Código de proyecto ANII: FSED_2_2021_1_170937

Fecha de cierre de proyecto: 02/11/2024

PÉREZ NICOLI, Pablo Sebastian (Responsable Técnico - Científico)

VEIRANO NÚÑEZ, Francisco (Co-Responsable Técnico-Científico)

CABRAL, Rocío (Investigador)

ROSA DEGROLIA, FACUNDO (Investigador)

STEINFELD VOLPE, Leonardo (Investigador)

DIAZ, Leandro (Investigador)

DOMÍNGUEZ ROMERO, Laura (Investigador)

GARCIA ORDEIG, RODRIGO (Investigador)

LECUMBERRY RUVERTONI, Federico (Investigador)

LEDO GUERRERO, ALEJANDRA (Investigador)

MORAES ODRIOZOLA, Bernardo (Investigador)

PÉREZ NUÑEZ, Maria Agustina (Investigador)

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. FACULTAD DE INGENIERÍA (Institución Proponente) \\
ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE EDUCACIÓN PÚBLICA. CONSEJO DE EDUCACIÓN INICIAL Y PRIMARIA \\
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. FACULTAD DE INGENIERÍA

Resumen del proyecto

En la actualidad, una enorme cantidad de dispositivos electrónicos, como computadoras personales (PCs) y teléfonos móviles, son utilizados en la vida diaria para acceder a información, recrearse, comunicarse, estudiar y trabajar. Con el tiempo, se ha desarrollado una significativa dependencia de estas tecnologías, y su uso se ha vuelto tan necesario para la vida en sociedad que incluso se habla de “analfabetismo tecnológico” para referirse a aquellas personas que no tienen acceso a ellas. Esto se debe a que la incapacidad de utilizarlas implica una marginación cada vez mayor.

Los dispositivos electrónicos mencionados anteriormente se manejan a través de interfaces, como teclados o mouse, cuya utilización requiere importantes habilidades motrices. Estas interfaces, en general, no son accesibles ni inclusivas para todas las personas.

Este proyecto estudió y fabricó interfaces alternativas que permiten controlar diferentes dispositivos electrónicos. Se basó en dos ejes principales. El primero abordó el diseño y la fabricación de estas interfaces, consideradas elementos de tecnología asistiva, con el objetivo de alcanzar el estado del arte en términos de funcionalidad, al tiempo que se mejoró su adaptabilidad y configurabilidad, se redujeron los costos, el tamaño y el consumo energético.

Por otro lado, el segundo eje promovió el aprendizaje de electrónica y programación mediante la creación de tutoriales que permiten desarrollar interfaces alternativas entre personas y dispositivos electrónicos. Estos tutoriales utilizan chatarra electrónica y la placa micro:bit, la cual es distribuida por Plan Ceibal a niños y adolescentes del sistema educativo uruguayo.

Ingeniería y Tecnología / Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electrónica e Ingeniería de la Información / Ingeniería Eléctrica y Electrónica / Electrónica

Palabras clave: Tecnología asistiva / interfaz persona/computadora / diseño universal /

Antecedentes, problema de investigación, objetivos y justificación.

En la actualidad, una enorme cantidad de dispositivos electrónicos, como ser computadoras personales y teléfonos móviles entre otros, son utilizados en la vida diaria para acceder a información, recrearse, comunicarse, estudiar y trabajar. Estos dispositivos permiten realizar una infinidad de acciones que eran impensadas hace no tantos años atrás. Por otro lado, se ha ido instalando una significativa dependencia a estas tecnologías y su uso se ha vuelto tan necesario para la vida en sociedad que incluso se habla de “analfabetismo tecnológico” para referirse a aquellas personas que no acceden a ellas, ya que ser incapaz de utilizarlas implica una marginación cada vez mayor. Las consecuencias negativas por no poder utilizar dispositivos electrónicos se vieron agravadas en la situación de pandemia, donde muchas actividades migraron de forma bastante abrupta a la virtualidad, requiriendo el uso de computadoras para actividades como asistir a clase y realizar trámites, entre muchas otras. Muchas de estas actividades continuaron en modalidad virtual incluso luego de superada la pandemia.

