



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE SOFTWARE

Trabajo de Integración
Curricular previa la obtención
del Grado Académico de
Ingeniero de Software.

Proyecto Tecnológico:

**“MANEJO DE LAS APLICACIONES DE UN COMPUTADOR CENTRADO EN
PERSONAS CON TETRAPLEJÍA”**

Autor:

Jimmy Lauro Lopez Bustamante

Director del Proyecto Tecnológico:

Ing. Gleiston Ciceron Guerrero Ulloa, PhD.

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2024



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **JIMMY LAURO LOPEZ BUSTAMANTE**, declaro que el proyecto tecnológico aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Jimmy Lauro Lopez Bustamante
C.I: 0705001519



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO TECNOLÓGICO

El suscrito, **Ing. Gleiston Ciceron Guerrero Ulloa, PhD.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante, **Jimmy Lauro Lopez Bustamante**, realizó el Proyecto Tecnológico de grado titulado “**Manejo de las aplicaciones de un computador centrado en personas con tetraplejía**”, previo a la obtención del título de **Ingeniero de Software**, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Gleiston Ciceron Guerrero Ulloa, PhD.
DIRECTOR DEL PROYECTO TECNOLÓGICO



CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

El suscrito, **Ing. Gleiston Ciceron Guerrero Ulloa, PhD.**, mediante el presente, cumplo en presentar a usted, el informe del Proyecto Tecnológico titulado “**Manejo de las aplicaciones de un computador centrado en personas con tetraplejía**”, presentado por el estudiante **JIMMY LAURO LOPEZ BUSTAMANTE**, egresado de la **Carrera de Software**, que fue revisado bajo mi dirección según resolución del Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, que se ha desarrollado de acuerdo al Reglamento de la Unidad de Integración Curricular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y cumple con el requerimiento de análisis de COMPILATIO el cual avala los niveles de originalidad en un 99% y similitud 1%, del trabajo investigativo. Valido este documento para que el estudiante siga con los trámites pertinentes, de acuerdo como lo establece el Reglamento.

**INFORME DE ANÁLISIS**
magister

Manejo de las aplicaciones de un computador centrado en personas con Tetraplejía

1%

Textos sospechosos

< 1%

Similitudes

< 1% similitudes entre comillas

0% entre las fuentes mencionadas

< 1%

Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: Manejo de las aplicaciones de un computador centrado en personas con Tetraplejía.docx
ID del documento: afe307c1218840335ebc9cfe3b4871173f843022
Tamaño del documento original: 4,74 MB

Depositante: GLEISTON CICERON GUERRERO ULLOA
Fecha de depósito: 30/4/2024
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 30/4/2024

Número de palabras: 23.296
Número de caracteres: 155.236

Ing. Gleiston Ciceron Guerrero Ulloa, PhD.
DIRECTOR DEL PROYECTO TECNOLÓGICO



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE SOFTWARE

PROYECTO TECNOLÓGICO

Título:

“Manejo de las aplicaciones de un computador centrado en personas con tetraplejía”

Presentado al Consejo Directivo de Facultad como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero de Software

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Orlando Ramiro Erazo Moreta, PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Nancy Magali Rodríguez Gavilanes, MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Cristian Gabriel Zambrano Vega, PhD.

QUEVEDO – LOS RIOS – ECUADOR

2024

AGRADECIMIENTO

En este momento de culminación de mi vida universitaria, mi corazón rebosa de alegría y gratitud hacia aquellos cuyo apoyo ha sido un pilar fundamental en mi viaje académico. El amor incondicional y la sabiduría de mis abuelos han sido una guía constante desde muy pequeño, mientras que el soporte inquebrantable de mis padres y hermana ha sido la fortaleza detrás de cada paso dado, brindándome la fuerza necesaria para perseguir mis sueños con determinación. Agradezco también a mis tíos que han estado ayudándome a forjar este sueño, especialmente a ti, ñaña, con tus invaluable consejos y afecto que han sido luces guías en mi camino. No puedo dejar de agradecer a mi pareja, cuya comprensión y amor han sido mi refugio. A mi tutor de tesis, le debo un agradecimiento especial por su mentoría y paciencia, que han sido cruciales en este proceso de aprendizaje. Mis docentes merecen reconocimiento por su dedicación y por impartir sabiduría, preparándome para enfrentar los desafíos con una mente crítica y abierta. Finalmente, a mis compañeros de carrera, en especial a Miguel, Víctor y Cristhian, lo único que puedo decir es gracias por su amistad, apoyo y por los momentos compartidos, que han sido esenciales para mi bienestar y éxito. Con lágrimas de felicidad en mis ojos, vuelvo a agradecer a cada uno de ustedes que ha contribuido a mi crecimiento personal y académico, forjando un lazo fuerte de generosidad y amor. Gracias por iluminar mi camino; vuestra presencia ha sido un regalo invaluable.

DEDICATORIA

Durante este viaje en tren, que inicié hace algunos años, he aprendido la importancia de la perseverancia y la dedicación. A todos los que han viajado conmigo, y a los que descendieron en algunas estaciones, quiero expresarles que han sido un pilar fundamental a lo largo de mi travesía universitaria. Agradezco a mis abuelos por mostrarme el valor de la sabiduría y el amor incondicional. A mis padres y mi hermana, por su fortaleza y su fe inquebrantable en mí, que han impulsado mi perseverancia y éxito. A mis tíos y en particular a ti, ñaña, por vuestros consejos y cariño, que han iluminado mi camino en la universidad. A mi pareja, por su motivación y comprensión que me fortalecen día a día. A mi tutor de tesis y a todos mis profesores, por su invaluable mentoría, paciencia y entrega, fundamentales en mi formación. Y a mis amigos y compañeros, en especial a Miguel, Víctor y Cristhian, gracias por su compañía constante, apoyo mutuo y por los momentos inolvidables compartidos. Dedicó este logro a todos ustedes, actores clave en este hermoso viaje. Su influencia ha trazado cada línea de mi historia, escrita a lo largo de mi vida, y por ello les estoy profundamente agradecido. Gracias por inspirarme y por recorrer este camino conmigo.

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES

La Tetraplejía resulta en la pérdida de capacidad motora y sensorial en la médula espinal cervical; conlleva una dependencia en actividades cotidianas, especialmente el uso de la computadora. Frente a esta realidad y la falta de herramientas de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) adaptadas para estas personas, se propone TetraNav. Este sistema basado en inteligencia artificial para mejorar la autonomía y accesibilidad de estas personas en la interacción con la computadora. Se aplicó un enfoque integral, analizando limitaciones actuales, revisando investigaciones previas e identificando necesidades específicas a través de entrevistas y un estudio de caso. TetraNav se diseñó para capturar y traducir comandos de entrada mediante reconocimiento de voz y movimiento de la cabeza, detectando la coordenada de la posición de nariz para mover el cursor del ratón. Los resultados de este proyecto permitieron la interacción autónoma con aplicaciones de computadora a la persona (estudio de caso) con Tetraplejía. En cuanto a los indicadores de evaluación, se obtuvo como resultado que el sistema TetraNav mejoró la eficiencia en un 85%, en referencia al tiempo que la persona tardaba en realizar ciertas actividades en la computadora. Las pruebas continuas con el estudio de caso, el cual evaluó la efectividad del sistema, realizando ajustes según sus necesidades. La innovación clave de TetraNav radica en ofrecer una forma más cómoda y eficiente de interactuar con la computadora, sin invadir su entorno y ayudar a superar sus limitaciones, mejorando significativamente la accesibilidad. Implementar estos métodos alternativos utilizando inteligencia artificial representa un avance importante en la mejora de la calidad de vida de estas personas. TetraNav también busca aportar a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, contribuyendo a reducir desigualdades, promoviendo la igualdad de acceso a la tecnología y fomentando la participación plena de personas con Tetraplejía en la sociedad digital del futuro.

Palabras Clave: Tetraplejía; Reconocimiento facial; Reconocimiento de Voz; Inteligencia Artificial; Accesibilidad.

ABSTRACT AND KEYWORDS

Quadriplegia results in the loss of motor and sensory capacity in the cervical spinal cord; it entails a dependence on daily activities, especially the use of computers. Given this reality and the lack of Information and Communication Technologies (ICT) tools adapted for these individuals, TetraNav is proposed. This system, based on artificial intelligence, aims to improve autonomy and accessibility for these individuals in computer interaction. An integrated approach was applied, analyzing current limitations, reviewing previous research, and identifying specific needs through interviews and a case study. TetraNav was designed to capture and translate input commands through voice recognition and head movement, detecting the nose position coordinate to move the mouse cursor. The results of this project allowed autonomous computer application interaction for the person (case study) with tetraplegia. Regarding evaluation indicators, it was found that the TetraNav system improved efficiency by 85%, referring to the time it took the person to perform certain activities on the computer. Continuous testing with the case study, which assessed the system's effectiveness, making adjustments according to their needs. TetraNav key innovation lies in offering a more comfortable and efficient way to interact with the computer, without invading their environment and helping to overcome their limitations, significantly improving accessibility. Implementing these alternative methods using artificial intelligence represents a significant advance in improving the quality of life for these individuals. TetraNav also seeks to contribute to the Sustainable Development Goals, helping to reduce inequalities, promoting equal access to technology, and encouraging the full participation of people with tetraplegia in the digital society of the future.

Keywords: Quadriplegia; Facial Recognition; Voice Recognition; Artificial Intelligence; Accessibility.

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO TECNOLÓGICO.....	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO	iv
CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES	viii
ABSTRACT AND KEYWORDS	ix
TABLA DE CONTENIDO	x
CÓDIGO DUBLÍN	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1
MARCO CONTEXTUAL DEL PROYECTO TECNOLÓGICO	3
1.1. Problema de investigación.....	4
1.1.1. Planteamiento del problema	4
1.1.2. Formulación del problema.....	6
1.1.3. Sistematización del problema	6
1.2. Objetivos.....	6
1.2.1. Objetivo General.....	6
1.2.2. Objetivos específicos	6
1.3. Justificación	7
MARCO TEÓRICO DEL PROYECTO TECNOLÓGICO	8
2.1. Marco Conceptual.....	9
2.1.1. Tetraplejía	9
2.1.2. Paraplejía	9
2.1.3. Exoesqueleto.....	9

2.1.4. Inteligencia Artificial.....	9
2.1.5. Expresiones faciales.....	10
2.1.6. Interfaz hombre-máquina (IHM)	10
2.1.7. Usabilidad	10
2.1.8. Modelo Espiral.....	10
2.2. Marco referencial.....	11
METODOLOGÍA.....	14
3.1. Marco de fases de desarrollo del proyecto tecnológico	15
3.1.1. Desarrollo del sistema TetraNav.....	15
3.1.1.1. Determinación de objetivos.	16
3.1.1.2. Evaluación y reducción de riesgos.....	18
3.1.1.3. Desarrollo y validación.	20
3.1.1.4. Planificación.	25
3.2. Cronograma	27
3.3. Recursos, presupuesto y financiamiento.....	29
3.3.1. Talento humano	29
3.3.2. Equipo de trabajo	29
3.3.3. Recursos de software	29
3.3.4. Recursos de hardware	30
3.3.5. Materiales de Oficina.....	30
3.4. Instrumentos para el seguimiento y control.....	31
3.4.1. Diagrama de Gantt	31
3.4.2. Microsoft Teams	31
3.4.3. GitHub	31
3.4.4. Google Drive	31
3.5. Indicadores de evaluación.....	32
3.5.1. Cumplimiento de plazos	32

3.5.2. Calidad del producto o servicio	32
3.5.3. Satisfacción del cliente o usuario.....	33
3.5.4. Adopción tecnológica	33
3.5.5. Eficiencia operativa	33
3.5.6. Rendimiento del sistema.....	34
3.5.7. Innovación y diferenciación	34
RESULTADOS	37
4.1. Producto tecnológico desarrollado	38
4.1.1. Determinación de objetivos	38
4.1.2. Evaluación y reducción de riesgos	43
4.1.4. Evaluación continua de la efectividad del sistema	56
4.2. Comprobación.....	58
4.2.1. Porcentaje de cumplimiento en la entrega de tareas de desarrollo	58
4.2.2. Índice de cumplimiento de objetivos de desarrollo	58
4.2.3. Tasa promedio de detección de la posición de la nariz	58
4.2.4. Tasa de reconocimiento de comandos de voz.....	58
4.2.5. Índice de satisfacción del cliente	58
4.2.6. Nivel de adopción tecnológica por usuario	59
4.2.7. Eficiencia operativa comparativa	59
4.2.8. Tiempo de respuesta del sistema referente a los comandos de voz	59
4.2.9. Discusión sobre TetraNav y los sistemas existentes en el mercado	60
4.3. Manual de funcionamiento	61
4.3.1. Funcionamiento del sistema TetraNav	61
4.3.2. Manual de usuario de TetraNav	62
4.3.2.1. Pantalla de inicio.....	62
4.3.2.2. Pantalla de comandos de voz.	63
4.3.2.3. Pantalla de comandos de voz, opción “Atajos predefinidos”.	64

4.3.2.4.	Pantalla de comandos de voz, opción “Páginas web”.....	65
4.3.2.5.	Pantalla de configuración velocidad del ratón.	67
4.4.	Conclusiones y recomendaciones	68
4.4.1.	Conclusiones.....	68
4.4.2.	Recomendaciones	68
	BIBLIOGRAFÍA.....	70
	ANEXOS.....	77
5.1.	Consentimiento informado	78
5.2.	Documento para la entrevista	79
5.3.	Cuestionario de evaluación.....	80
5.4.	Cuestionario Sistema de Usabilidad del Software (SUS).....	82
5.5.	Entrevista realizada a la persona con Tetraplejía	83
5.6.	Usuario antes de utilizar TetraNav.	83
5.7.	Usuario utilizando TetraNav actualmente	84
5.8.	Logo TetraNav.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Recursos de software para la construcción de TetraNav.....	29
Tabla 2. Recursos de software para el desarrollo del documento	30
Tabla 3. Recursos de hardware para la construcción de TetraNav.....	30
Tabla 4. Materiales de oficina	30
Tabla 5. Indicadores de evaluación de usabilidad	35
Tabla 6. Tabla de información detallada de la entrevista.....	38
Tabla 7. Métodos para el reconocimiento facial.....	40
Tabla 8. Métodos para el reconocimiento de voz.....	42
Tabla 9. Reemplazo del modelo pequeño al modelo grande de la librería Vosk	43
Tabla 10. Estrategias para mitigar los riesgos identificados	43
Tabla 11. Especificaciones de Hardware para la construcción de TetraNav.....	46
Tabla 12. Software seleccionados para la construcción de TetraNav	46
Tabla 13. Herramientas seleccionadas para el desarrollo de TetraNav	46
Tabla 14. Métodos de reconocimiento utilizados en la construcción de TetraNav	47
Tabla 15. Nuevos componentes de hardware aplicados al sistema TetraNav.	48
Tabla 16. Caso de uso "Ejecutar modelos".....	50
Tabla 17. Caso de uso "Visualizar comandos"	51
Tabla 18. Caso de uso "Configurar velocidad del ratón"	51
Tabla 19. Caso de uso "Registrar comandos".....	52
Tabla 20. Caso de uso "Modificar comandos"	53
Tabla 21. Evaluaciones continuas del sistema con el usuario	56
Tabla 22. Comparación de TetraNav con sistemas existentes en el mercado	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo espiral.....	16
Figura 2. Esquema de arquitectura de reconocimiento facial.....	23
Figura 3. Esquema de arquitectura de reconocimiento de voz	23
Figura 4. Planificación de la segunda iteración del ciclo de desarrollo del sistema.....	26
Figura 5. Planificación de la tercera iteración del ciclo de desarrollo del sistema.....	26
Figura 6. Planificación de la cuarta iteración del ciclo de desarrollo del sistema.	27
Figura 7. Cronograma general de actividades realizadas en la primera y segunda etapa para el desarrollo de TetraNav.	28
Figura 8. Resultados de las diapositivas presentadas en la primera interacción de la fase desarrollo y validación.....	44
Figura 9. Componentes de hardware adaptados en el entorno del usuario.....	48
Figura 10. Diagrama de despliegue de TetraNav	49
Figura 11. Diagrama general de casos de uso	50
Figura 12. Diagrama de clases.....	54
Figura 13. Diagrama de actividades	55
Figura 14. Resultado de aceptación de TetraNav.	57
Figura 15. Pantalla de inicio de TetraNav	62
Figura 16. Pantalla de Comandos de voz	63
Figura 17. Pantalla de comandos de voz, opción “Atajos predefinidos”	64
Figura 18. Pantalla de comandos de voz, opción “Páginas web”	65
Figura 19. Pantalla de velocidad ratón	67

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Tasa promedio de detección.....	33
Ecuación 2. Tasa de reconocimiento de comandos de voz.....	33
Ecuación 3. Porcentaje de reducción.....	34
Ecuación 4. Tiempo de respuesta del sistema.....	34

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Consentimiento informado para la participación en el proyecto.	78
Anexo 2. Documento de la entrevista realizada a los usuarios con Tetraplejía	79
Anexo 3. Cuestionario de evaluación del sistema con el usuario.....	80
Anexo 4. Cuestionario SUS.....	82
Anexo 5. Entrevista realizada con el estudio de caso.....	83
Anexo 6. Usuario interactuando con la computadora mediante una barita	83
Anexo 7. Usuario interactuando con la computadora utilizando TetraNav	84
Anexo 8. Logo del sistema TetraNav.	84