Las personas interactuamos con los dispositivos electrónicos a través de interfaces que nos permiten tanto indicarle al dispositivo la acción que se desea realizar como recibir los resultados. Las interfaces más habituales, para el caso de una computadora personal, son mouse y teclado como interfaz de entrada al dispositivo, y monitor como interfaz de salida del mismo. Las interfaces convencionales varían según el dispositivo a controlar y se han ido actualizando con el avance tecnológico. En el caso de un celular moderno utilizamos la pantalla táctil como interfaz, mientras que para la televisión o aire acondicionado utilizamos los botones de un control remoto. De alguna manera, estas interfaces son el nexo entre nuestro cuerpo y la inmensidad de acciones que hoy en día permiten realizar los dispositivos electrónicos. Lamentablemente, las interfaces entre personas y dispositivos electrónicos convencionales, como ser mouse, teclado, pequeñas pantallas táctiles, o pequeños controles remotos, entre otros, resultan poco prácticas para muchos usuarios,

ya que requieren considerables habilidades motrices y son diseñadas para ser utilizadas con partes específicas del cuerpo (generalmente las manos). Es por eso que muchos usuarios, o potenciales usuarios, enfrentan situaciones de discapacidad al intentar utilizar un dispositivo electrónico. Según la Ley 18651 DE PROTECCIÓN INTEGRAL DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD (Artículo 2) “Se considera con discapacidad a toda persona que padezca o presente una alteración funcional permanente o prolongada, física (motriz, sensorial, orgánica, visceral) o mental (intelectual y/o psíquica) que en relación a su edad y medio social implique desventajas considerables para su integración familiar, social, educacional o laboral.” La población con discapacidad motriz particularmente, incluye a personas en una amplia diversidad de situaciones y funcionalidades de acuerdo a la particularidad de su deficiencia así como de acuerdo a las características de su entorno. Las deficiencias motoras, pueden acompañarse de otras a nivel sensorial (por ej: auditivo, visual, o táctil-kinestésico), las cuales junto con las barreras de acceso que existen en la

sociedad, provocan limitaciones en el desempeño ocupacional de la persona, afectando la funcionalidad para poder realizar las actividades de la vida diaria, por ejemplo: trasladarse, vestirse, comer, comunicarse, entre otras. Del mismo modo, el acceso a la tecnología se ve afectado, generando dificultades por ejemplo para escribir en un teclado o utilizar un mouse, lo que dificulta o impide acceder a una computadora convencional. Otros dispositivos electrónicos presentan dificultades similares en su uso, como los celulares, tablets o la televisión. Como se dijo anteriormente, los dispositivos electrónicos son parte de la vida diaria de niñas, niños, adolescentes y adultos. Además, las limitaciones en el acceso al juego en niñas y niños (debido a las dificultades para la exploración y manipulación de los juguetes) crea un fuerte impacto negativo en el desarrollo de otras habilidades como el lenguaje y posteriormente el aprendizaje formal. Por lo tanto, para cumplir con la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, se recomienda a los gobiernos desarrollar capacidad de investigación y desarrollo de tecnología asistiva a nivel local [Assistive-Technology2011]. La OMS también ha elaborado una Lista de Productos de Asistencia Prioritarios (APL, por sus siglas en inglés) [Priority-Assistive-Products-List2016], donde destaca la necesidad de productos como emuladores de teclado, tal como se aborda en este proyecto, los cuales son esenciales para muchos usuarios y constituyen una de las interfaces menos ergonómicas y más difíciles de usar [The-keyboard2015].

Aunque existen dispositivos de tecnología asistiva, estos suelen tener un diseño rígido y no se adaptan adecuadamente a las diversas necesidades de los usuarios. Los altos costos asociados con estos dispositivos agravan aún más el problema, haciéndolos inaccesibles para muchas personas que se beneficiarían de ellos. Con el fin de ejemplificar las características y costo de la tecnología asistiva existente en esta materia, mencionamos a continuación diferentes dispositivos diseñados para controlar el cursor de una computadora (mouse) y su costo estimado: trackballs [n-ABLER-Rollerball] (~USD 350), joysticks [n-ABLER-ProJoystick] (~USD 400), y otros particularmente diseñados para ser utilizados con partes específicas del cuerpo como ser: manejo con la pera [BJOY-chin-mouse] (~EUR 450), con la boca [IntegraMouse] (~EUR 2000), con el pie [3dRudder-FOOT-MOUSE] (~USD 100), o incluso con los ojos [Tobii-PCEye] (~USD 1000). Por otro lado, se pueden encontrar en el mercado mouses convencionales con precios inferiores a los USD 10. Además, la mayoría de las tecnologías asistivas están disponibles principalmente en países de altos ingresos y son difíciles de adquirir en los mercados locales de países de bajos ingresos. Esto genera una falta de información sobre las tecnologías existentes y un soporte técnico insuficiente en esas regiones. Comprar dispositivos de asistencia en el extranjero, sin poder probarlos previamente, arriesgándose a que no sean adecuados, sin soporte local, y enfrentando no solo los altos costos de la tecnología en sí, sino también considerables tarifas de envío y desaduanamiento, hace que el acceso a la tecnología asistiva en los países de bajos ingresos sea extremadamente limitado. Según el Informe Global sobre Tecnología de Asistencia de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y UNICEF (2022) [1], en algunos países de bajos ingresos, solo el 3% de las personas que necesitan productos de asistencia tienen acceso a ellos, en comparación con el 90% en algunos países de altos ingresos.

Esta situación ha motivado diversos esfuerzos académicos, que no solo proponen interfaces novedosas, sino que también se centran en el desarrollo de sistemas de bajo costo [Making-Assistive2019] y versátiles, algunos de los cuales siguen los principios de hardware y software de código abierto [Low-cost Assistive2022]. Específicamente, la investigación académica ha propuesto interfaces humano-computadora que utilizan botones o teclados especiales [Braille-Keyboard2019, A-Methodology2020, Assistive-technology2021], acelerómetros y/o giroscopios [Cursor-Click2020], cámaras para reconocimiento de gestos [Identifying-Facial2017] o seguimiento ocular [Eye-tracking2017, A-Cost-effective2002], sensores de señales electromiográficas (EMG) [Mouse-Emulation2013, Application-of-Facial2006], sensores de señales de electroencefalografía (EEG) [The-Development2021], detección del movimiento de la lengua [Towards-the-Space-Design2022, A-Magneto-inductive2008], así como sistemas que combinan múltiples tipos de sensores [Integrated-Head-tilt2020, Development-of-Hands-free2020]. Sin embargo, el problema del acceso a la tecnología asistiva persiste, y muchos desafíos permanecen para estos desarrollos académicos, como lograr suficiente robustez y calidad para permitir la transición de los dispositivos propuestos de la etapa alfa a prototipos piloto [Low-cost Assistive2022].

Este proyecto aborda el diseño de interfaces persona-dispositivo electrónico proponiendo una plataforma versátil, configurable, que permite implementar diferentes interfaces adaptables buscando ser de utilidad para diferentes usuarios y entornos. El proyecto pone especial énfasis en la adaptabilidad, el bajo costo, y en vencer la barrera para pasar de una etapa alfa y llegar a un prototipo robusto.

Por otro lado, en Uruguay, Plan Ceibal no solo ha sido pionero en entregar computadoras personales a niñas, niños y adolescentes, en los últimos años se han distribuido y promocionado las placas micro:bit, que permiten desarrollar de forma simple variados proyectos vinculados a la electrónica. El Instituto de Ingeniería Eléctrica (IIE) de la Facultad de Ingeniería ha

trabajado en conjunto con Plan Ceibal en diversas actividades vinculadas a estas placas micro:bit. En particular, los docentes responsables de este proyecto hemos participado de esta actividad conjunta con Plan Ceibal, y en ese marco hemos brindado talleres a docentes sobre el uso de la micro:bit, propuesto proyectos replicables por estudiantes de escuela y liceo, y acompañado el desarrollo de dichos proyectos en algunos centros educativos. Basado en esa experiencia, creemos que profundizar en el uso de dichas placas para construir interfaces entre persona y dispositivo electrónico puede brindar herramientas atractivas para los estudiantes que permitan formas alternativas de controlar la computadora (entre otros dispositivos electrónicos) y habilitando variadas aplicaciones. La micro:bit ya incluye varios sensores como acelerómetro y magnetómetro, pero existen también muchos otros sensores que pueden ser agregados de forma relativamente sencilla.

De esta manera este proyecto aborda un pilar fundamental en el uso de las tecnologías, que es la interfaz que conecta nuestro cuerpo con el dispositivo electrónico en sí. En ese sentido, por un lado, a partir de la creación de tutoriales basados en chatarra electrónica y en el uso de las placas micro:bit, se promueve el diseño propio de interfaces, promoviendo la cultura maker, y habilitando un amplio abanico de posibles actividades en el aula. Por otro lado, como se mencionó anteriormente, en este proyecto también se diseñan soluciones más acabadas para proporcionar interfaces que permitan el uso de dispositivos electrónicos por usuarios que actualmente no pueden o encuentran dificultades al hacerlo.

Metodología/Diseño del estudio

Este proyecto fue desarrollado en conjunto por docentes de la Facultad de Ingeniería, por docentes de la Escuela Universitaria de Tecnología Médica (Facultad de Medicina) con experiencia en el trabajo con personas en situación de discapacidad, y con el apoyo de Creática Uruguay y la Escuela N° 200 "Dr. Ricardo Caritat", ambas instituciones vinculadas a la temática de discapacidad y con amplia experiencia.