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	Manejo de las aplicaciones de un computador centrado en personas con Tetraplejía.		
Autor:	Jimmy Lauro Lopez Bustamante		
Palabras claves:	Tetraplejía	Reconocimiento facial	Reconocimiento de voz
	Accesibilidad	Inteligencia Artificial	
Fecha de publicación:	Mayo, 2024		
Editorial:	Quevedo - UTEQ “La María”, 2024		
Resumen:	La Tetraplejía resulta en la pérdida de capacidad motora y sensorial en la médula espinal cervical; conlleva una dependencia en actividades cotidianas, especialmente el uso de la computadora. Frente a esta realidad y la falta de herramientas de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) adaptadas para estas personas, se propone TetraNav. Este sistema basado en inteligencia artificial para mejorar la autonomía y accesibilidad de estas personas en la interacción con la computadora. Se aplicó un enfoque integral, analizando limitaciones actuales, revisando investigaciones previas e identificando necesidades específicas a través de entrevistas y un estudio de caso. TetraNav se diseñó para capturar y traducir comandos de entrada mediante reconocimiento de voz y movimiento de la cabeza detectando la coordenada de la posición de nariz para mover el cursor del ratón. Los resultados de este proyecto permitieron la interacción autónoma con aplicaciones de computadora a la persona (estudio de caso) con Tetraplejía. En cuanto a los indicadores de evaluación, se obtuvo como resultado que el sistema TetraNav mejoro la eficiencia en un 85%, en referencia al tiempo que la persona tardaba en realizar ciertas actividades en la computadora. Las pruebas continuas con el estudio de caso, el cual evaluó la efectividad del sistema, realizando ajustes según sus necesidades. La innovación clave de TetraNav radica en ofrecer una forma más cómoda y eficiente de interactuar con la computadora, sin invadir su entorno y ayudar a superar sus limitaciones, mejorando significativamente la accesibilidad. Implementar estos métodos alternativos utilizando inteligencia artificial representa un avance importante en la mejora de la calidad de vida de estas personas. TetraNav también busca aportar a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, contribuyendo a reducir desigualdades, promoviendo la igualdad de acceso a la tecnología y fomentando la participación plena de personas con Tetraplejía en la sociedad digital del futuro.		
Abstract:	Quadriplegia results in the loss of motor and sensory capacity in the cervical spinal cord; it entails a dependence on daily activities, especially the use of computers. Given this reality and the lack of Information and Communication Technologies (ICT) tools adapted for these individuals, TetraNav is proposed. This system, based on artificial intelligence, aims to improve autonomy and accessibility for these individuals in computer interaction. An integrated approach was applied, analyzing current limitations, reviewing previous research, and identifying specific needs through interviews and a case study. TetraNav was designed to capture and translate input commands through voice recognition and head movement, detecting the nose position coordinate to move the mouse cursor. The results of this project allowed autonomous computer application interaction for the person (case study) with tetraplegia. Regarding evaluation indicators, it was found that the TetraNav system improved efficiency by 85%, referring to the time it took the person to perform certain activities on the computer. Continuous testing with the case study, which assessed the system's effectiveness, making adjustments according to their needs. TetraNav key innovation lies in offering a more comfortable and efficient way to interact with the computer, without invading their environment and helping to overcome their limitations, significantly improving accessibility. Implementing these alternative methods using artificial intelligence represents a significant advance in improving the quality of life for these individuals. TetraNav also seeks to contribute to the Sustainable Development Goals, helping to reduce inequalities, promoting equal access to technology, and encouraging the full participation of people with tetraplegia in the digital society of the future.		
Descripción:	104 hojas A4: dimensiones, 29 x 21cm + CD-ROM 6162		
URI:			

INTRODUCCIÓN

La Tetraplejía es una condición en la cual se experimenta un deterioro o pérdida de la capacidad motora y sensorial en los segmentos cervicales de la médula espinal, debido al daño en los elementos neurales ubicados dentro del canal espinal. Asimismo, la Tetraplejía reduce la capacidad de las personas de disfrutar de la salud y de realizar actividades por sí solas, ya que presentan completa inmovilidad, volviéndose dependientes de los demás [1]. Esta condición médica se clasifica como una de las discapacidades más restrictivas, porque provoca la aparición de alteraciones en la capacidad de moverse, la sensibilidad, y disfunciones en los sistemas vesical, intestinal y sexual. Esto conlleva también a alteraciones en los ámbitos social, psicológico, económico y laboral [2].

En la actualidad, uno de los enfoques de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) es la asistencia para mejorar la autonomía de las personas con Tetraplejía en el uso de la computadora. Aunque se han realizado algunas investigaciones, es importante destacar que todavía existen necesidades en cuanto a interfaces ergonómicas para garantizar que los usuarios puedan operar dispositivos, como computadoras, de manera eficiente y cómoda [3].

Entre las investigaciones en este campo se puede citar el trabajo realizado por Sahadat et al. [4] que utiliza un auricular portátil en forma de casco con sensores magnéticos, unidad de control y micrófono Bluetooth para permitir la comunicación con la computadora a través de tres funciones: 1) clic con la lengua, 2) control del puntero con seguimiento de cabeza, y 3) reconocimiento de voz para escritura. No obstante, se considera un prototipo bastante pesado, lo que podría resultar incómodo y difícil de adaptar para los usuarios. Por otro lado, en la investigación que realizaron Bian et al. [5], utilizaron una cámara monocular infrarroja junto con un algoritmo para detectar la posición de la nariz y el estado de la boca para el control de activar o desactivar el cursor del ratón. Sin embargo, este prototipo solo permite el movimiento del cursor del ratón, sin proporcionar funcionalidades adicionales para realizar otras tareas en la computadora.

Según lo expuesto en los trabajos anteriores, se puede afirmar que las soluciones propuestas ayudan parcialmente a una persona con Tetraplejía a usar una computadora, ya que cumplen estrictamente solo con los objetivos expuestos en sus investigaciones. Debido a estas limitaciones, se puede concluir que estos sistemas son de poca ayuda para que personas con Tetraplejía interactúen con computadoras.

Basado en estas limitaciones, en este proyecto tecnológico se propone TetraNav, un sistema creativo basado en inteligencia artificial para que las personas con Tetraplejía puedan hacer uso de la computadora de manera accesible. El objetivo es brindarles mayor autonomía e independencia, procurando así aportar al mejoramiento de su calidad de vida. El sistema TetraNav presenta una interfaz que permite capturar y traducir de manera adecuada los comandos de entrada, utilizando métodos alternativos de interacción adaptados a las necesidades específicas de personas con Tetraplejía. Estos métodos alternativos incluyen TIC como el reconocimiento de voz y detección del movimiento de la cabeza, que facilitan la interacción eficiente.

El documento está estructurado en secciones que abordan varios aspectos de la realización del proyecto tecnológico. El capítulo I describe el marco contextual del proyecto tecnológico, donde representa la base que permite entender cómo el entorno y los factores externos influyen en el desarrollo del proyecto, lo que es esencial para comprender su importancia y, sobre todo, el alcance de los objetivos detallados. El capítulo II se enfoca en presentar el marco conceptual de manera exhaustiva, donde se redactan los conceptos más relevantes que guardan estrecha relación con el desarrollo del proyecto. En el marco referencial, se exploran los trabajos relacionados con el proyecto y el contexto en el cual se enmarca. El capítulo III detalla minuciosamente la metodología aplicada a lo largo del proceso de desarrollo del sistema. También se describe el marco de fases del proyecto tecnológico, donde, mediante la aplicación de dicha metodología, se redacta su progresión. Se presenta un cronograma de actividades que ilustra cada paso durante el desarrollo. Se abordan los recursos, presupuestos y financiamiento utilizados en la ejecución del proyecto, incluyendo la planificación presupuestaria. Además, se proporciona información sobre los instrumentos para el seguimiento y control, así como los indicadores de evaluación aplicados. El capítulo VI expone los resultados alcanzados en el proyecto, evaluados en función de los objetivos previamente establecidos. Donde también se representan los resultados de los indicadores en la parte de comprobación. Se incluye un manual de funcionamiento que detalla el sistema TetraNav. Como últimos puntos, se presentan las referencias bibliográficas empleadas para respaldar el desarrollo del proyecto y, finalmente, se incluyen los anexos.

CAPÍTULO I

MARCO CONTEXTUAL DEL PROYECTO TECNOLÓGICO

1.1. Problema de investigación

En esta sección se aborda de manera integral la comprensión y análisis de la problemática en cuestión. Este proceso se divide en varias etapas cruciales, que incluyen el planteamiento del problema, su formulación y sistematización, así como la definición de los objetivos perseguidos y la justificación de la relevancia de abordar esta cuestión.

1.1.1. Planteamiento del problema

Las personas que padecen una lesión medular experimentan un evento traumático de gran relevancia que puede tener un impacto significativo en sus vidas. Esta lesión conlleva una serie de disfunciones físicas, psíquicas, familiares, sociales y económicas que no solo afectan al paciente, sino también a su entorno cercano [6].

Las personas con lesiones neurológicas, lesiones de la médula espinal o accidentes cerebrovasculares enfrentan amplias limitaciones al interactuar con la computadora, ya que lo podrían hacer únicamente con su cabeza, emitiendo señales como gestos de su rostro, con la boca y mediante la voz.

Las personas con Tetraplejía requieren interfaces de computadora y alternativas basadas en las funcionalidades que les quedan. Todas estas limitaciones plantean un desafío significativo para estas personas en términos de accesibilidad computacional y participación en el entorno digital [7].

Diagnóstico

Intentando disminuir las consecuencias de las disfunciones de las personas con Tetraplejía, se proponen algunas aplicaciones de las TIC para ayudar a las personas con discapacidades en las extremidades superiores. Entre ellas está la estimulación eléctrica funcional para activar músculos o nervios y estimular movimientos controlados [8]. Además, se utilizan dispositivos robóticos como brazos y manos para automatizar ciertas tareas [9].

Actualmente, el uso de la computadora se ha vuelto imprescindible para todas las personas, ya que las necesitan para tareas laborales, propósitos educativos y de comunicación. Sin embargo, esto resulta más desafiante para aquellas personas con discapacidad, ya que no pueden realizarlas de manera autónoma [10]. Sin embargo, existen aplicaciones de uso cotidiano, además de los dispositivos de entrada convencionales como el teclado y el ratón, que no son accesibles especialmente para las personas con Tetraplejía [11]. Es de reconocer

que se han logrado avances en interfaces simples o interfaces cerebro-computador conectadas directamente en esta parte del cuerpo para mejorar la independencia en ausencia de movimiento físico [12]. Las interfaces cerebro-computadora intracorticales decodifican los movimientos previstos del brazo y la mano a partir de señales neuronales para controlar aplicaciones de tabletas [13].

La falta de herramientas TIC que permitan a personas con Tetraplejía usar la computadora es un problema que afecta a este grupo, y desarrollar estas herramientas es esencial para su inclusión. [14]. Con el avance de las TIC, se han producido cambios significativos en este ámbito, permitiendo el desarrollo de diversas formas de interacción, como interfaces que detectan el movimiento de la cabeza [4], movimientos gestuales [15] y de reconocimiento de voz [4]. Aunque se han realizado avances significativos, proporcionando a las personas con Tetraplejía una forma más natural de interactuar con la computadora [16], persisten desafíos considerables que necesitan ser abordados, especialmente en lo que respecta a la accesibilidad y adaptación de las tecnologías a las necesidades específicas de estas personas.

Pronóstico

Para mitigar el problema de accesibilidad y adaptación en personas con Tetraplejía requiere el desarrollo de tecnologías innovadoras que permitan utilizar la computadora de manera más independiente. Para ello, se deben desarrollar sistemas poco invasivos que utilicen señales que estas personas sean capaces de emitir [17]. Por lo tanto, la ausencia de soluciones adecuadas y exhaustivas para facilitar el uso de la tecnología por parte de personas con discapacidad complica su perspectiva futura, ya que se encuentran entre las más vulnerables de la población mundial [18]. Si no se avanza en esta investigación para desarrollar interfaces que faciliten la interacción con la computadora, es probable que sigan dependiendo de otras personas y carezcan de independencia. La falta de herramientas específicas podría incrementar las dificultades en su acceso a la tecnología.

Sin soluciones específicas, estas personas podrían quedarse estancadas en mejorar su calidad de vida. La carencia de herramientas tecnológicas adecuadas limitaría su participación en actividades esenciales, como la educación en línea, el trabajo desde casa, la comunicación digital e incluso el entretenimiento. Esto aumenta la brecha de acceso a la tecnología entre personas con y sin discapacidades, dificultando su integración plena en la sociedad digital del futuro y teniendo un impacto negativo en su independencia y bienestar general.

1.1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son las principales dificultades que enfrentan las personas con Tetraplejía al acceder y utilizar aplicaciones en una computadora, y cómo se puede desarrollar un sistema adaptado para mejorar su accesibilidad y promover la interacción autónoma con la computadora?

1.1.3. Sistematización del problema

- ¿Cuáles son los requisitos específicos que un sistema debe cumplir para permitir una interacción efectiva entre las personas con Tetraplejía y la computadora al acceder y utilizar aplicaciones?
- ¿Cómo diseñar un sistema especializado para la interacción efectiva de personas con Tetraplejía en aplicaciones de una computadora, incluyendo métodos alternativos de captura y traducción de comandos de entrada?
- ¿Qué evaluación y ajustes son necesarios para el sistema desarrollado con relación a la accesibilidad y autonomía de personas con Tetraplejía al utilizar computadoras, tomando como base los resultados de las pruebas?

1.2. Objetivos

En esta sección se detalla los objetivos, tanto el general como los específicos, los cuales fueron el pilar para el desarrollo del sistema TetraNav.

1.2.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema que mediante las adaptaciones necesarias permita el manejo de aplicaciones de un computador a personas con Tetraplejía de forma autónoma.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar las necesidades y desafíos específicos de las personas con Tetraplejía en cuanto al acceso y uso de las aplicaciones de la computadora, mediante entrevistas y análisis de caso para comprender sus limitaciones y requisitos tecnológicos.
- Diseñar un sistema especializado para facilitar la interacción de personas con Tetraplejía con las aplicaciones de una computadora (con MS Windows), permitiendo la captura y traducción de los comandos de entrada mediante métodos alternativos.
- Evaluar la efectividad del sistema de manera continua a través de un estudio de caso con el propósito de identificar y realizar ajustes según sea necesario para alcanzar el producto final.

1.3. Justificación

La relevancia de desarrollar TetraNav radica en su potencial para transformar la vida de las personas con Tetraplejía, empoderándolas con herramientas accesibles que les permitan una participación plena en el entorno digital. La necesidad de un sistema especializado para este grupo se deriva de la limitación en la movilidad de sus extremidades superiores, lo cual representa un obstáculo considerable en la interacción con dispositivos de entrada convencionales. El propósito principal de este proyecto es superar estas barreras tecnológicas y facilitar su inclusión digital.

El sistema TetraNav no se limita a un solo ámbito, sino que también impacta aspectos fundamentales de la vida cotidiana. A través de este sistema adaptado, las personas con Tetraplejía podrán acceder a una mejor educación, explorar oportunidades laborales y establecer conexiones significativas con otros a nivel comunicativo. No obstante, la importancia de este proyecto trasciende lo individual, alineándose con la promoción de una sociedad inclusiva y equitativa. Al eliminar las barreras tecnológicas, se promueve la igualdad de oportunidades, contribuyendo a reducir la exclusión social, exclusión digital y fortaleciendo su integración activa en la sociedad.

Este esfuerzo de desarrollo también está en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular con el objetivo 3: "Garantizar una vida saludable y promover el bienestar", enfocado en atender las necesidades de personas con condiciones especiales, como la Tetraplejía [19]. Asimismo, este proyecto busca avanzar en el objetivo 10: "Reducción de las desigualdades". Al proporcionar una interacción efectiva y precisa con las computadoras, se fomenta la autonomía en la vida diaria y se garantiza un acceso equitativo a la tecnología para las personas con Tetraplejía [20].

Estos objetivos están alineados con la visión de asegurar que todas las personas, sin importar su condición, puedan acceder a tecnologías que mejoren su bienestar en todas las etapas de la vida. Además, TetraNav aspira a reducir la brecha digital, ampliando la inclusión para que estas personas puedan participar plenamente en la sociedad y beneficiarse de los recursos tecnológicos que nivelan las condiciones en igualdad con los demás [19][20]. En última instancia, TetraNav busca transformar vidas y promover un cambio significativo en la interacción entre las personas con Tetraplejía y las computadoras, al tiempo que contribuye a la construcción de un mundo más inclusivo y equitativo.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO DEL PROYECTO TECNOLÓGICO

2.1. Marco Conceptual

En esta sección, se introducen los conceptos fundamentales que se emplearán a lo largo del documento.

2.1.1. *Tetraplejía*

La Tetraplejía, también conocida como Cuadriplejía, es una condición donde se experimenta un deterioro o pérdida de la capacidad motora y sensorial en los segmentos cervicales de la médula espinal, debido al daño en los elementos neurales ubicados dentro del canal espinal. Asimismo, reduce el poder disfrutar de la salud y no tener la capacidad de realizar actividades por sí solo, ya que el paciente tiene la completa inmovilidad, haciéndolo dependiente de los demás [1].

2.1.2. *Paraplejía*

La paraplejía es una condición que provoca pérdida de movilidad y sensibilidad en las extremidades inferiores y, en algunos casos, en la parte inferior del tronco. Esta condición puede ser causada por un daño o lesión a la médula espinal. También puede variar en gravedad y alcance, dependiendo del nivel y la extensión del daño a la médula espinal. Lo cual, pueden experimentar parálisis completa, mientras que otras pueden tener algún grado de función o sensación restante. El manejo de esta condición incluye el uso de sillas de ruedas y un tratamiento rehabilitador multidisciplinario [1].

2.1.3. *Exoesqueleto*

Un exoesqueleto es un mecanismo externo que se coloca junto a una extremidad del usuario con el propósito de proporcionar asistencia. Su función es transmitir torques desde unos actuadores cercanos a través de enlaces exoesqueléticos rígidos hasta las articulaciones del cuerpo humano. Estos dispositivos están diseñados para ajustarse a la forma de las extremidades y asegurar su correcto funcionamiento. Además, pueden operar en cuatro modos fundamentales mediante diferentes algoritmos de control [21].

2.1.4. *Inteligencia Artificial*

La inteligencia artificial, más conocida con las siglas IA, que se refiere a un amplio término de la programación y del desarrollo de sistemas informáticos que son diseñados para entrenar máquinas y llevar a cabo múltiples tareas. Su objetivo es investigar teorías de razonamiento,

como el razonamiento cognitivo y la conciencia, con el fin de desarrollar máquinas que exhiban comportamientos humanos y posean características cognitivas relacionadas con la conciencia [22].

2.1.5. *Expresiones faciales*

Las expresiones faciales desempeñan un papel significativo por el cual los humanos expresan sus emociones y pensamientos, lo que las convierte en un componente crucial para lograr una interacción natural hombre-máquina. Sin embargo, el contexto emocional no se limita únicamente a las expresiones faciales, sino que también puede extraerse de anotaciones verbales y señales no verbales, como gestos y movimientos con la cabeza [23].

2.1.6. *Interfaz hombre-máquina (IHM)*

La interfaz hombre-máquina, es un tipo de interfaz que permite la interacción entre personas y máquinas. Una forma comúnmente empleada en la actualidad es el software de interfaz gráfica de usuario (GUI), el cual se puede instalar y visualizar en dispositivos como computadoras, laptops y sistemas integrados. Comparado con sistemas basados en texto o comandos, esta interfaz resulta más sencilla de utilizar [24].

2.1.7. *Usabilidad*

La usabilidad es un factor crucial que cobra cada vez más importancia en la actualidad, obligando a las empresas de software a elevar el nivel de calidad en sus fases de desarrollo. La fase a considerar es el diseño de la interfaz de usuario, donde la usabilidad debe ser considerada como un atributo de calidad que, además de discutir objetivos y requisitos, permita una interacción fácil, agradable e intuitiva [25].

2.1.8. *Modelo Espiral*

El Modelo espiral, propuesto por Boehm [26] y posteriormente analizado en profundidad por Pressman en su obra sobre ingeniería de software [27], se caracteriza por su enfoque evolutivo del desarrollo de software que proporciona una estructura que se ajusta a proyectos de software que son cambiantes, permitiendo hacer prototipos con aspectos controlados y sistemáticos del modelo de cascada. También se utiliza para proyectos de software dinámicos y complejos, con el objetivo de proporcionar flexibilidad y adaptabilidad para abordar lo que son riesgos y cambios a lo largo del desarrollo del sistema. Por ello, este modelo tiene el potencial para realizar un desarrollo rápido de versiones para una serie de

entregas evolutivas. En las primeras iteraciones del modelo de espiral, lo que se entrega es un prototipo. Cada vuelta alrededor de la espiral representa una fase de desarrollo, desde el punto inicial hasta la entrega del producto. Se puede destacar la adaptabilidad del modelo espiral, ya que puede aplicarse a lo largo de toda la vida del software, desde el desarrollo hasta las mejoras continuas hasta obtener un producto final. La importancia de ajustar el plan del proyecto y el desarrollo del software en función de la retroalimentación del cliente y los cambios en los requisitos. Las fases de esta metodología son cuatro: determinación de objetivos, evaluación y reducción de riesgos, desarrollo y validación, planificación.

2.2. Marco referencial

En esta sección, se presenta la revisión de trabajos sobre la interacción entre personas con Tetraplejía y dispositivos informáticos, destacando diversas soluciones innovadoras y sus respectivas limitaciones. A continuación, se citan algunas de ellas:

Kong et al. [15], desarrollaron un sistema intraoral Tongue Drive (iTDS), un dispositivo inalámbrico integrado y manipulado mediante la lengua. Este sistema se presenta en forma de un retenedor dental con forma de un arco sellado herméticamente, el cual se coloca en la cavidad bucal de manera totalmente oculta. Además de proporcionar comodidad, se adapta de manera personalizada de acuerdo con la anatomía oral del paciente y se fija de manera estable a los dientes inferiores. Una de sus principales capacidades es reconocer gestos y comandos realizados con la lengua. Para el procesamiento de los datos, se emplean sensores magnéticos, sin la necesidad de utilizar algoritmo de reconocimiento de patrones. Sin embargo, el uso de sensores magnéticos sin un algoritmo de reconocimiento de patrones puede limitar la precisión y eficacia del reconocimiento de gestos, lo que podría afectar la experiencia del usuario.

Asimismo, el trabajo de Sahadat et al. [4] propone una solución para permitir que las personas con Tetraplejía puedan interactuar con una computadora. Esta propuesta se basa en el uso de un auricular portátil equipado con sensores magnéticos, una unidad de control y micrófono Bluetooth. Mediante el empleo de tres funciones distintas, se logra establecer la comunicación entre el usuario y la computadora. Estas funciones incluyen: (1) el movimiento de la lengua para realizar clic con el ratón, (2) el seguimiento de la cabeza para controlar el puntero del ratón y (3) el reconocimiento de voz para la escritura. No obstante, se considera un prototipo bastante pesado, lo que podría resultar incómodo o difícil de adaptar para los usuarios.

Bian et al. [5] propusieron una interfaz hombre-máquina (HMI) que permite detectar la posición del puntero del ratón y las expresiones faciales, mediante el uso de una cámara monocular infrarroja. El algoritmo desarrollado en este trabajo se centra en la detección de la posición de la nariz para controlar y navegar con el cursor del ratón, así como el estado de la boca (abierta o cerrada) para activar o desactivar el movimiento del ratón. Asimismo, este algoritmo aplica un árbol de decisión aleatorio para detectar la información facial. Sin embargo, este prototipo solo permite el movimiento del cursor del ratón, sin proporcionar funcionalidades adicionales para realizar otras tareas en la computadora. En la misma línea de investigación, Archajo et al. [28] desarrollaron un sistema de control de labios (LCS), que incluye unos auriculares y un joystick que está colocado delante del labio inferior del usuario. Este prototipo captura el movimiento de los músculos del labio inferior, configurado como un ratón estándar Bluetooth para permitir el movimiento de su cursor. No obstante, el prototipo requiere estar conectado a la computadora, ya que carece de baterías. Además, se considera un prototipo invasivo, ya que tendría que colocarse en la cabeza del usuario, lo cual puede llegar a ser incómodo.

En el estudio llevado a cabo por Vasisht et al. [29], se presenta un sistema que utiliza una cámara web simple y, en sí, una interfaz que traduce los movimientos oculares, como parpadear, mirar y entrecerrar los ojos para realizar acciones con el ratón. Todo esto se logra mediante un software de reconocimiento facial, que detecta las características de la cara para localizar los diferentes puntos necesarios, como los ojos, la boca, etc. A pesar de esto, el enfoque principal del sistema radica en el control del cursor del ratón a través de movimientos oculares y de la boca, y no ofrece funcionalidades adicionales para interactuar con la computadora. Relacionado con la investigación anterior, el trabajo de Islam et al. [30] presenta un sistema que utiliza el movimiento ocular para controlar un teclado virtual, incorporando una cámara web para detectar la cara del usuario, la dirección de la mirada y el parpadeo del ojo para seleccionar las teclas del teclado virtual. Este teclado consta de 40 teclas, incluyendo una tecla de eliminación. Cada tecla se ilumina y emite un sonido secuencial en dirección hacia adelante o hacia atrás al ser presionada. Sin embargo, el sistema se centra exclusivamente en el teclado virtual destinado a la entrada de texto, lo que limita el uso de la computadora a la escritura.

Por otro lado, se han desarrollado sistemas para ayudar a las personas con Tetraplejía a realizar otras actividades. En el trabajo de Al-Okby et al. [31], los autores utilizan el procesamiento del habla para controlar una silla de ruedas utilizando dos tipos de micrófonos

sensibles a diferentes distancias del usuario. En la misma línea de investigación, Azraai et al. [32] diseñaron un sistema que emplea un microcontrolador para detectar los movimientos de la cabeza mediante sensores, y traducir estos datos en instrucciones para controlar el movimiento de la silla de ruedas eléctrica. Otro trabajo que ayuda a las personas con esta discapacidad es el trabajo presentado por Baklouti et al. [33]. Ellos propusieron un sistema basado en una cámara monocular para controlar una órtesis exoesquelética de cuatro ejes. Ellos utilizaron técnicas de procesamiento de imágenes y algoritmos de aprendizaje para evaluar los gestos faciales, incluyendo movimientos de la cabeza y la expresión bucal mediante la estimación de los movimientos de los labios.

Analizando las tecnologías utilizadas y las deficiencias que presentan los trabajos revisados, se presenta TetraNav, el cual proporciona una solución efectiva y adaptada a las necesidades específicas de este grupo de personas. Este incorpora métodos alternativos de interacción, como el reconocimiento facial, la detección del movimiento de la cabeza y el reconocimiento de voz, para ayudar a estas personas con Tetraplejía a superar las limitaciones actuales. De esta manera, ofrecer una herramienta accesible y fácil de usar que mejore su calidad de vida, fomentando la participación en un entorno virtual más inclusivo y equitativo.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Marco de fases de desarrollo del proyecto tecnológico

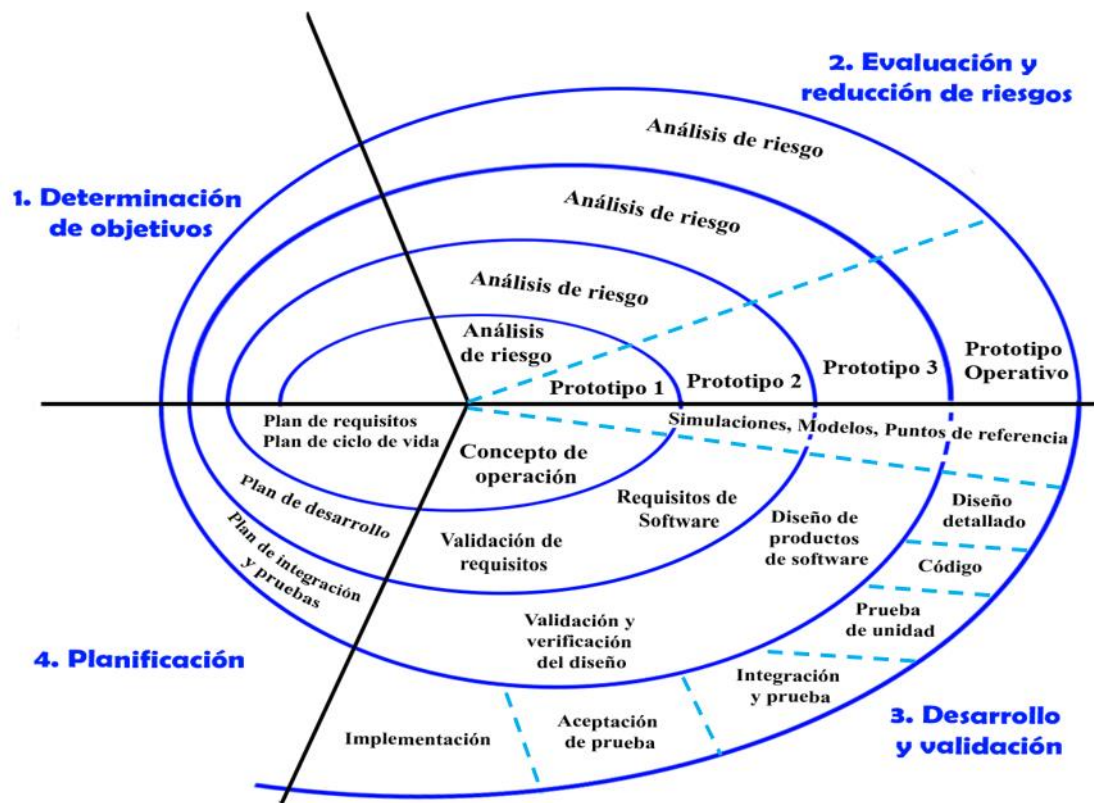
El sistema se desarrolló gracias a la colaboración de cada uno de los miembros de este grupo, entre los cuales se encuentran el facilitador del proyecto, el Ing. Gleiston Guerrero, y el desarrollador Jimmy Lauro López Bustamante. Se tuvo el propósito de llevar a cabo una planificación, organización, desarrollo y coordinación que garantizara la realización de un trabajo colaborativo de calidad. La elaboración del sistema se efectuó en conformidad con los parámetros de diseño predefinidos. La creación del sistema destinado al manejo de las aplicaciones de un computador centrado en personas con Tetraplejía se orientó mediante la aplicación de la metodología en espiral. Es crucial destacar que esta metodología brinda a los desarrolladores la flexibilidad para elegir entre diversas secuencias de fases a lo largo del proyecto.

3.1.1. Desarrollo del sistema TetraNav

En este apartado se presenta el desarrollo del proyecto tecnológico, que forma parte del modelo espiral [26] que guió el desarrollo de TetraNav. Esta metodología, compuesta por cuatro fases, se aplicó a lo largo de todo el proceso de desarrollo del proyecto tecnológico. Se optó por el modelo en espiral debido a que permite y facilita una interacción continua con los usuarios, quienes pueden interactuar con versiones del prototipo simplificadas o parciales antes de que se complete.

Este enfoque evolutivo posibilitó realizar pruebas con los usuarios para obtener nuevos o cambios en los requisitos del usuario, con el propósito de obtener un producto final que no solo cumpliera con los objetivos, sino que también brindara plena satisfacción al usuario. A continuación, en la Figura 1 se muestra una imagen del modelo espiral.

Figura 1. Modelo espiral



Fuente: Boehm [26].
Elaboración: Autor

3.1.1.1. Determinación de objetivos.

En la primera iteración del ciclo de desarrollo del sistema, la cual es la determinación de objetivos, se identificó las necesidades de personas con Tetraplejía en el uso de aplicaciones informáticas a través de un estudio de caso, para orientar el diseño de un sistema adaptado a sus requisitos. Se enfocó principalmente en las fuentes primarias empleadas para recopilar información, llevando a cabo un análisis de las necesidades y desafíos específicos de las personas con Tetraplejía en cuanto al acceso y uso de aplicaciones en la computadora. Esto se logró a través de una entrevista, como parte del estudio de caso, para comprender sus limitaciones y requisitos tecnológicos.

Descripción del estudio de caso

El estudio de caso se enfocó en una persona de sexo masculino de 55 años que padece Tetraplejía, pero sin discapacidad intelectual, condición que ha estado presente desde los 22 años. Esta persona sufrió un accidente que provocó daños en la médula espinal, resultando en la parálisis de casi todo su cuerpo. Actualmente, se encuentra postrado en una cama en la

cual tenía un uso limitado de la computadora. Ya que, para utilizar la computadora, él empleaba una barita de madera que manipula con la boca para usar el teclado, mientras su esposa, quien actúa como tutora, le asistía moviendo el ratón.

Entrevista realizada

El propósito de esta entrevista fue obtener los primeros requisitos con el fin de garantizar que el diseño y desarrollo de TetraNav se alinearan de manera efectiva con las necesidades identificadas. Se dio prioridad a abordar inicialmente las limitaciones más significativas, centrándose especialmente en mejorar la facilidad de uso y en seleccionar los requisitos más relevantes. Los documentos entregados para la realización de la entrevista se los puede visualizar en (Anexo 1, Anexo 2).

En la segunda iteración del ciclo de desarrollo del sistema, se revisó literatura científica sobre sistemas de accesibilidad y algoritmos de inteligencia artificial para identificar tecnologías aplicables en TetraNav. En ella se llevó a cabo una revisión de la literatura científica enfocada en sistemas de accesibilidad y algoritmos de inteligencia artificial aplicables al proyecto. Se utilizaron las fuentes secundarias, lo que implicó realizar una revisión bibliográfica a través de bases de datos como IEEE, Scopus, ACM y Springer Link. El enfoque principal de esta revisión fue identificar tecnologías relacionadas con la detección de expresiones faciales, seguimiento del movimiento de la cabeza y reconocimiento de voz. Para garantizar la relevancia y fiabilidad de la información recopilada, se emplearon palabras clave específicas como Tetraplejía; Reconocimiento facial; Reconocimiento de voz; Inteligencia Artificial; Accesibilidad. Se limitó la búsqueda a artículos científicos y tesis doctorales. Con la información recopilada, el objetivo era adquirir un conocimiento profundo sobre las tecnologías existentes en el campo de la accesibilidad computacional y la inteligencia artificial, con el fin de aprovechar esta información en el desarrollo de TetraNav. Este proceso de investigación permitió identificar trabajos relevantes y recopilar datos fundamentales que servirán como base para la implementación de funcionalidades clave en el sistema TetraNav.