Si bien el grupo de trabajo ya poseía conocimiento de la tecnología existente, se comenzó realizando un relevamiento de la tecnología asistiva disponible a nivel comercial, y puntualmente la utilizada en diferentes centros del país. Además de analizar los dispositivos que ofrecen diferentes empresas en el mundo, se realizaron visitas a: Centro De Rehabilitación Casa de Gardel, a la Escuela N° 200 "Dr. Ricardo Caritat", al centro Fundación Teletón Uruguay, a Creática Uruguay, se accedió al contenido de la "Valija Viajera" (rampas digitales) del centro Ceibal, y se interactuó con el "Centro de Referencia e Innovación para la Inclusión Laboral" del Polo Tecnológico Industrial del Cerro.

En lugar de orientar el desarrollo focalizándose en un usuario puntual, se utilizó la información recabada durante el relevamiento respecto a la tecnología comercial existente y a las necesidades del medio local, para apuntar a un desarrollo lo más universal posible.

La metodología para el diseño e implementación de la plataforma mencionada consistió en dividir el desarrollo en tres partes principales.

La primera parte se centró en la elaboración de la electrónica del dispositivo, que incluye:

- 1) Sensores de movimiento (acelerómetro, giroscopio y magnetómetro).
- 2) Sensores capacitivos para la fabricación de botones.
- 3) Sensores y actuadores para la comunicación por infrarrojo.
- 4) El microcontrolador.
- 5) Módulos de comunicación inalámbrica.
- 6) Circuitos de gestión de potencia y batería.

La segunda parte del desarrollo se enfocó en la implementación del firmware, diseñado para garantizar una fácil programabilidad e incorporar algoritmos de procesamiento de señales capaces de detectar determinados movimientos realizados por los usuarios. A partir de la selección de componentes específicos, tanto de hardware como de firmware, es posible fabricar distintas interfaces que se basan en esta plataforma común.

Por último, la tercera parte corresponde a la validación de los prototipos diseñados y fabricados. Para ello, se consideraron tanto la opinión de expertos en la temática como la de los potenciales usuarios. La estrategia de validación adoptada fue de carácter clínico-cualitativo, con una primera valoración realizada por un equipo interdisciplinario. Este abordaje incluye tres instancias principales:

- a) Asegurar un correcto posicionamiento postural que promueva la funcionalidad del usuario.
- b) Evaluar los puntos de acceso motor más adecuados.
- c) Valorar la modalidad más adecuada de métodos de acceso, así como identificar y seleccionar actividades apropiadas para trabajar en las áreas de comunicación, aprendizaje, juego y recreación.

Finalmente, cabe destacar que ninguno de los dispositivos desarrollados es invasivo, no requiere cirugía y no presenta riesgo alguno para los usuarios.

En cuanto al diseño y fabricación de interfaces alternativas utilizando la placa micro:bit y "chatarra electrónica", se busca proponer diseños sencillos y reproducibles. Se propone que estos diseños sean progresivos para de esta forma ir aumentando la complejidad incrementalmente y que posean algún aspecto lúdico con el fin de motivar a las niñas y niños que los realicen.

Resultados, análisis y discusión

En este proyecto participaron cuatro estudiantes de ingeniería eléctrica, quienes, además de enfrentar variados desafíos en el desarrollo de hardware, firmware y software, se formaron en una temática poco abordada en los cursos de ingeniería: la discapacidad. También participaron dos ayudantes provenientes de las áreas de fonoaudiología y terapia ocupacional, quienes tuvieron la oportunidad de involucrarse en discusiones interdisciplinarias para analizar y definir los requerimientos necesarios para el proyecto.

El aprendizaje no se limitó únicamente a los ayudantes directamente contratados en el marco del proyecto. Fue un proceso enriquecedor para todo el equipo, ya que implicó enfrentar desafíos diferentes a los habituales en proyectos de investigación. Estos incluyeron el desarrollo de un prototipo robusto, fácil de usar y adaptado a una temática tan compleja y diversa como la discapacidad.

Del relevamiento inicial se identificaron las siguientes necesidades que fueron consideradas en el diseño:

1) Que no requiera de un software específico. Cuando los dispositivos requieren un software específico para funcionar se generan diferentes problemas vinculados a la compatibilidad ya que usualmente estos software no son compatibles con todos los sistemas operativos, o lo son durante cierto tiempo, pero dejan de serlo luego de actualizar el sistema operativo. Además, genera que el usuario dependa de un tercero que instale dichos software en la computadora que se va a usar, tarea que requiere permisos de administrador en dicha computadora. Si bien algunos dispositivos ya logran funcionar de forma plug & play, la mayoría de ellos requiere de un software para ajustar parámetros como por ejemplo la sensibilidad. Es por eso que a partir de esta necesidad nos propusimos desarrollar un dispositivo que no requiera un software dedicado ni para su funcionamiento, ni para su configurabilidad.