Durante la tercera iteración del ciclo de desarrollo del sistema, se optimizaron las funcionalidades del sistema TetraNav al integrar la retroalimentación proporcionada por los usuarios y adoptar las últimas tendencias tecnológicas. Se enfocó en mejorar las funcionalidades, especialmente de los modelos utilizados, a través de la retroalimentación obtenida a través del cuestionario de evaluación del sistema TetraNav. Se hizo hincapié en

la necesidad de optimizar el método de reconocimiento facial y corregir la posición del cursor del ratón, que mostraba pequeños desplazamientos circulares al mantenerse fijo el cursor en una parte de la pantalla. Asimismo, se implementó la mejora del método de reconocimiento de voz para añadir comandos más familiares, facilitando así su recuerdo y evitando la mala interpretación de las palabras emitidas. El objetivo principal fue garantizar un rendimiento óptimo, con el propósito de mantener y mejorar la efectividad y accesibilidad del sistema, ofreciendo una solución continua y efectiva para las personas con Tetraplejía.

En la última iteración del ciclo de desarrollo del sistema. Se implementó el sistema en una computadora de escritorio nueva, la cual posee cámara y micrófono externos, para facilitar la captura óptima de las señales emitidas por el usuario. El objetivo principal de esta modificación era mejorar la calidad y capacidad de los modelos en la captura de dichas señales, razón por la cual se optó por migrar a este tipo de computadora, proporcionando así mayor comodidad y accesibilidad al usuario. La nueva configuración incluyó una cámara de mayor capacidad especialmente seleccionada para las pruebas posteriores. Esta implementación adicional permitió capturar información con mayor precisión y también contribuyó significativamente a mejorar la validez y confianza en los resultados obtenidos, en comparación con la configuración anterior.

En respuesta a la retroalimentación proporcionada por el usuario, se detectó la necesidad de mejorar la función de edición de comandos de voz. Resultó crucial establecer una sección donde el usuario pueda visualizar la función específica de cada comando de voz y, consecuentemente, efectuar ediciones de acuerdo con sus preferencias. Asimismo, se incluyó una sección para agregar las páginas web a preferencia del usuario. Además, se determinó la importancia de incorporar un apartado para ajustar la velocidad del cursor del ratón. Este ajuste tuvo como objetivo ofrecer una mayor personalización al sistema, permitiendo a los usuarios adaptar el ratón según sus habilidades y preferencias para interactuar con la computadora.

3.1.1.2.Evaluación y reducción de riesgos.

Después de determinar el primer objetivo en la primera iteración del ciclo de desarrollo de sistema, se llevó a cabo un análisis de los desafíos tecnológicos que enfrentan estas personas con Tetraplejía al intentar utilizar la computadora. Se identificaron como riesgos principales la adaptabilidad del sistema a las necesidades del usuario, la usabilidad para evitar problemas de fatiga asociados con el uso prolongado del sistema y la necesidad de una interacción

natural con el sistema para promover una experiencia positiva al usuario. Para mitigar estos desafíos, se adoptó un enfoque flexible donde se llevaron a cabo varias sesiones con el estudio de caso para obtener una retroalimentación continua durante todo el desarrollo y para ir aplicando métodos de entrada adaptables a sus capacidades únicas, y así mejorar significativamente la accesibilidad del sistema y, sobre todo, abordar el riesgo de fatiga. Esta retroalimentación permitió una adaptación constante del sistema, asegurando que sea aceptado por el usuario final.

Durante el segundo ciclo de vida del desarrollo del sistema TetraNav, se analizó la información obtenida sobre los trabajos relacionados en la primera fase. El objetivo era comprender qué tecnologías se estaban empleando en situaciones similares para que personas con discapacidad puedan utilizar la computadora. Se implementaron estrategias específicas para abordar los riesgos técnicos asociados con los componentes de hardware, asegurando que no fueran invasivos ni incómodos para los usuarios. Para mitigar este riesgo, se optó por la utilización de tecnologías no invasivas, como una cámara web y un micrófono de una laptop. Esto garantizó su efectiva adaptación a las necesidades y circunstancias de discapacidad de los usuarios.

Después de establecer los objetivos en las dos primeras iteraciones del ciclo de desarrollo del sistema, esta tercera interacción se concentró en evaluar y mitigar los riesgos asociados con la implementación y aceptación del sistema. Un aspecto crítico que se abordó fue la capacidad de movimiento de la cabeza del usuario, ya que el uso constante de este movimiento para controlar el cursor del ratón a través de la cámara generaba fatiga e incomodidad. Además, el sistema debía ser capaz de adaptarse a variaciones de distancia del usuario a la cámara. En este contexto, se identificó el riesgo de interferencias externas durante el uso de estas tecnologías, tanto en el movimiento de la cabeza como en el reconocimiento de voz emitida por el usuario. Por ejemplo, el ruido ambiental afecta la precisión de los modelos, especialmente en el caso del micrófono. En relación con la cámara, se ajustó el modelo para adaptarse a los movimientos del usuario, independientemente de su proximidad o distancia a la cámara. Respecto al micrófono, se optó por utilizar un modelo más eficiente, lo que contribuyó a una mejor comprensión de las palabras emitidas por el usuario, reduciendo así malas capturas de las palabras y mejorando la ejecución de acciones en la computadora.

La última iteración del ciclo de desarrollo de TetraNav se centró en la adaptación de la computadora de escritorio. Se abordaron dos riesgos fundamentales que debían corregirse. En primer lugar, se enfrentó el desafío de migrar hacia una computadora de escritorio, lo cual implicó configuraciones y adaptaciones de hardware en el entorno del usuario. Este proceso conllevó el riesgo de posibles retrasos en el desarrollo, considerando la complejidad asociada con la implementación de la nueva infraestructura. Para reducir este riesgo, se planificó cuidadosamente cómo llevar a cabo el cambio, asegurándose de que la transición fuera adecuada. Finalmente, se consideró la satisfacción del usuario al aplicar esta nueva configuración, reconociendo que podría no ajustarse a las necesidades y preferencias ya familiarizadas con el equipo anterior. Para mitigar este riesgo, se adaptó la computadora de escritorio teniendo en cuenta las preferencias del usuario, especialmente en la posición del monitor, la cámara y el micrófono. Se implementaron adaptadores para posicionar estos elementos de manera frontal respecto a la posición del usuario, garantizando comodidad y lo no intrusivo.

3.1.1.3.Desarrollo y validación.

La fase de desarrollo y validación comenzó con la presentación del sistema mediante diapositivas como prototipo de baja fidelidad, el cual presentaba de manera visual las acciones que el sistema llevaría a cabo. El primer enfoque consistía en mostrar al usuario que podía controlar el cursor del ratón mediante los movimientos de su cara. También se simuló la implementación de gestos, como el guiño del ojo izquierdo para hacer clic izquierdo, el guiño del ojo derecho para hacer clic derecho. Además, se representaron comandos de voz para llevar a cabo acciones relacionadas con el manejo de Microsoft Word, tales como copiar, pegar, eliminar, mantener y soltar para realizar tareas de escritura. Mediante la intervención del autor, se simuló una interacción entre el usuario y la computadora. Como ejemplo ilustrativo del concepto de operación fue la función "mantener", que se aplicaría a imágenes y texto. El usuario podría ajustar el tamaño de una imagen o seleccionar y copiar una parte específica de un texto. Una vez alcanzado el tamaño o la selección deseada, activaría la acción de "soltar". Esta presentación buscaba ofrecer una representación inicial y fácilmente comprensible de las capacidades del sistema, permitiendo al usuario interactuar con las funciones básicas de manera intuitiva. Este acercamiento visual y gestual, combinado con la integración de comandos de voz, proporcionaría una experiencia más completa y accesible para estas personas con movilidad limitada. En las siguientes

iteraciones del ciclo de vida del desarrollo, se refinaron y mejoraron aún más estas capacidades en respuesta a la retroalimentación del usuario.

En la segunda iteración del ciclo de desarrollo, se logró crear un prototipo funcional aplicando los requisitos obtenidos en la primera iteración, los cuales fueron proporcionados por la persona Tetrapléjica. A través de la revisión bibliográfica, surgieron identificaciones clave en relación con las tecnologías y modelos basados en inteligencia artificial que contribuyeron en el desarrollo del sistema. Por ello, se llevó a cabo un análisis de las herramientas de hardware y software que se emplearían en el proceso de construcción del sistema. Adicionalmente, se realizó la recopilación de modelos esenciales vinculados a los requisitos del sistema. Entre estos modelos, se destacan aquellos destinados al reconocimiento facial, detección del movimiento de la cabeza y al reconocimiento de voz.

Para la construcción del prototipo, se implementaron diversas funcionalidades mediante herramientas de programación. Se utilizó el lenguaje de programación Python, en conjunto con el editor de código Visual Studio Code y GitHub como gestor de versiones. Para el desarrollo del sistema, se empleó una laptop HP Pavilion; es relevante señalar que se aprovecharon los componentes de hardware integrados en la laptop utilizada para este fin. Sobre los métodos utilizados para el reconocimiento facial, se utilizó la librería OpenCV y, para el reconocimiento de voz, se utilizó la librería Vosk.

Una vez desarrollado el prototipo funcional, como parte del proceso de desarrollo, se aplicó un cuestionario de evaluación del sistema con el usuario (Anexo 3) mediante el cual se comprobó la efectividad, facilidad de uso, adaptabilidad, calidad, errores. Todo esto tenía como objetivo validar los requisitos obtenidos anteriormente, con el fin de obtener retroalimentación sobre estos aspectos. Asimismo, permitió corregir ciertos errores encontrados y realizar ajustes a la tecnología utilizada. Cabe recalcar que esta evaluación se llevó a cabo en el hogar del participante con Tetraplejía, proporcionando un entorno controlado y familiar. Se asignaron tareas específicas que incluían acciones como el control del cursor del ratón, la apertura de páginas web y la escritura, así como también realizar acciones con los comandos de voz ya predefinidos en el sistema. Esto facilitó la observación de la interacción del usuario con el software sin distracciones externas, contribuyendo a resultados más precisos en las evaluaciones de accesibilidad y utilidad.

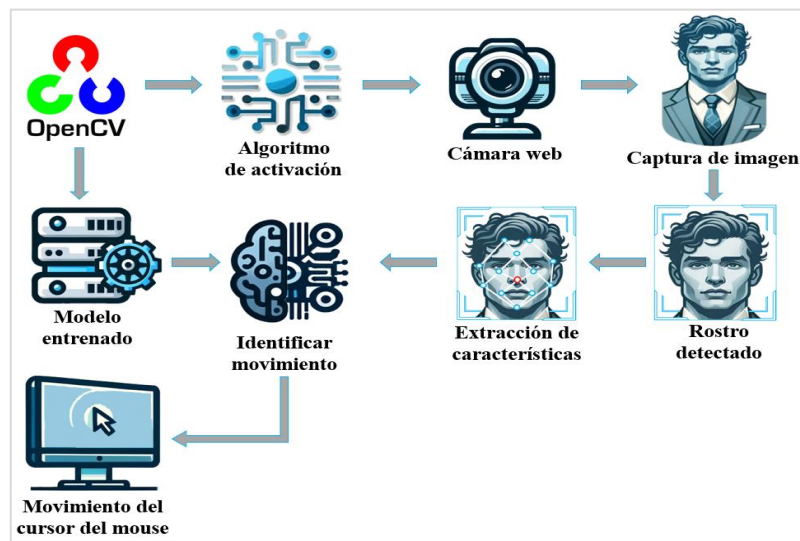
Durante la tercera iteración del ciclo de desarrollo de TetraNav, se centró en la mejora y validación de las funcionalidades clave del prototipo funcional. Se realizaron ajustes

específicos, especialmente en el reconocimiento facial y el control del cursor mediante el movimiento de la cabeza, con el objetivo de lograr una detección correcta y rápida. Las mejoras realizadas implicaron la optimización de los modelos, así como la integración de nuevas funciones destinadas a mejorar la experiencia del usuario. En este sentido, se aplicó una nueva estructura en la función del código para corregir estos desplazamientos circulares del cursor del ratón. Además, se agregaron ciertos comandos de voz más familiares, como, por ejemplo: “dividir izquierda” para dividir la ventana a lado izquierdo, “dividir derecha” para dividir la ventana a lado derecho, ajustados a las preferencias del usuario. Asimismo, el usuario pidió agregar comandos para escribir los diferentes signos, como signos de interrogación, admiración, paréntesis y corchetes. Como siguiente para garantizar una mejor comprensión de las palabras emitidas y prevenir malinterpretaciones, se añadió un modelo con mayor capacidad a la librería Vosk. En cuanto al diseño de productos de software, los cuales se mejoraron, se detalla la estructura de los modelos utilizados para el reconocimiento facial y de voz en TetraNav.

Método para el reconocimiento facial

En la Figura 2 se muestra la arquitectura del sistema de reconocimiento facial. El procesamiento inicia cuando el algoritmo de activación emite un sonido que alerta al usuario sobre el inicio de la ejecución del modelo. Esto implica la captura de la imagen del rostro de una persona mediante una cámara web. Una vez detectado el rostro, se procede a la extracción de características clave, como los puntos de referencia faciales de la nariz. Estos puntos de referencia se comparan utilizando un modelo computacional entrenado que analiza y evalúa su movimiento. Este análisis se utiliza para dirigir el movimiento del cursor del ratón en la pantalla.

Figura 2. Esquema de arquitectura de reconocimiento facial

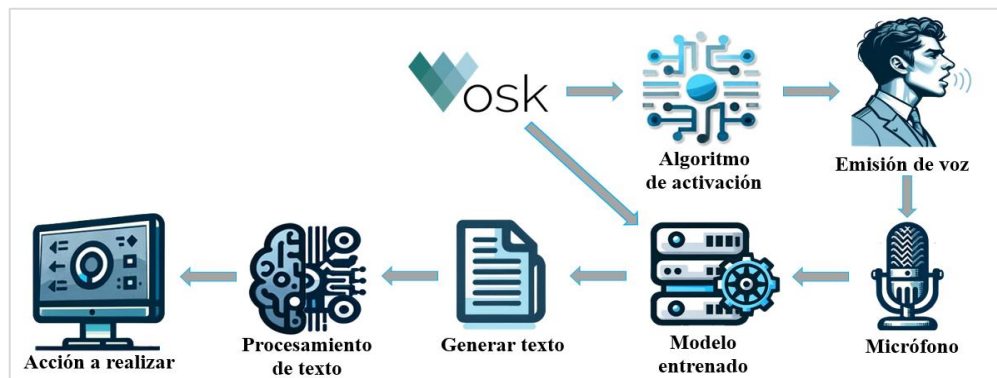


Elaboración: Autor

Método para el reconocimiento de la voz

En la Figura 3 ilustra el esquema de arquitectura del reconocimiento de voz, el cual inicia con el algoritmo de activación emitiendo un sonido que alerta al usuario sobre el inicio de la ejecución del modelo. Esto conlleva la captura de la emisión de voz del usuario a través del micrófono. Tras la detección de la voz, se procesa el texto pronunciado por el usuario, identificando palabras clave previamente definidas. Este procedimiento facilita la creación de modelos de voz personalizados para cada usuario, mejorando así la efectividad de la identificación, ya que se emplean las palabras clave establecidas. Este proceso se compara con un modelo entrenado que analiza y evalúa el texto para, finalmente, realizar la acción correspondiente en la computadora.

Figura 3. Esquema de arquitectura de reconocimiento de voz



Elaboración: Autor

Una vez que se llevaron a cabo los ajustes en el sistema para validar y verificar el diseño, así como para obtener retroalimentación sobre cómo mejoraron las funcionalidades del sistema, se realizó nuevamente el cuestionario de evaluación del sistema con el usuario. Esto se hizo con el objetivo de efectuar un seguimiento al sistema y comprobar que el usuario estuviera satisfecho con los ajustes implementados. Además, esta retroalimentación adicional permitió afinar aún más el sistema según las preferencias y necesidades específicas de los usuarios, asegurando una mejor adaptación con el sistema.

En la cuarta iteración del ciclo de desarrollo, después de haber adaptado la computadora de escritorio a un entorno amigable para el usuario, se realizaron ajustes necesarios, especialmente en los métodos de reconocimiento facial y de voz. Estos ajustes implicaron la aplicación de nuevas tecnologías para adaptarlos a los nuevos componentes de hardware. Esta computadora de escritorio incluía una cámara web, micrófono y parlantes externos. Una vez que los componentes fueron adaptados, se llevaron a cabo modificaciones en la interfaz y funcionalidades aplicadas a estos cambios. Se añadió una sección que permitía la modificación de los comandos de voz, así como otra sección destinada a la inclusión de páginas web de preferencia para el usuario. En estos cambios se implementó una pregunta en la interfaz de comandos de voz, donde el usuario debía seleccionar el tipo de comando de voz que deseaba agregar el usuario como atajo predefinido y las páginas web que quería incluir, permitiendo que el sistema mostrara la interfaz deseada. Es importante destacar que la capacidad de agregar y modificar estaba limitada exclusivamente a las páginas web. Por otro lado, en lo que respecta a los atajos predefinidos, solo se pueden modificar los campos de comandos de voz. Como parte de las modificaciones en la interfaz, también se incorporó una sección que posibilitaba la corrección de la velocidad del ratón. Estas mejoras fueron diseñadas con base en las necesidades y preferencias específicas de los usuarios, obtenidas a través de la aplicación de un cuestionario de evaluación del sistema. El objetivo principal era mejorar la accesibilidad del sistema, haciéndolo más personalizable y adaptado a las preferencias individuales de cada usuario.

Después de agregar estos cambios de interfaz y funcionalidades, se llevó a cabo un cuestionario de evaluación del sistema con el usuario. El objetivo era obtener retroalimentación sobre la aceptación y usabilidad de la nueva computadora de escritorio y los componentes de hardware, así como la efectividad de los métodos de reconocimiento facial y de voz con los nuevos componentes.

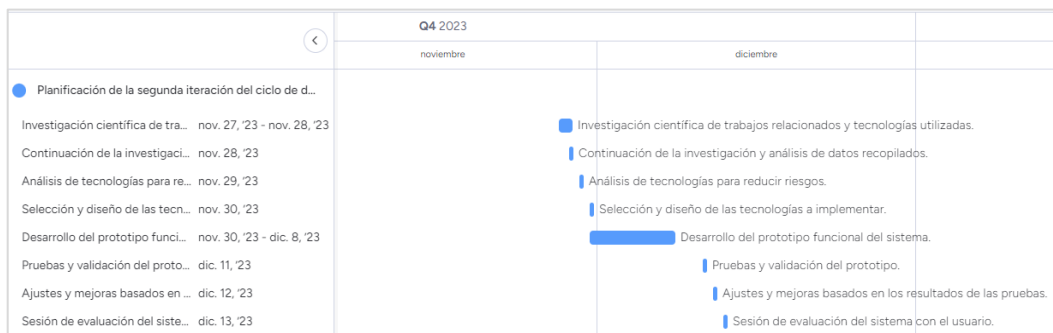
Después de la evaluación, se obtuvo retroalimentación positiva y se identificaron ciertas mejoras en el diseño. Por ello, se aplicó un diseño detallado que incluyó cambios en la interfaz, adoptando un diseño más futurista y una navegación más intuitiva con opciones específicas para el usuario. Asimismo, se aplicaron colores claros en armonía con el logo (ver Anexo 8) de TetraNav. Basándose en este diseño detallado, se procedió a la implementación del código fuente, aplicando las mejores prácticas de programación. Se incluyeron comentarios detallados en las líneas de código para facilitar la comprensión, las actualizaciones futuras o el mantenimiento del sistema. Además, se realizaron pruebas de unidad específicas para evaluar el rendimiento de los algoritmos implementados, como el reconocimiento facial y de voz, así como la funcionalidad de la interfaz de usuario, garantizando la calidad y la eficiencia de cada unidad funcional de TetraNav.

Posteriormente, se llevó a cabo una fase de integración que combinó todos los componentes de TetraNav para poder evaluar su interoperabilidad. Estas pruebas, realizadas en colaboración con el usuario Tetrapléjico, aseguraron que los distintos módulos interactuaran sin problemas. Con la aceptación del usuario y después de realizar todas las pruebas, se procedió a la implementación completa del sistema TetraNav. Se instaló el software en la nueva computadora de escritorio, adaptada para el usuario, asegurándose de que todos los componentes estuvieran correctamente conectados y configurados. Se proporcionó una capacitación adicional a su tutora, respecto a las nuevas funcionalidades y ajustes realizados en esta iteración.

3.1.1.4. Planificación.

En la Figura 4 se presenta la planificación de la segunda iteración del ciclo de desarrollo, la cual empezó en la segunda etapa a mediados del cuarto trimestre, detallada en la Figura 7, que forma parte del cronograma general de actividades. Esta planificación abarcó los meses de noviembre y diciembre de 2023, a lo largo de tres semanas. Donde se estableció un período desde la semana 15 hasta la semana 17. En esta figura, se puede observar cómo se distribuyeron las actividades a lo largo de las tres semanas designadas.

Figura 4. Planificación de la segunda iteración del ciclo de desarrollo del sistema.



Elaboración: Autor

En la Figura 5 se visualiza la planificación de la tercera iteración del ciclo de desarrollo, detallada en la Figura 7, que es parte del cronograma general de actividades. Siguiendo con la segunda etapa a finales del cuarto trimestre e inicios del primer trimestre, que abarcó los meses de diciembre y enero a lo largo de seis semanas, se estableció un programa detallado. Esta planificación se diseñó con el inicio previsto en la semana 18 y la finalización en la semana 23. Durante este periodo, se llevaron a cabo diversas actividades estratégicas destinadas a optimizar el proceso de desarrollo y garantizar el cumplimiento de los objetivos establecidos.

Figura 5. Planificación de la tercera iteración del ciclo de desarrollo del sistema.



Elaboración: Autor

En la Figura 6, se muestra la planificación de la cuarta iteración del ciclo de desarrollo, la cual se detalla en la Figura 7, correspondiente al cronograma general de actividades. Siguiendo con la segunda etapa a mediados del primer trimestre que abarcó los meses de enero, febrero y un día del mes de marzo a lo largo de siete semanas. En esta planificación se estableció un período desde la semana 24 hasta la semana 30. Durante este periodo final, se llevaron a cabo diversas actividades para concluir con un prototipo operativo.

Figura 6. Planificación de la cuarta iteración del ciclo de desarrollo del sistema.

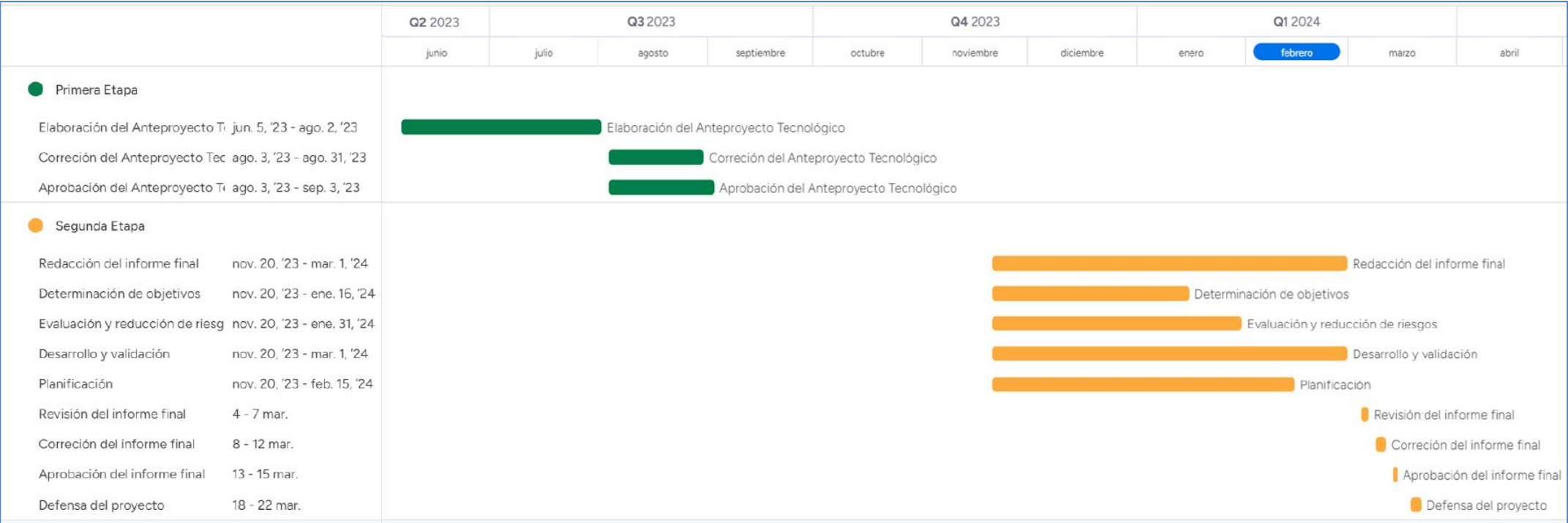


Elaboración: Autor

3.2. Cronograma

En la Figura 7, se presenta el cronograma de actividades dividido en dos etapas principales, el cual describe el inicio y el final de las actividades a lo largo de 31 semanas. La primera etapa se desarrolló el Anteproyecto, que comenzó en el segundo trimestre y se extendió hasta parte del tercer trimestre del año 2023, con una duración total de 13 semanas. La segunda etapa, se programó comenzar el proyecto tecnológico, con una duración de 18 semanas, se dio inicio al final del tercer trimestre, continuó durante el cuarto trimestre de 2023, y concluyó en el primer trimestre de 2024.

Figura 7. Cronograma general de actividades realizadas en la primera y segunda etapa para el desarrollo de TetraNav.



Elaboración: Autor

3.3. Recursos, presupuesto y financiamiento

En ese apartado se describe la parte correspondiente al talento humano, detallando el equipo de trabajo involucrado, con sus respectivos roles y responsabilidades. También se mencionan los recursos materiales requeridos, tales como software, hardware y materiales de oficina, que se detallan a continuación:

3.3.1. *Talento humano*

Cumplir con todas las tareas, desde la planificación y organización hasta el desarrollo y coordinación, fue de suma importancia para asegurar el desarrollo de un software de calidad. Se promovió el desempeño eficiente y efectivo en cada una de las funciones, se establecieron objetivos claros y alcanzables, y se definieron los plazos necesarios.

En cuanto al desarrollo del sistema TetraNav, se trabajó de manera disciplinada, cumpliendo con los requisitos establecidos y garantizando el logro de los objetivos planteados.

3.3.2. *Equipo de trabajo*

El equipo de trabajo estaba conformado por dos personas: el Ing. Gleiston Cicerón Guerrero Ulloa, quien cumplió el rol de facilitador del proyecto, y Jimmy Lauro Lopez Bustamante, encargado del desarrollo del sistema TetraNav. Ambos aportaron a la elaboración del documento y al desarrollo del software.

3.3.3. *Recursos de software*

En la Tabla 1, se visualizan los recursos de software utilizados para el desarrollo de TetraNav.

Tabla 1. Recursos de software para la construcción de TetraNav

Software	Descripción
Windows 10 Home	Sistema operativo empleado en el desarrollo del software
Visual Studio Code	Editor de código utilizado para aprovechar las distintas extensiones que nos ofrece para el desarrollo del software
SQLite	Sistema de gestión de bases de datos para el software.
Git	Herramienta de control de versiones.
GitHub	Plataforma para el desarrollo colaborativo del software, mediante repositorios públicos en línea.

En la Tabla 2, se visualizan los recursos de software utilizados para la redacción del documento.

Tabla 2. Recursos de software para el desarrollo del documento

Software	Descripción
Microsoft Word	Herramienta para la redacción.
Power Point	Herramienta utilizada para la elaboración de las presentaciones relacionadas con el software.
Monday	Herramienta para elaborar la planificación del desarrollo del software.
Visual Paradigm	Herramienta para elaborar los diferentes diagramas del software.
Windows 10 Home	Sistema operativo empleado en el desarrollo del software.

3.3.4. Recursos de hardware

La Tabla 3 presenta la depreciación calculada para la laptop. Se consideró el costo inicial de la laptop que es de \$800, con un valor de salvamento estimado de \$80 al final de su vida útil de 5 años. Referente a estos parámetros, la depreciación anual se estima en \$144.

Tabla 3. Recursos de hardware para la construcción de TetraNav

Equipo	Costo inicial	Valor de salvamento	Vida útil (años)	Depreciación Anual	Depreciación por 4 meses
Laptop	\$ 800	\$ 80	5	\$ 144	\$ 48
Total					\$ 48

3.3.5. Materiales de Oficina

Los materiales de oficina utilizados se enumeran a continuación en la Tabla 4, que incluye el equipo, cantidad, costo unitario y costo total.

Tabla 4. Materiales de oficina

Equipo	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
Resma de papel	1	\$ 3,30	\$ 3,30
Bolígrafos	2	\$ 0,35	\$ 0,70
Lápiz	1	\$ 0,25	\$ 0,25
Borrador	1	\$ 0,15	\$ 0,15
Total			\$ 4,40

3.4. Instrumentos para el seguimiento y control

En esta sección, se redactan los instrumentos para el seguimiento y control. La frecuencia de uso de estos instrumentos proporciona una estructura sólida para recopilar datos relevantes y evaluar de forma continua el rendimiento de TetraNav. A continuación, se detallan estos instrumentos:

3.4.1. *Diagrama de Gantt*

Se realizaron los diferentes diagramas de Gantt en la herramienta online “Monday”, la cual se utilizó para la gestión del proyecto, incluyendo visualmente el desarrollo del sistema TetraNav. Permite planificar y representar de forma gráfica las tareas realizadas a lo largo del desarrollo del proyecto, proporcionando un control de las actividades y gestionando de forma eficiente los recursos disponibles. Además, facilita la identificación de ciertas desviaciones, permitiendo la toma de medidas correctivas. También posibilita la visualización de los plazos de cada tarea, destacando la importancia de la adaptabilidad al ajustar el plan en función de los cambios en los requisitos o circunstancias del proyecto.

3.4.2. *Microsoft Teams*

Se utilizó Microsoft Teams para tener comunicación en tiempo real con el facilitador del proyecto. Se llevaron a cabo varias reuniones utilizando esta plataforma para dar seguimiento al control de las tareas, revisar los avances del proyecto y abordar ciertas correcciones necesarias con el fin de ajustar el tiempo establecido para las tareas. También se aprovechó la herramienta para compartir el documento en el que se estaba trabajando, lo que facilitó revisar, analizar y corregir conforme avanzaba el contenido del documento.

3.4.3. *GitHub*

Para la gestión del código fuente del sistema TetraNav, se utilizó GitHub, el cual es un entorno que nos proporcionó un repositorio para almacenar y llevar un control de versiones del código fuente del proyecto. Esto ayudó a garantizar una mayor flexibilidad y un proceso más ordenado en el desarrollo del sistema.

3.4.4. *Google Drive*

Se utilizó Google Drive para compartir y almacenar información referente al proyecto como plantillas de las entrevistas, fotos de las entrevistas, gráficos relacionados con la

planificación de las iteraciones de las etapas de la metodología y, por lo general, las diferentes correcciones realizadas al documento.

3.5. Indicadores de evaluación

En esta sección se presentan los indicadores de evaluación, donde se presentan los criterios que TetraNav debe satisfacer. A continuación, detallamos dichos indicadores:

3.5.1. *Cumplimiento de plazos*

Indicador: Porcentaje de cumplimiento en la entrega de tareas de desarrollo

Evaluación: Este indicador refleja el porcentaje de tareas de desarrollo completadas dentro del plazo establecido en cada iteración de la metodología. Se calcula dividiendo el número de tareas completadas a tiempo entre el número total de tareas planificadas y multiplicando el resultado por 100.

Indicador: Índice de Cumplimiento de Objetivos de desarrollo

Evaluación: Este indicador evalúa la eficacia en el logro de los objetivos de desarrollo establecidos para el proyecto. Se mide mediante el índice de cumplimiento, que representa la proporción de objetivos de desarrollo alcanzados con éxito en comparación con el total de objetivos de desarrollo planificados. El cálculo se realiza dividiendo el número de objetivos de desarrollo logrados entre el número total de objetivos de desarrollo y multiplicando el resultado por 100.

3.5.2. *Calidad del producto o servicio*

Indicador: Tasa promedio de detección de la posición de la nariz

Evaluación: Este indicador refleja la capacidad de TetraNav al reconocer la posición de la nariz para desplazar el cursor del ratón. La tasa promedio determina correctamente la detección de la posición de la nariz en comparación con los casos en los que no se logra la detección. Esta medición es relevante cuando el usuario dirige su mirada en diversas direcciones, provocando posibles pérdidas en la detección de la posición.

La fórmula para calcular la tasa promedio de detección (TPD) se expresa de la siguiente manera:

$$TPD = \left(\frac{\text{Movimientos reconocidos}}{\text{Total de movimientos}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Indicador: Tasa de reconocimiento de comandos de voz

Evaluación: Este indicador representa la capacidad de TetraNav para reconocer correctamente los comandos de voz emitidos por el usuario y traducirlos de manera correcta. La tasa de reconocimiento se determina mediante el cálculo del porcentaje de veces en las que el sistema interpreta correctamente los comandos de voz en comparación con el total de intentos. La fórmula para calcular la tasa de reconocimiento de comandos de voz (TRCV) se expresa como:

$$TRCV = \left(\frac{\text{Comandos correctos}}{\text{Total de Intentos}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

3.5.3. Satisfacción del cliente o usuario

Indicador: Índice de Satisfacción del Cliente.

Evaluación: Este indicador proporcionó el grado de satisfacción del usuario al utilizar TetraNav. Se basó en la opinión del usuario, centrándonos específicamente en la facilidad de uso, expresada a través de calificaciones en una escala del 1 al 5. En cada sesión realizada, el usuario otorgó ciertas calificaciones. Para calcular este índice, se suman las métricas obtenidas y se dividen por el número total de sesiones realizadas.