2) Adaptabilidad: Las necesidades de cada usuario son muy variadas. Incluso un mismo usuario puede tener necesidades muy variadas en diferentes entornos. Es por eso que nos propusimos una alta configurabilidad por software (configurabilidad de acciones y sensibilidades) y una gran flexibilidad por hardware diseñando arquitecturas modulares que permitan adaptar los dispositivos y fabricarlos en diferentes dimensiones.

3) Que posean variedad de botones (tamaño, forma, esfuerzo necesario para activarlos) ya que son usualmente los dispositivos más utilizados

4) Que sea capaz de detectar movimientos. Esto surja al identificar que si bien existen dispositivos a nivel comercial basados en acelerómetros que detectan movimientos para desencadenar acciones, estos dispositivos son raramente utilizados en el medio local como interfaz persona-computadora.

5) Que permitan acceder al juego/recreación. Se identificó una necesidad puntual en este aspecto, ya que este es el uso que en muchos casos se le termina dando a los elementos de tecnología asistiva y que constituyen también un pilar importante en el desarrollo y la autonomía de la persona en situación de discapacidad.

A continuación se resumen las características del desarrollo realizado vinculándolas con las necesidades previamente enunciadas:

1) Como módulo central se utilizó el módulo de Minew basado en el microprocesador nRF52840. Este módulo se programó para que al conectarse a una computadora, tablet, o celular, ya sea por USB o bluetooth, se identifica como un dispositivo de interfaz humana (HID por sus siglas en inglés) lo que permite manejar puntero (mouse) e ingresar caracteres (teclado) sin necesidad de contar con un software dedicado. A su vez, para poder configurar los parámetros del dispositivo (ej. acciones que desencadenan cada botón, o sensibilidad en el movimiento del cursor) se desarrolló una página web a la cual se puede acceder utilizando cualquier navegador basado en chromium. De esta manera, el dispositivo puede ser configurado conectándolo al USB de la computadora y accediendo a dicha página web. La configuración es guardada en la memoria flash del propio módulo, por lo que no es necesario configurarlo cada vez que se usa, incluso aunque se utilice en diferentes dispositivos.

2) Al módulo anteriormente mencionado, se le agregaron diferentes sensores de entrada para su manejo: 1) una Unidad de Medición Inercial (IMU, por sus siglas en inglés) para detectar movimientos, 2) sensores analógicos para detectar movimientos de palancas tipo joystick, 3) sensores capacitivos para poder implementar botones capacitivos y 4) comunicación por infrarrojo para poder guardar y ejecutar comandos por infrarrojo para manejar otros dispositivos como ser televisores o aires acondicionados. Se fabricaron diferentes circuitos impresos (PCBs) incluyendo en algunos casos algunos de estos módulos, ej. solo el sensor de acelerómetro para mantener un tamaño reducido, solo los sensores analógicos para utilizar un joystick, y en

otros casos incluyendo varios sensores.

3) La fabricación mecánica de las carcasas y botones se realizó mediante impresión 3D y mediante el corte láser de acrílico. Ambas técnicas son altamente customizables permitiendo ajustar tamaños y formas. Fotos de estos desarrollos y mayor detalle pueden encontrarse en el artículo publicado.

De esta manera, la arquitectura modular de hardware permite utilizar el microcontrolador con uno o más sensores externos, y encapsularlas en carcasas fácilmente customizables, dando así versatilidad a los diseños.

4) La Unidad de Medición Inercial (IMU, por sus siglas en inglés) utilizada permite detectar movimientos y fue empleada para implementar un mouse basado en inclinación. Este desarrollo, además, se adaptó para apoyar el diseño propuesto por el "Centro de Referencia e Innovación para la Inclusión Laboral" del Polo Tecnológico Industrial del Cerro (grupo Suma).

El grupo Suma tenía como objetivo desarrollar un dispositivo que, al ser adosado al joystick de una silla de ruedas, permitiera utilizar dicho joystick para controlar el puntero de una computadora, funcionando como un mouse. De esta manera, el usuario, acostumbrado a manejar dicho joystick con sus dimensiones específicas, podría también emplearlo para interactuar con una computadora.

En este contexto, se diseñó un pequeño circuito impreso que incluye el acelerómetro y que se conecta al módulo central descrito anteriormente. Por su parte, el grupo Suma desarrolló las piezas mecánicas necesarias para acoplar la IMU al joystick de una silla de ruedas y conectarlo posteriormente a una PC.

Además, dado que este dispositivo podría montarse en diferentes ubicaciones, se consideró que dotarlo de conectividad inalámbrica sería útil. Por ello, se optimizó su consumo energético para que pudiera ser alimentado mediante una pila botón de 3V, maximizando su vida útil.