3.5.4. Adopción tecnológica

Indicador: Nivel de Adopción Tecnológica por Usuario.

Evaluación: Este indicador analiza la adopción tecnológica por parte del usuario, evaluando qué funciones de TetraNav utiliza de manera efectiva. Se observa un mayor nivel de adopción tecnológica cuando el usuario aprovecha eficientemente las diversas capacidades que TetraNav proporciona.

3.5.5. Eficiencia operativa

Indicador: Eficiencia Operativa Comparativa.

Evaluación: Este indicador evalúa el tiempo ahorrado por TetraNav al usuario al realizar tareas en la computadora en comparación con sus métodos anteriores. La eficiencia,

expresada como un porcentaje de reducción, se calcula restando el tiempo normalmente requerido con el tiempo utilizado con TetraNav, dividiendo este resultado por el tiempo normal y multiplicando todo por 100. La fórmula para calcular el porcentaje de reducción (PR) se expresa como:

$$PR = \left(\frac{\text{Tiempo normal} - \text{Tiempo con TetraNav}}{\text{Tiempo normal}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

3.5.6. Rendimiento del sistema

Indicador: Tiempo de respuesta del sistema referente a los comandos de voz

Evaluación: Este indicador evalúa el tiempo de respuesta de TetraNav al procesar y responder a los comandos de voz que emite el usuario para realizar las acciones deseadas en la computadora. Se mide la duración promedio que el sistema tarda en ejecutar las acciones correspondientes tras recibir un comando de voz. Un tiempo de respuesta más corto indica una mayor eficiencia en la interacción entre el usuario y el sistema. La fórmula para calcular el tiempo de respuesta del sistema (TRS) se expresa como:

$$TRS = \left(\frac{\sum \text{Tiempo de respuesta}}{\text{Total de comandos}} \right) \quad (4)$$

3.5.7. Innovación y diferenciación

Indicador: Características innovadoras como el reconocimiento facial y de voz

Evaluación: Este indicador resalta las innovaciones de TetraNav en el reconocimiento facial y de voz, evaluando mejoras en precisión, velocidad y adaptabilidad. Se enfoca en identificar expresiones faciales para una interacción más intuitiva y reconocer una amplia variedad de comandos de voz, adaptándose a las necesidades del usuario con Tetraplejía. La introducción de estas nuevas funciones refuerza la posición de TetraNav como una solución innovadora y diferenciada en accesibilidad tecnológica.

Por consiguiente, en la Tabla 5 se visualiza una serie de indicadores de evaluación de usabilidad aplicados a TetraNav. Estos indicadores se definieron mediante la formulación de preguntas en el cuestionario SUS, el cual fue aplicado al estudio. Para medir estos indicadores, se utilizaron las métricas de la escala de Likert.

Tabla 5. Indicadores de evaluación de usabilidad

Indicador	Medición	Resultado esperado	Comentario
Eficiencia en la Interacción con TetraNav	Requerir al usuario que califique la eficiencia al interactuar con TetraNav en una escala del 1 al 5, donde 1 indica “Muy fácil” y el 5 indica “Muy difícil”	Se espera que el usuario considere que la interacción es fácil, indicando que el sistema TetraNav no requiere demasiados pasos para completar una tarea.	La dificultad percibida puede estar relacionada con la cantidad de pasos necesarios para realizar una tarea específica.
Facilidad de Aprendizaje de TetraNav	Requerir al usuario que califique la facilidad de aprendizaje con TetraNav en una escala del 1 al 5, donde 1 indica “Muy fácil” y el 5 indica “Muy difícil”	Se espera que el usuario perciba que aprender a utilizar TetraNav es fácil, especialmente al familiarizarse rápidamente con las funciones básicas de TetraNav.	La facilidad de aprendizaje está relacionada con la familiaridad rápida con funciones básicas, con la facilidad de aprender y recordar los comandos de voz y el uso del cursor del ratón.
Satisfacción del Usuario con TetraNav	Requerir al usuario que califique la satisfacción al utilizar TetraNav en una escala del 1 al 5, donde 1 indica “Muy satisfecho” y el 5 indica “Muy insatisfecho”	Se espera que el usuario manifieste una alta satisfacción, indicando que se siente cómodo utilizando TetraNav.	La comodidad del usuario está vinculada a que los comandos de entrada sean poco invasivos.
Accesibilidad de TetraNav	Requerir al usuario que califique la accesibilidad de TetraNav en una escala del 1 al 5, donde 1 indica “Muy Accesible” y el 5 indica “Muy Inaccesible”	Se espera que el usuario perciba que el sistema es altamente accesible, comprensible y fácil de usar, garantizando la igualdad de acceso a TetraNav, sin importar las habilidades, discapacidades o necesidades específicas.	La accesibilidad del usuario se da por la facilidad de uso en el sistema, permitiendo ajustes en TetraNav, tales como cambiar comandos de voz y la velocidad del cursor del ratón.
Precisión de TetraNav	Requerir al usuario que califique la precisión de TetraNav en una	Se espera que el usuario perciba que el sistema es preciso, teniendo en cuenta la	La precisión depende de la correcta emisión de comandos y estar

	escala del 1 al 5, donde 1 indica “Muy preciso” y el 5 indica “Muy impreciso”	correcta emisión de comandos y considerando posibles interferencias externas.	influenciada por factores externos como ruido y luz en el entorno.
Adaptabilidad de TetraNav	Requerir al usuario que califique respecto a la adaptabilidad de TetraNav en una escala del 1 al 5, donde 1 indica “Muy adaptable” y el 5 indica “muy inadaptable”	Se espera que el usuario perciba que TetraNav es muy adaptable, permitiendo ajustes flexibles según las preferencias del usuario.	La adaptabilidad se evalúa en términos de flexibilidad y la capacidad de respuesta de TetraNav a cambios en el entorno u otros factores que puedan requerir ajustes.
Errores del sistema	Requerir al usuario que califique respecto a los errores que se presentan en TetraNav en una escala del 1 al 5, donde 1 indica “Muy rara vez” y el 5 indica “Muy frecuente”	Se espera que el usuario experimente pocos errores del sistema, indicando que TetraNav opera de manera confiable y sin problemas significativos.	La evaluación de los errores se realiza en términos de frecuencia y gravedad, centrándose en respuesta de TetraNav ante situaciones en las que puede tardar en estabilizarse y recuperarse.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Producto tecnológico desarrollado

El desarrollo de TetraNav se llevó a cabo cumpliendo la aplicación de la metodología espiral. A continuación, se detallan los resultados obtenidos en cada iteración de las fases de la metodología.

4.1.1. Determinación de objetivos

En la primera iteración del ciclo de desarrollo de la metodología, se realizó una entrevista con el estudio de caso y usuarios que presentan la condición de Tetraplejía. Además, se obtuvo la recopilación de experiencias previas de personas con Tetraplejía para su análisis antes de implementar soluciones a los problemas presentados. Por ello, a continuación, se presenta en la Tabla 6 de información detallada de la entrevista.

Tabla 6. Tabla de información detallada de la entrevista

Aspecto	Descripción
Contexto de discapacidad	Accidente por deporte extremo (hace 33 años).
Experiencia con el uso de la computadora	• Usa una barita sostenida con la boca para presionar el teclado. • Accede a la web de Testigos de Jehová para compartir textos y cartas.
Herramientas de accesibilidad	Barita de 45 cm de largo para presionar las teclas del teclado.
Desafíos y tareas complicadas	• Presionar dos teclas al mismo tiempo. • Cambiar entre programas. • Redactar cartas en Word.
Soluciones de accesibilidad	• Está buscando soluciones para usar la computadora de forma más independiente. • Considera que el uso de la voz sería una herramienta útil.
Características deseables en un sistema de accesibilidad	• Reconocimiento de voz para enviar mensajes y controlar la computadora. • Interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar.
Perspectivas sobre la independencia	Muy importante para mejorar su estado de ánimo y beneficiar a otras personas con Tetraplejía.

Movimientos y gestos emitidos	No le es posible levantar la cabeza, pero puede moverla de lado a lado.
--------------------------------------	---

Referente a esta primera información detallada de la entrevista, se obtuvo una primera lista de requisitos funcionales que sirvieron como base para el desarrollo de TetraNav, aplicando directrices de diseño y construcción. A continuación, se redacta la lista de requisitos:

- El sistema debe permitir al usuario controlar la computadora a través de comandos de voz.
- El sistema debe ofrecer soluciones para facilitar la apertura y cierre de programas.
- El sistema debe integrar una función de dictado de textos para la redacción de cartas y otros documentos.
- El sistema debe permitir al usuario utilizar atajos de teclado mediante comandos de voz.
- El sistema debe evaluar la posibilidad de utilizar movimientos específicos de la cabeza para controlar ciertos aspectos de la interacción con la computadora.

En la segunda iteración del ciclo de desarrollo, se llevó a cabo una revisión bibliográfica con el fin de identificar tecnologías de accesibilidad e inteligencia artificial que fueran aplicables a TetraNav. A continuación, en las siguientes Tablas 7 y 8, se presentan los resultados de la comparación de las tecnologías identificadas, junto con sus respectivos algoritmos, funcionalidades, su uso y niveles de precisión. Estos resultados sirvieron como base para la selección de las tecnologías que se implementaron posteriormente en TetraNav.

En la Tabla 7 se muestran los métodos de reconocimiento facial encontrados en la literatura relacionada con la Tetraplejía, así como otros métodos aplicados en dicha literatura. La tecnología para el reconocimiento facial fue seleccionada basándose en criterios específicos de elección. Por ello, la tecnología de cámara de profundidad infrarroja monocular, junto con el algoritmo Árbol de Decisión Aleatorio Mejorado (RDT) fue descartada debido a que requiere conocimiento especializado en el manejo de datos de profundidad, calibración y procesamiento de imágenes en 3D, también por el elevado costo de este tipo de cámaras. Con respecto a los sensores magnéticos y el giro-acelerómetro de 3 ejes, estas tecnologías fueron completamente descartadas por ser invasivas para el usuario e incómodas de utilizar. La Interfaz de Cámara Inteligente (ICI) fue descartada porque requiere un hardware específico para su funcionamiento o licencias de software, lo cual involucra mayores costos

para su implementación. En cuanto a la elección de ANN-Face junto con los algoritmos *Attention erasing (AE)* y *Attention center loss (ACL)*, también se la descartó ya que necesita una gran cantidad de conjuntos de datos para su entrenamiento y validación, lo que requiere un entendimiento de técnicas avanzadas de aprendizaje profundo y puede prolongar el ciclo de desarrollo y requerir recursos adicionales. Respecto a la tecnología Jetson Nano y webcam, fue descartada porque no se iba a hacer uso de hardware como el Jetson Nano ni del algoritmo como Tiny-YOLOv3. Sobre las otras tecnologías como el procesamiento por lotes en GPU, que usa la API de reconocimiento facial Python, y las redes neuronales convolucionales (CNN) las cuales aplican los algoritmos Deep Metric Learning y YOLOv5, fueron descartadas porque requieren un conocimiento avanzado en modelado y entrenamientos de redes neuronales, aumentando la complejidad y el tiempo de implementación. Por último, la tecnología elegida fue la detección facial OpenCV, ya que soporta una amplia gama de algoritmos y técnicas de visión por computadora; además, por ser de código abierto y gratuito, también ofrece soluciones robustas para entornos de baja iluminación, lo cual es esencial para utilizarla en diversos ambientes.

Tabla 7. Métodos para el reconocimiento facial

Métodos de reconocimiento facial				
Tecnología	Algoritmo	Funcionalidad	uso	Precisión
Cámara de profundidad infrarroja monocular	Árbol de Decisión Aleatorizado Mejorador (RDT)	Detección de posición de la nariz y estado de la boca (abierta/cerrada) [5].	Interactuar con la computadora	No proporciona porcentaje.
Sensores magnéticos y una antena intraoral	Procesamiento de señales magnéticas	Detecta gestos de la lengua [15].	Interactuar con computadoras y smartphones	99.2%
Interfaz de Cámara Inteligente (ICI)	Adaboost y PosIt	Detección y modelado de la cara en 3D, y control de expresiones bucales [33].	Control de ortesis exoesquelética.	85%
Giro acelerómetro 3 ejes	MPU6050	Detección de gestos de cabeza para controlar la dirección y movimiento [32].	Control de sillas de ruedas eléctricas	No proporciona porcentaje.

AAN- Face	AE + ACL	Reconocimiento facial en condiciones de variabilidad [34].	Aplicaciones de seguridad, control de acceso y verificación de identidad	90.6%
Jetson Nano y webcam	Tiny-YOLOv3	Detección de rostros y características faciales [35].	Autenticación de visitantes y control de acceso	86.3%
OpenCV	Haar Cascade y Mask-RCNN	Mejora de imagen en baja luz y detección de rostros nocturna [36].	Vigilancia nocturna y sistemas de seguridad	81%
Procesamiento por lotes en GPU	Deep Metric Learning	Detección facial en paralelo en lotes de múltiples imágenes [37].	Aplicaciones de detección facial en video en vivo	99.38%
Redes neuronales convolucionales (CNN)	YOLOv5	Detecta y reconoce rostros en imágenes en una sola etapa [38].	Sistemas de asistencia y vigilancia	92.6%

La tecnología para el reconocimiento de voz fue seleccionada con base en la Tabla 8. La tecnología *Speech Recognition* que utilizaba *Dragon Naturally Speaking*, la cual fue descartada porque implicaba una dependencia comercial de software que limitaría la personalización y adaptación. Asimismo, esto conlleva un costo adicional y restricción de licencia. En referencia a una precisión detallada, la falta de datos sobre la efectividad del reconocimiento de voz en diferentes contextos limitaba la capacidad de evaluar qué tan útil podría ser. Además, *PocketSphinx*, que utiliza los algoritmos Modelos Ocultos de Markov (HMM) y Modelos de Mezclas Gaussianas (GMM), también fue descartado por motivos de rendimiento y aplicabilidad en otros idiomas, lo que afectaría su aplicación en diferentes antecedentes lingüísticos, ya que se debería entrenar el modelo desde cero para aplicarlo al idioma español. Respecto a Kaldi, que también utiliza el algoritmo de Modelos de Mezcla Gaussianas en Subespacios (SGMM) fue descartado por el mismo motivo de que se debe entrenar el modelo, así como por ser complejo en términos de configuración, adaptación y optimización para aplicaciones específicas, lo que llevaba a un incremento del tiempo de implementación. Por último, las redes neuronales profundas (DNN) que utilizan el algoritmo *Maxout* fueron descartadas por requerir recursos computacionales significativos, tanto para

la implementación como para el entrenamiento. Por ello, respecto a la limitación de hardware en TetraNav no se la eligió. En definitiva, se optó por utilizar Vosk porque proporciona modelos pre-entrenados para varios idiomas, en este caso, para el español, así como por estar bajo una licencia gratuita de código abierto, lo que la hace accesible y gratuita para su uso.

Tabla 8. Métodos para el reconocimiento de voz

Métodos de reconocimiento de voz				
Tecnología	Algoritmo	Funcionalidad	Uso	Precisión
Speech Recognition	Dragon Naturally Speaking v13	Reconocimiento del movimiento de cabeza, comandos de lengua y reconocimiento de voz [4].	Facilitar el acceso a computadoras y otros dispositivos digitales	82.4%
PocketSphinx	HMM - GMM	Reconocimiento automático de voz (ASR) [39].	Construcción de sistemas de reconocimiento de voz eficientes en hindi	94.63%
VOSK	Procesamiento del Lenguaje Natural (NLP)	Procesamiento de comandos de voz [40].	Videojuego educativo móvil para mejorar el aprendizaje	92%
Kaldi	Modelos de Mezcla Gaussiana en Subespacios (SGMM)	Reconocimiento de voz para niños con adaptaciones acústicas específicas [41].	Transcripción automática del habla de niños en Punjabi	83.66%
Redes Neuronales Profundas (DNN)	Maxout	Modelado acústico en reconocimiento de voz [42].	Transcripción de llamadas telefónicas	14.5%

En la tercera iteración del ciclo de desarrollo, tras haber implementado y probado las tecnologías seleccionadas para el reconocimiento facial y de voz, se realizó la mejora de estas funcionalidades. Se logró mejorar la precisión de captura de las palabras emitidas por el usuario, aplicando un modelo más eficiente de la librería Vosk, el cual es “Vosk-model-es-0.42” como se muestra a continuación, en la Tabla 9.

Tabla 9. Reemplazo del modelo pequeño al modelo grande de la librería Vosk

Modelo	Tamaño	Tasa de error de palabra/Velocidad
vosk-model-small-es-0.42	39M	16.02 (cv test) 16.72 (mtedx test) 11.21 (mls)
vosk-model-es-0.42	1.4G	7.50 (cv test) 10.05 (mtedx test) 5.84 (mls)

En la cuarta iteración del ciclo de desarrollo, el objetivo se centró en completar el sistema y en garantizar que todas las tecnologías y funcionalidades implementadas funcionaran de forma integrada y sin inconvenientes. Se alcanzó una integración exitosa de todas las tecnologías y funcionalidades. Un aspecto fundamental fue el uso inicial de la cámara web y el micrófono para el desarrollo de TetraNav, utilizando específicamente la Cámara HD HP *Wide Vision* con micrófono digital de matriz doble integrado. Posteriormente, estos componentes fueron reemplazados por la cámara externa (Webcam Cámara Web FHD 1080p Xiaomi Imilab CMSXJ22A) y el micrófono (M-306).