5) Cada botón o acción (ej, mover el joystick, o inclinar el dispositivo) tiene una acción configurable mediante la página web de configuración antes mencionada. Dentro de las opciones de configurabilidad, se incluyeron atajos utilizados por diferentes plataformas de entretenimiento, como por ejemplo las necesarias para controlar una lista de reproducción de música. A su vez, el usuario puede definir su propio atajo, pudiendo configurar así el dispositivo para asistirlo en el uso particular que se le quiera dar.

Algunos de estos prototipos fueron entregados a Creática Uruguay. Creática posee variados elementos de tecnología asistiva y como parte de sus actividades suele brindar asesoramiento a potenciales usuarios sobre las potencialidades de cada dispositivo. Dentro de las valoraciones primeras que han realizado han destacado la fácil programabilidad del dispositivo, y el potencial de los botones capacitivos ya que no requieren fuerza por parte del usuario quien puede lograr desencadenar una acción solamente tocando una superficie conductora.

Respecto al desarrollo de tutoriales paso a paso para crear interfaces persona computadora utilizando chatarra electrónica y las placas micro:bit, se implementó un documento incremental que permite crear tres dispositivos diferentes, y videotutoriales explicativos que facilitan y amenizan la comprensión de la actividad. Estos tutoriales permiten 1) hacer click izquierdo y derecho mediante los botones de la ubit o mediante movimientos de la misma (utilizando su IMU) 2) hacer click izquierdo y derecho mediante objetos con baja conductividad, puntualmente se utilizó fruta. 3) Adaptar un teclado convencional para que funcione al tocar un objeto de baja conductividad (también se utilizó fruta).

Conclusiones y recomendaciones

Uno de los principales desafíos al comienzo del proyecto fue determinar los requerimientos del dispositivo de tecnología asistiva a desarrollar. Identificar qué herramienta será útil para un usuario específico es, en gran medida, un proceso de ensayo y error. Al interactuar con usuarios, notamos que incluso resulta complejo deducir qué nueva herramienta podría serles útil, aun basándonos en las herramientas que ya utilizan. Por otro lado, aspirar a desarrollos verdaderamente universales, donde un único dispositivo sea útil para una gran variedad de usuarios, es casi utópico. Por ello, en este proyecto concluimos que es clave desarrollar arquitecturas modulares y configurables, que puedan adaptarse rápidamente para implementar diferentes soluciones.

Otro gran desafío fue la falta de personal técnico especializado en el uso y desarrollo de tecnología asistiva. Son pocos los centros que tienen un conocimiento completo de los elementos de tecnología asistiva existentes para facilitar el uso de dispositivos electrónicos (como computadoras, tablets y celulares), y que además sepan utilizarlos y configurarlos correctamente. Aún más escasos son los centros que intentan desarrollar dispositivos adaptados a usuarios específicos.

En este contexto, encontramos personas con formaciones y experiencias que, si bien podían comprender las capacidades y limitaciones de cada usuario y conocían algunos elementos de tecnología asistiva que podrían ser útiles, no lograban dimensionar los desafíos asociados al desarrollo de un nuevo dispositivo. Tampoco comprendían completamente las posibilidades reales que podían ofrecer los dispositivos que podíamos desarrollar. Esta dificultad es inherente al trabajo interdisciplinario en un área con

poco desarrollo en el país. Para superar esta etapa, comenzamos a realizar desarrollos iniciales para ejemplificar las posibilidades y organizamos numerosas reuniones, tanto internas como con actores clave en la temática.

Otro reto importante que se hizo evidente durante el relevamiento fue la necesidad de robustez en este tipo de dispositivos. Por un lado, deben ser resistentes a golpes, sujetarse firmemente a mesas o sillas y tolerar situaciones de uso incorrecto. Por otro lado, deben ser fáciles de usar e intuitivos. Estos desafíos representaron una importante demanda de tiempo no planificado, ya que fue necesario trabajar en el desarrollo de carcasas resistentes y dedicar muchas horas a detectar y corregir errores (debugging). Era esencial garantizar que los dispositivos no fallaran ni se rompieran, incluso en situaciones de mal uso, ya que cualquier falla que requiera reiniciar o reconectar el equipo podría limitar la independencia del usuario.

Además, simplificar el uso, eliminando la necesidad de software dedicado para su operación y configuración, también demandó tiempo adicional no previsto en la planificación inicial.

Superados estos desafíos, logramos desarrollar un conjunto de soluciones que incluyen electrónica (hardware y firmware), un software sencillo para su configuración vía web, y diferentes diseños de carcasas. Esto nos permitió fabricar prototipos variados, como joysticks de diferentes tamaños, acelerómetros para detección de movimientos y botones que pueden emular tanto mouse y teclado como controles remotos de infrarrojos. Actualmente, algunos de estos prototipos están siendo evaluados por Creática Uruguay, y, habiendo finalizado este proyecto, corresponde discutir su futuro.

En la actualidad, contamos con una base sólida de desarrollo modular que permite implementar nuevos elementos de tecnología asistiva en bajo tiempo. Una prueba de ello fue el trabajo realizado junto al grupo Suma ("Centro de Referencia e Innovación para la Inclusión Laboral" del Polo Tecnológico Industrial del Cerro). Este grupo nos planteó su objetivo de desarrollar un dispositivo que pudiera acoplarse al joystick de una silla de ruedas y permitir el control del cursor de una computadora mediante los movimientos del joystick.

En pocas semanas de trabajo, utilizando los módulos ya implementados en este proyecto, fabricamos un sensor basado en un acelerómetro compacto, diseñado para adherirse al joystick de la silla de ruedas. Este sensor se conecta al módulo central y se presenta ante una computadora, tablet o celular como un combo mouse-teclado (ya sea por USB o Bluetooth). Además, permite configurar fácilmente desde una web parámetros como la acción de cada botón y la velocidad de movimiento. Realizar este desarrollo desde cero habría requerido varios meses de trabajo.

Sin embargo, aunque contamos con esta base, la implementación y fabricación de nuevos modelos, incluso usando estos módulos desarrollados, sigue requiriendo horas de trabajo por parte de personal capacitado. Además, mantener los módulos actualizados implica un esfuerzo continuo, ya que los fabricantes suelen actualizar sus productos (tanto hardware como software), lo que exige ajustes frecuentes en los diseños.

Consideramos fundamental financiar grupos interdisciplinarios que puedan abordar el diseño y desarrollo de tecnología asistiva durante períodos más largos, con financiación estable. Esto permitiría mantener un equipo que acumule y mantenga el conocimiento necesario para este tipo de desarrollos. Intentar alcanzar este objetivo con financiamiento temporal, que principalmente permite contratar estudiantes en períodos cortos, es muy limitado. Aunque este proyecto sentó bases importantes, formó ingenieros en la temática, y demostró que es posible realizar desarrollos relevantes en la temática en el Uruguay, es necesario contar con financiación estable para consolidar un grupo de trabajo que pueda dar continuidad.

Productos derivados del proyecto

Tipo de producto	Título	Autores	Identificadores	URI en repositorio de Silo	Estado
Artículo científico	Versatile, Low-Cost Interface Device for Keyboard and Mouse Emulation	Rodrigo García, Rocío Cabral, Leandro Díaz, Agustina Pérez, Francisco Veirano, Pablo Pérez-Nicoli	Versatile, Low-Cost Interface Device for Keyboard and Mouse Emulation	https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/47578	Finalizado
Material didáctico	Interfaces alternativas : Tutoriales usando chatarra electrónica y la placa microbit	Rodrigo Garcia Ordeig, Rocío Cabral, Leandro Díaz, María Agustina Pérez, Francisco Veirano, Núñez, Pablo Pérez-Nicoli		https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/47592	Finalizado

Referencias bibliográficas

[Assistive-Technology2011] Borg, J., Lindström, A., & Larsson, S. (2011). Assistive Technology in Developing Countries: A Review from the Perspective of the Convention on the Rights of Persons with Disabilities. *Prosthetics and orthotics international*, 35(1), 20-29.

[Priority-Assistive-Products-List2016] World Health Organization. (2016). Priority Assistive Products List: Improving Access to Assistive Technology for Everyone, Everywhere (No. WHO/EMP/PHI/2016.01). World Health Organization.

[The-keyboard2015] Ciobanu, O., Gavat, C., & Cozmei, R. (2015, November). The Keyboard Remains the Least Ergonomically Designed Computer Device. In *2015 E-Health and Bioengineering Conference (EHB)* (pp. 1-4). IEEE.