4.1.2. Evaluación y reducción de riesgos

En este siguiente apartado se muestra la Tabla 10 con los riesgos identificados en cada iteración.

Tabla 10. Estrategias para mitigar los riesgos identificados

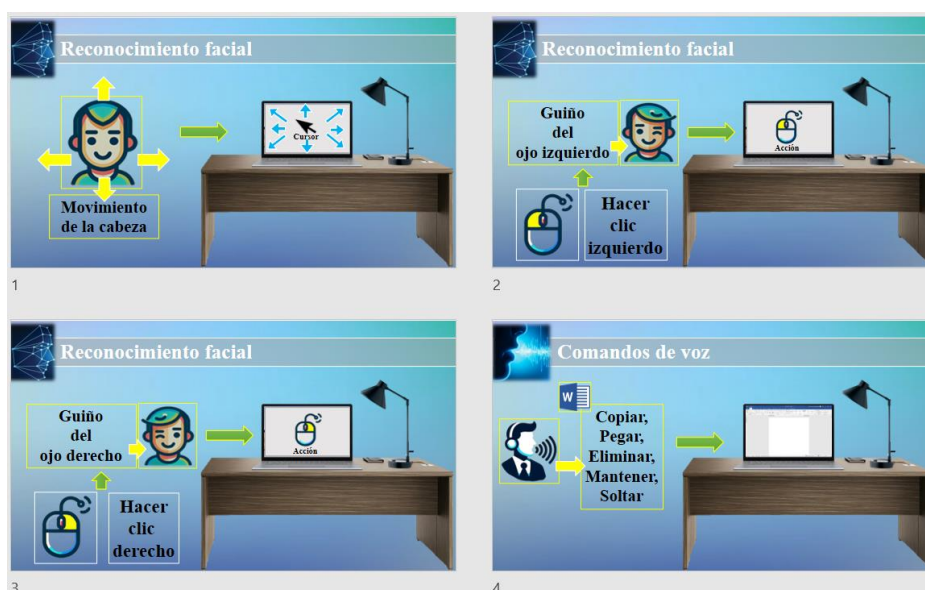
Iteración	Riesgos Identificados	Estrategias de Mitigación
1	• Usabilidad del sistema • Adaptación del usuario • Posibles problemas de fatiga	Sesiones continuas con el usuario para obtener una retroalimentación constante.
2	Riesgos técnicos de hardware (cámara, micrófono) Adaptación a las necesidades de usuarios con Tetraplejía	• Selección cuidadosa de tecnologías no invasivas y ajustes técnicos. • Pruebas rigurosas de hardware.
3	• Implementación y aceptación del sistema. • Capacidad de movimiento de la cabeza del usuario. • Posibles interferencias externas.	• Ajustes en reconocimiento facial y de voz para reducir interferencias. • Evaluación de riesgos durante el desarrollo y pruebas de campo.

4	• Migración a nueva configuración de hardware. • Satisfacción del usuario con nueva configuración de hardware.	• Planificación cuidadosa del cambio y adaptación de la computadora de escritorio. • Pruebas para validar el rendimiento del sistema.
---	---	--

4.1.3. Desarrollo y validación

En la primera iteración del ciclo de desarrollo, se elaboró como prototipo de baja fidelidad una presentación inicial con diapositivas, proporcionando una comprensión visual de las funcionalidades que el sistema va a realizar. Se analizó que el usuario podría manejar eficazmente el cursor del ratón mediante movimientos faciales y gestos específicos, como el guiño de ojos para hacer clics. Además, la integración de comandos de voz le ayudaría significativamente el manejo de aplicaciones de software, facilitando tareas como copiar, pegar y eliminar en programas como Microsoft Word. La retroalimentación obtenida de la simulación de la interacción usuario-computadora condujo al desarrollo adaptado del sistema para enriquecer la experiencia del usuario, resaltando la facilidad de uso y accesibilidad del sistema para esta persona con limitaciones de movilidad. A continuación, en la Figura 8 se muestran las imágenes de las diapositivas de la presentación.

Figura 8. Resultados de las diapositivas presentadas en la primera interacción de la fase de desarrollo y validación



Elaboración: Autor

Como resultados de la segunda iteración del ciclo de desarrollo, se obtuvo una lista detallada de los requisitos del sistema TetraNav. Por ello, a continuación, se mencionan los requisitos funcionales guías para diseñar e implementar el sistema TetraNav:

Requisitos funcionales

El sistema debe:

- Ser capaz de posicionar el cursor del ratón en el monitor, mediante el reconocimiento facial aplicando la coordenada de la nariz.
- Permitir al usuario mover el cursor del ratón mediante el movimiento de su cabeza, aplicando la coordenada de la nariz.
- Ser capaz de reconocer y procesar comandos de voz para realizar las acciones que el usuario desee realizar.
- Permitir modificar los comandos de voz de los atajos de teclado previamente definidos para las acciones predeterminadas.
- Permitir a los usuarios abrir, cerrar y cambiar entre aplicaciones utilizando comandos de voz.
- Permitir redactar documentos y mensajes de texto utilizando la voz como entrada.
- Facilitar la realización de acciones que requieran pulsar múltiples teclas simultáneamente.

Requisitos no funcionales

El sistema debe:

- Ser altamente usable y fácil de aprender.
- Garantizar una respuesta rápida a las acciones que emite el usuario.
- Funcionar de manera segura y confiable.
- Ser eficiente en el uso de recursos y energía.
- Ser fácil de mantener y actualizar.

Cabe recalcar que estos requisitos se derivan directamente de las necesidades de las personas con Tetraplejía, identificadas durante la entrevista y la revisión de experiencias previas, asegurando así que el sistema aborde de manera efectiva los desafíos específicos de estas personas. Adicionalmente, se revisaron artículos científicos con el objetivo de identificar requisitos adicionales. Sin embargo, esto no fue posible; no obstante, se encontraron algunos

aspectos que ameritan ser mencionados, como los algoritmos y los modelos que se utilizan para el reconocimiento facial y de voz, los cuales fueron detallados en la primera fase de desarrollo de la metodología, y en este apartado se mencionan los dos métodos utilizados. Asimismo, se especifican los componentes de hardware, software, junto con las tecnologías y métodos de reconocimiento implementados en la construcción de TetraNav. La Tabla 11 presenta de forma detallada el hardware utilizado, incluyendo modelo y funcionalidad específica para el desarrollo del sistema.

Tabla 11. Especificaciones de Hardware para la construcción de TetraNav

Hardware	Modelo	Funcionalidad
HP Pavilion Laptop	15-cs0008ns	Portátil de alto rendimiento para realizar multitareas, esencial para el desarrollo del sistema.
Cámara web y Micrófono	Cámara HD HP Wide Visión con micrófono digital de matriz doble integrado	Facilita la transmisión de video y captura de voz del usuario.

En la Tabla 12 se detallan el software seleccionado por su funcionalidad y criterio de elección, fundamental en la construcción de TetraNav.

Tabla 12. Software seleccionados para la construcción de TetraNav

Software	Funcionalidad	Criterio de elección
Visual Studio Code	Editor de código [43].	Se seleccionó este editor de código por su interfaz intuitiva y un amplio soporte con diversos lenguajes de programación.
GitHub	Control de versiones	Se eligió este controlador de versiones por su facilidad de uso, una amplia adopción en el desarrollo colaborativo y mantenimiento de proyectos para controlar las diversas versiones del sistema.
Windows 10	Sistema operativo	Se optó por utilizar Windows 10 por su compatibilidad con una amplia gama de software y hardware

Asimismo, en la Tabla 13 se detallan las herramientas seleccionadas, destacando su funcionalidad y los criterios de elección.

Tabla 13. Herramientas seleccionadas para el desarrollo de TetraNav

Herramienta	Funcionalidad	Criterio de elección
Python	Lenguaje de programación [44].	Se seleccionó por su legibilidad de código y un amplio soporte en la comunidad de código abierto para el desarrollo de aplicaciones de Inteligencia Artificial.
SQLite	Gestión de base de datos [45].	Se seleccionó por estar integrada con Python para una solución compacta y eficaz en la

Tkinter	Biblioteca GUI (Interfaz Gráfica de Usuario) [46].	gestión de base de datos y adecuada para el proyecto. Se seleccionó por ser la biblioteca estándar de Python para crear GUI. Asimismo, por ser una opción nativa, lo que evita la necesidad de instalaciones adicionales.
----------------	--	--

Finalmente, en la Tabla 14 se detallan los algoritmos de reconocimiento seleccionados, así también se especifica su uso. Estos métodos fueron seleccionados basados en una lista previa de la primera fase de la metodología.

Tabla 14. Métodos de reconocimiento utilizados en la construcción de TetraNav

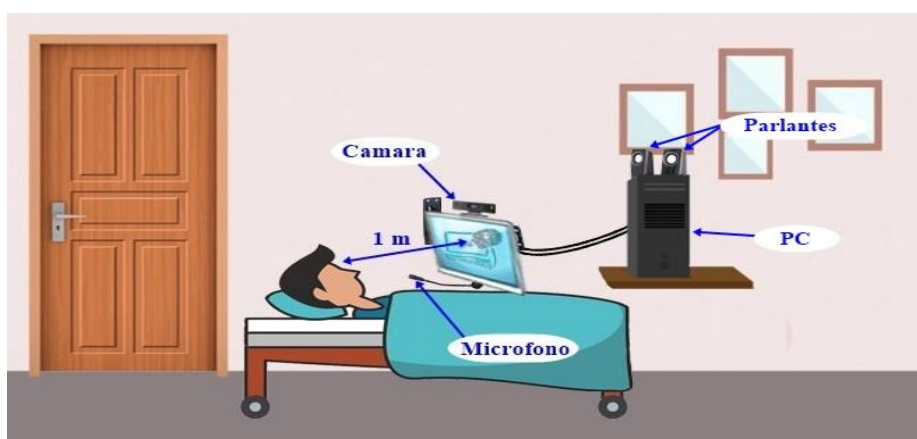
Métodos	Algoritmo	Uso
OpenCV	Varios: Detección de bordes, reconocimiento de patrones, seguimiento de objetos [47].	Esta herramienta se la utilizó para la detección de puntos específicos, como el de la nariz.
Vosk	DNN: Arquitectura red neuronal recurrente profunda [48].	Esta herramienta se la utilizó para el reconocimiento de voz

Como resultado de la tercera iteración del ciclo de desarrollo, se mejoró la precisión del modelo de reconocimiento facial para posicionar correctamente el cursor del ratón y evitar que refleje los desplazamientos circulares, mediante una nueva estructura en la función del código ya existente.

De manera complementaria, se avanzó en la optimización del modelo de reconocimiento de voz, agregando en primer lugar los comandos de voz nuevos directamente en el código fuente como (dividir ventana a la izquierda y derecha, minimizar ventana, maximizar ventana, nueva ventana, cerrar y abrir comillas simples). De igual forma, se aplicó el nuevo modelo, más pesado, de la librería de voz, como se indicó anteriormente en el apartado de la fase de determinación de objetivos en la tercera iteración, el cual fue el modelo “vosk-model-es-0.42”.

Como resultado de la última iteración del ciclo de desarrollo, se adaptaron los nuevos componentes de hardware al entorno del usuario. A continuación, en la Figura 9 se muestran de manera visual estas adaptaciones.

Figura 9. Componentes de hardware adaptados en el entorno del usuario.



Elaboración: Autor

En la siguiente Tabla 15, se detallan los nuevos componentes de hardware adaptados en el entorno del usuario.

Tabla 15. Nuevos componentes de hardware aplicados al sistema TetraNav.

Hardware	Modelo	Funcionalidad
Computadora de escritorio	- Intel Core i5-10400 - ASUS H510M-E - Kingston 8GB DDR4 - Western Digital Green 240GB - Fuente de poder	Componente central para el funcionamiento del sistema TetraNav.
Cámara Web	Webcam Cámara Web FHD 1080p Xiaomi Imilab CMSXJ22A	Captura de video de las actividades del usuario.
Micrófono	M-306	Captación de señales de voz.
Monitor	MONITOR LG 21" - LED IPS 1366X768 - HDMI - Black	Permite visualizar la interfaz del usuario y la información procesada por la computadora.

Asimismo, para agregar las secciones de modificación de comandos de voz, agregar páginas web y velocidad del ratón, se realizó un diseño del sistema especializado. Por ello, se centró en un análisis de casos de uso específicos que definen las interacciones entre el usuario y la aplicación.

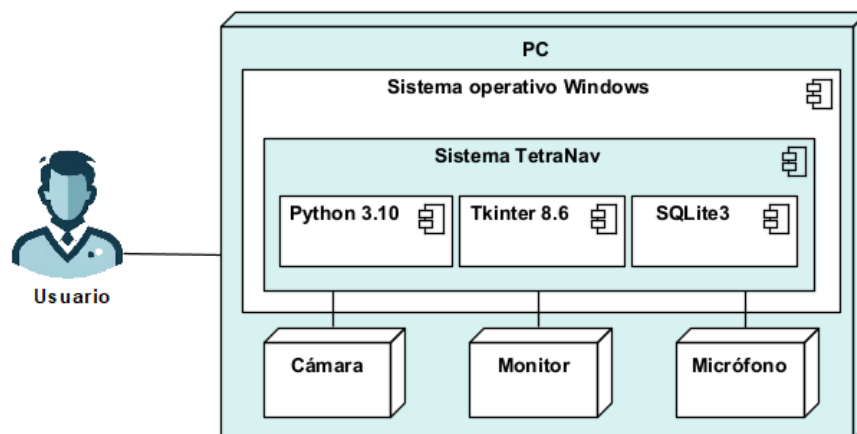
Diagrama de despliegue

La Figura 10, muestra la arquitectura de despliegue del sistema TetraNav, detallando la interacción entre el hardware, el software y el usuario. Como principal del despliegue es la

computadora que opera bajo el sistema operativo Windows. Este sistema TetraNav está compuesto por tres elementos de software para su operación: Python 3.10, que es la base de ejecución del código; el módulo Tkinter 8.6, que provee la interfaz gráfica de usuario (GUI) para las interacciones visuales; y SQLite3, que gestiona la base de datos interna del sistema.

La persona con Tetraplejía interactúa directamente con el sistema TetraNav a través de la entrada proporcionada por una cámara y un micrófono, dispositivos externos que son para la funcionalidad de reconocimiento facial y de voz del sistema. Estas tecnologías permiten al usuario el control necesario para mover el cursor y ejecutar comandos dentro de la aplicación sin la necesidad de interacción táctil. El monitor, conectado a la computadora, es el dispositivo de salida que permite visualizar la interfaz gráfica, proporcionando una retroalimentación visual al usuario sobre las operaciones realizadas.

Figura 10. Diagrama de despliegue de TetraNav

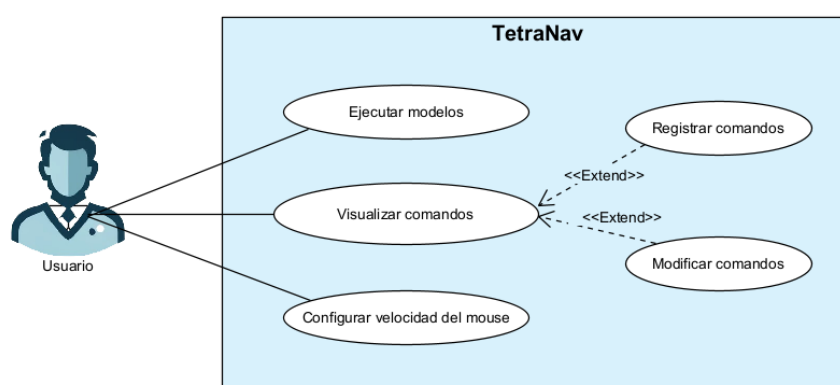


Elaboración: Autor, utilizando la herramienta Visual Paradigm

Diagrama de casos de uso

En la Figura 11, se muestra el diagrama general de casos de uso, donde se visualiza la participación de un solo autor denominado “Usuario”. El cuál es la persona encargada de llevar a cabo la ejecución de los modelos, la configuración de los comandos de voz y la configuración de la velocidad del ratón.

Figura 11. Diagrama general de casos de uso



Elaboración: Autor, utilizando la herramienta Visual Paradigm.

Descripción de los casos de uso extendidos

Esta sección proporciona una visión detallada de los casos de uso extendidos desde la Tabla 16 a la Tabla 20.