[n-ABLER-Rollerball] "n-ABLER Rollerball," Boundless Assistive Technology, Portland,USA. [Online]. Available: www.boundlessat.com

[n-ABLER-ProJoystick] "n-ABLER Pro Joystick," Boundless Assistive Technology, Portland,USA. [Online]. Available: www.boundlessat.com

- [BJOY-chin-mouse] "BJOY chin mouse," BJ Adaptaciones, Barcelona, España. [Online]. Available: bjadaptaciones.com
- [IntegraMouse] "IntegraMouse," LIFEtool SOLUTIONS, Linz, Austria. [Online]. Available: www.lifetool-solutions.at
- [3dRudder-FOOT-MOUSE] "3dRudder FOOT MOUSE," 3dRudder, Miami, USA. [Online]. Available: shop.3drudder.com
- [Tobii-PCEye] "Tobii PCEye," Tobii Dynavox, Pennsylvania, USA. [Online]. Available: us.tobiidynavox.com
- [Making-Assistive2019] Prabhakar, A., Indulakshmi, S., Jeyaram, M., Stalin, A. R., Kasthuri, G., & Ramanathan, P. (2019, October). Making Assistive Devices Affordable. In TENCON 2019-2019 IEEE Region 10 Conference (TENCON) (pp. 1725-1730). IEEE.
- [Low-cost Assistive2022] Ariza, J. Á., & Pearce, J. M. (2022). Low-cost Assistive Technologies for Disabled People Using Open-source Hardware and Software: a systematic literature review. *IEEE Access*, 10, 124894-124927.
- [Braille-Keyboard2019] Sîrbu, V. H., ?erban, I., & Ro?ca, I. C. (2019, November). Braille Keyboard for People with Low Vision. In 2019 E-Health and Bioengineering Conference (EHB) (pp. 1-4). IEEE.
- [A-Methodology2020] Andò, B., Baglio, S., Castorina, S., Crispino, R., & Marletta, V. (2020). A Methodology for the Development of Low-cost, Flexible Touch Sensor for Application in Assistive Technology. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70, 1-10.
- [Assistive-technology2021] Bacelar, S., Curiel, R., Vanoli, S., Pérez, M. A., Veirano, F., & Pérez-Nicoli, P. (2021, November). Assistive technology: A Multimodal Interface to Control PC Mouse Pointer and Click. In 2021 IEEE URUCON (pp. 278-281). IEEE.
- [Cursor-Click2020] M. D. Groll, S. Hablani, J. M. Vojtech, and C. E. Stepp, "Cursor Click Modality in an Accelerometer-based Computer Access Device," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 28, no. 7, pp. 1566–1572, 2020.
- [Identifying-Facial2017] J. H. Mosquera, H. Loaiza, S. E. Nope, and A. D. Restrepo, "Identifying Facial Gestures to Emulate a Mouse: Navigation Application on Facebook." *IEEE Latin America Transactions*, vol. 15, no. 1, pp. 121–128, 2017.
- [Eye-tracking2017] Lupu, R. G., Bozomitu, R. G., P?s?ric?, A., & Rotariu, C. (2017, June). Eye Tracking User Interface for Internet Access Used in Assistive Technology. In 2017 E-Health and Bioengineering Conference (EHB) (pp. 659-662). IEEE.
- [A-Cost-effective2002] Corno, F., Farinetti, L., & Signorile, I. (2002, August). A Cost-effective Solution for Eye-gaze Assistive Technology. In Proceedings. IEEE International Conference on Multimedia and Expo (Vol. 2, pp. 433-436). IEEE.
- [Mouse-Emulation2013] A. O. Andrade, A. A. Pereira, C. G. Pinheiro Jr, and P. J. Kyberd, "Mouse Emulation Based on Facial Electromyogram," *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 8, no. 2, pp. 142–152, 2013.
- [Application-of-Facial2006] C.-N. Huang, C.-H. Chen, and H.-Y. Chung, "Application of Facial Electromyography in Computer Mouse Access for People with Disabilities," *Disability and Rehabilitation*, vol. 28, no. 4, pp. 231–237, 2006.
- [The-Development2021] Ru?anu, O. A. (2021, November). The Development of a Brain-Computer Interface for Controlling a Robotic Arm and a Mobile Device by Using the Voluntary Eye Blinking. In 2021 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB) (pp. 1-4). IEEE.
- [Towards-the-Space-Design2022] Bamdad, M., Kirtas, O., Mohammadi, M., & Struijk, L. N. A. (2022, November). Towards the Space Design for User Interface Elements of Inductive Tongue-Computer Interface. In 2022 E-Health and Bioengineering Conference (EHB) (pp. 1-4). IEEE.
- [A-Magneto-inductive2008] Huo, X., Wang, J., & Ghovanloo, M. (2008). A Magneto-inductive Sensor Based Wireless Tongue-computer Interface. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 16(5), 497-504.
- [Integrated-Head-tilt2020] J. M. Vojtech, S. Hablani, G. J. Cler, and C. E. Stepp, "Integrated Head-tilt and Electromyographic Cursor Control," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 28, no. 6, pp. 1442–1451, 2020.
- [Development-of-Hands-free2020] C. Esiyok, "Development of Hands-free Interaction Techniques and Alternative Computer Access Solutions for People with Motor-neuron Impairments," 2020.

Licenciamiento

Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)