Tabla 16. Caso de uso "Ejecutar modelos"

Caso de uso: Ejecutar modelos	CU001
Actores:	Usuario
Propósito:	Permite al usuario la ejecución de los modelos
Resumen:	Este caso de uso empieza cuando el usuario ingresa al sistema y realiza la ejecución de los modelos
Tipo:	Principal
Precondición:	El sistema está instalado
Postcondición:	Los modelos se ejecutan correctamente
Flujo normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1. El caso de uso empieza cuando el usuario procede a abrir el sistema.	2. El sistema muestra la pantalla principal con varios botones con sus respectivas descripciones
3. El usuario da clic en el botón "Iniciar"	4. El sistema activa los modelos de reconocimiento facial y el de voz.
	5. El sistema procesa los comandos
	6. El sistema activa el botón cerrar
Flujos alternativos	
Alt 2.1. El usuario cancela la operación:	
El usuario decide no iniciar el sistema y opta por cerrarlo antes de ejecutar los modelos.	
Alt 6.1. El usuario cierra la ejecución de los modelos	
El usuario, después de ejecutar los modelos, decide cerrarlos.	
Excepciones	
E 4. Los modelos no se pueden activar:	
El sistema muestra un mensaje de error y proporciona sugerencias para solucionar el problema.	

Tabla 17. Caso de uso "Visualizar comandos"

Caso de uso: Visualizar comandos	CU002
Actores:	Usuario
Propósito:	Permite al usuario visualizar los comandos de voz.
Resumen:	Este caso de uso empieza cuando el usuario ingresa al sistema y elige el apartado comandos de voz indiferente de la opción que elija. El sistema le va a permitir al usuario visualizar los comandos de voz utilizados por el sistema.
Tipo:	Principal
Precondición:	El sistema está instalado
Postcondición:	El usuario ha visualizado exitosamente los comandos de voz en la pantalla de configuración.
Flujo normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1. Este caso de uso empieza cuando el usuario da clic en el botón "Comandos de voz"	2. El sistema permite visualizar una pantalla que muestra una pregunta de qué tipo de comando de voz desea agregar
3. El usuario selecciona el tipo de comando de voz.	
4. El usuario elige "Atajos predefinidos"	5. El sistema le presenta una pantalla con diferentes componentes y la tabla donde se visualizan los comandos de voz.
6. El usuario puede realizar otra acción	
Flujos alternativos	
Alt 4.1. El usuario decide seleccionar otra opción: Si el usuario elige la otra opción "Páginas web", la cual visualizará otra pantalla con diferentes opciones y la tabla con la lista de los comandos de páginas web. El sistema se ajusta a la elección del usuario y actualiza la interfaz en consecuencia.	
Excepciones	
E 5. Error al cargar los atajos predefinidos: El sistema muestra un mensaje de error informando al usuario sobre el problema que presentó al realizar la acción.	

Tabla 18. Caso de uso "Configurar velocidad del ratón"

Caso de uso: Configurar la velocidad del ratón	CU003
Descripción:	Este caso de uso permite al usuario ajustar la velocidad del ratón para adaptarse a las preferencias y necesidades del usuario.
Actores:	Usuario
Condiciones previas:	El sistema debe estar instalado

Condiciones posteriores:	Los cambios en la configuración de la velocidad del ratón se guarden de manera correcta.
Flujo normal	
Actor	Sistema
1. Este caso de uso empieza cuando el usuario da clic en el botón “Velocidad del ratón”	2. El sistema permite visualizar la pantalla con los diferentes valores de velocidad del ratón que el usuario pueda seleccionar
3. El usuario ajusta la velocidad del ratón seleccionando un valor de una lista predefinida.	
4. El usuario da clic en la opción “Guardar”	5. El sistema guarda la nueva configuración de la velocidad del ratón.
6. El usuario da clic en la opción “Cancelar”	7. El sistema vuelve a presentar la pantalla principal.
Flujos alternativos	
Alt 6.1. El usuario decide no realizar cambios: Selecciona la opción “Cancelar” sin realizar ningún cambio en la velocidad del ratón.	
Excepciones	
E 5. Error al guardar cambios en la velocidad del ratón: El sistema muestra un mensaje de error especificando qué problema se presentó al realizar la acción.	

Tabla 19. Caso de uso "Registrar comandos"

Caso de uso: Registrar comandos	CU004
Actores:	Usuario
Propósito:	Permite al usuario registrar una nueva página web
Resumen:	Este caso de uso empieza cuando el usuario ingresa al sistema y elige el apartado comandos de voz, y elige la opción páginas web permite, el cual el sistema le va a permitir al usuario registrar una nueva página web con su comando de voz definido.
Tipo:	Principal
Condiciones previas:	El sistema debe estar instalado
Condiciones posteriores:	El sistema ha guardado la nueva página web correctamente y lo muestra en la tabla.
Flujo normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1. Este caso de uso empieza cuando el usuario da clic en el botón “Comandos de voz”	2. El sistema permite visualizar una pantalla que muestra una pregunta de qué tipo de comando de voz desea agregar
3. El usuario selecciona el tipo de comando de voz.	
4. El usuario elige “Páginas web”	5. El sistema le presenta una pantalla con los cuadros de texto, el cual le permitirá ingresar los datos deseados

6. El usuario ingresa los datos y da clic en el botón “guardar”	7. El sistema guarda los cambios correctamente
	8. El sistema le permite visualizar en la tabla de páginas web el nuevo comando agregado.
9. El usuario puede realizar otra opción o puede agregar otro comando de voz.	
Flujos alternativos	
Alt 9.1. El usuario decide no guardar los cambios: El usuario elige realizar otra opción sin realizar guardar ningún comando de voz nuevo.	
Excepciones	
E 8. Error al guardar el nuevo comando de voz: El sistema muestra un mensaje de error informando al usuario sobre el problema que presentó al realizar la acción.	

Tabla 20. Caso de uso "Modificar comandos"

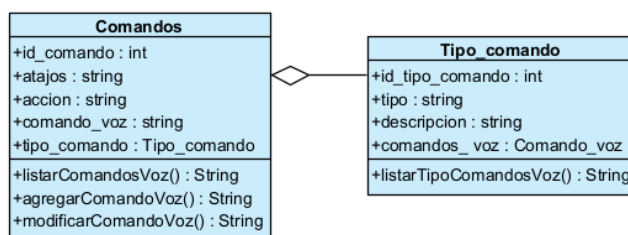
Caso de uso: Modificar comandos	CU005
Actores:	Usuario
Propósito:	Permite al usuario modificar los comandos de voz
Resumen:	Este caso de uso empieza cuando el usuario ingresa al sistema y elige el apartado comandos de voz. independientemente de qué opción elija, el sistema le va a permitir al usuario modificar un comando de voz ya agregado anteriormente.
Tipo:	Principal
Condiciones previas:	El sistema está instalado
Condiciones posteriores:	El sistema ha modificado correctamente los datos y los muestra en la tabla correspondiente.
Flujo normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1. Este caso de uso empieza cuando el usuario da clic en el botón “Comandos de voz”	2. El sistema permite visualizar una pantalla que muestra una pregunta de qué tipo de comando de voz desea agregar
3. El usuario selecciona el tipo de comando de voz.	
4. El usuario elige “Atajos predefinidos”	5. El sistema le presenta una pantalla con cuadros de texto que le permitirá modificar un comando de voz y la tabla correspondiente.
6. El usuario selecciona en la tabla que comando desea modificar.	7. El sistema le muestra los datos en los cuadros de texto correspondientes al comando seleccionado.
8. El usuario modifica los datos en los cuadros de texto	

9. El usuario da clic en el botón “modificar”	10. El sistema guarda los datos correctamente
	11. El sistema le permite visualizar en la tabla correspondiente el comando de voz modificado
12. El usuario puede realizar otra opción o puede modificar otro comando de voz.	
Flujos alternativos	
Alt 12.1. El usuario decide seleccionar otra opción: Si el usuario elige la otra opción “Páginas web”, la cual visualizará otra pantalla con diferentes opciones y la tabla con la lista de los comandos de páginas web. El sistema se ajusta a la elección del usuario y actualiza la interfaz en consecuencia.	
Excepciones	
E 11. Error al cargar los atajos predefinidos: El sistema muestra un mensaje de error informando al usuario sobre el problema que presentó al realizar la acción.	

Diagrama de clases

En la Figura 12, se representa el diagrama de clases del sistema, mostrando dos clases principales que están interconectadas: “Comandos”, que define las órdenes individuales, y “Tipo comandos”, que clasifica estos comandos.

Figura 12. Diagrama de clases

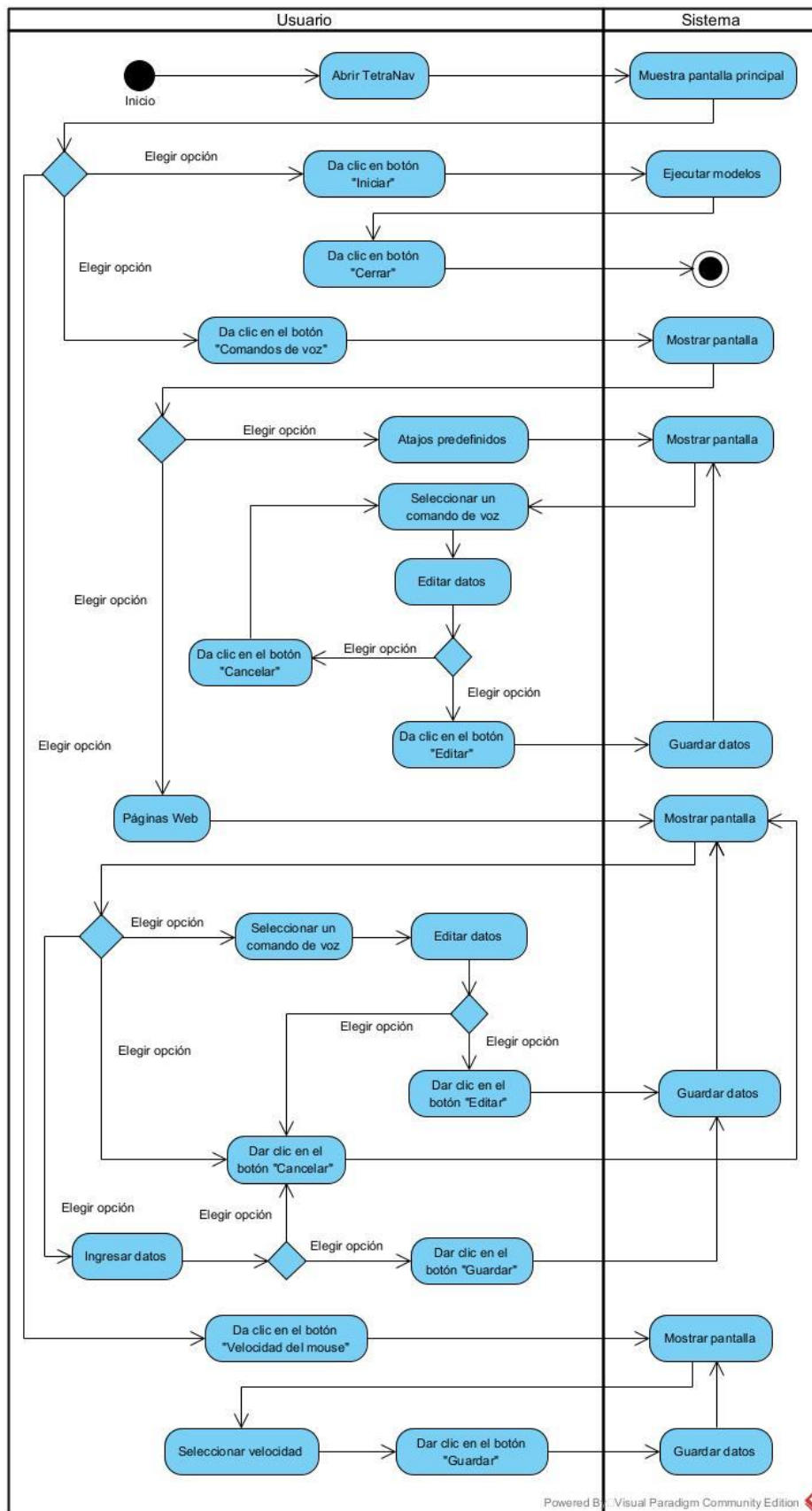


Elaboración: Autor, utilizando la herramienta Visual Paradigm.

Diagrama de actividades

En la Figura 13, se presenta el diagrama de actividades como una herramienta fundamental para ilustrar el flujo de acciones en el sistema TetraNav. El diagrama refleja la interacción usuario y sistema, detallando cada acción disponible y las respuestas correspondientes del sistema.

Figura 13. Diagrama de actividades



4.1.4. Evaluación continua de la efectividad del sistema

En esta sección se describe cada sesión realizada con el usuario para evaluar el sistema. En la Tabla 21 se visualizan los resultados obtenidos en cada sesión.

Tabla 21. Evaluaciones continuas del sistema con el usuario

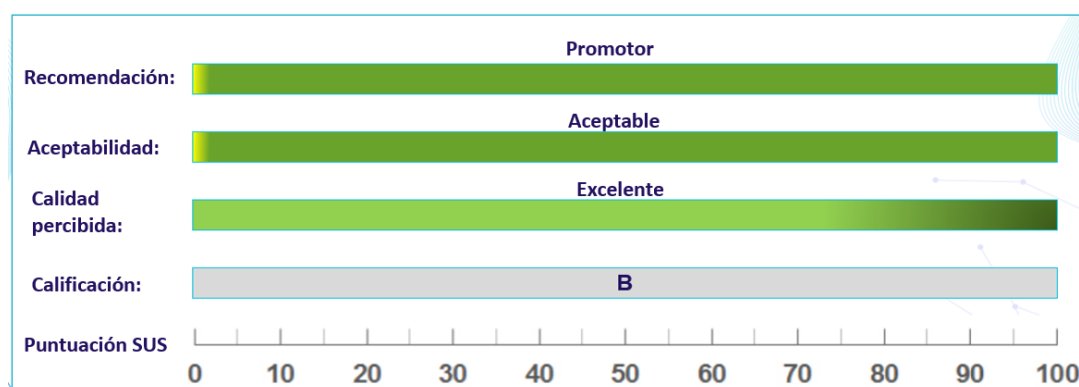
EVALUACIONES DEL SISTEMA CON EL USUARIO			
	Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3
	Fecha: 13/12/2023	Fecha: 15/01/2024	Fecha: 23/02/2024
	Escala de Likert	Escala de Likert	Escala de Likert
Efectividad	Satisfecho	Satisfecho	Muy satisfecho
Facilidad de uso	Regular	Fácil	Muy fácil
Adaptabilidad	Algo Satisfecho	Algo Satisfecho	Totalmente satisfecho
Calidad del comando de voz	Regular	Buena	Excelente
Calidad de movimiento del cursor del ratón	Buena	Buena	Excelente
Errores	Ocasionalmente	Casi nunca	Nunca
Recomendaciones	1. Corregir la posición del cursor del ratón cuando se lo mantiene fijo en una parte de la pantalla. 2. Cambiar algunos comandos de voz que sean más familiares y también que reconozcan mejor las palabras emitidas.	1. Posibilidad de modificar los comandos de voz y agregar páginas web a preferencia del usuario. 2. Corregir la velocidad del ratón.	1. Incluir colores más claros en la interfaz.
Mejoras	1. Se aplicó una nueva estructura en el código para corregir los saltos del cursor del ratón. 2. Se cambiaron ciertos comandos de voz por otros más familiares. 3. Se agregó un modelo con mayor capacidad a la librería Vosk.	1. Se añadió una sección para la modificación de los comandos de voz. 2. Se añadió una sección para la	1. Se reestructuró el diseño del sistema a uno más futurista. 2. Se aplicó una navegación más intuitiva.

		inclusión de páginas web.	3. Se incluyó el logo del sistema al diseño.
		3. Se incorporó una sección para ajustar la velocidad del ratón.	
Seguimiento	Si se realizaron las mejoras.	Si se realizaron las mejoras.	Si se realizaron las mejoras.

4.1.5. *Evaluar la usabilidad y la satisfacción del usuario*

Para evaluar la usabilidad y la satisfacción del usuario del sistema TetraNav, se aplicó el cuestionario System Usability Scale (SUS) [49]. A pesar de que el SUS generalmente requiere una muestra más grande para resultados estadísticamente significativos, se realizó el cuestionario con el estudio de caso para obtener una evaluación preliminar sobre la tendencia de recomendación del sistema, su aceptabilidad y calidad percibida. Es importante señalar que el uso del cuestionario SUS con un único usuario no proporciona una medida definitiva, pero puede ser indicativo de la experiencia de usuario. Los resultados, como se ilustran en la Figura 14, deben considerarse como una indicación preliminar y no como una evaluación exhaustiva.

Figura 14. Resultado de aceptación de TetraNav.



Fuente: Haidar et al. [49]

Elaboración: Autor

La asignación de puntuación que dio el estudio de caso a las respuestas al cuestionario SUS fue mayoritariamente positiva. La suma de las respuestas a las preguntas impares fue de 12, indicando una buena usabilidad, mientras que la suma de las preguntas pares fue de 19. Al sumar ambas puntuaciones, se obtuvo un total de 31, que al multiplicarse por 2.5 resultó en

un puntaje de usabilidad de 77.5. Este puntaje se interpreta como una calificación de 'B', sugiriendo una calidad percibida como 'Excelente' y una aceptabilidad 'Totalmente Aceptable', lo que indica una fuerte tendencia a recomendar el uso de TetraNav.

4.2. Comprobación

En este apartado se presentan los resultados de los indicadores.

4.2.1. *Porcentaje de cumplimiento en la entrega de tareas de desarrollo*

Se planificaron un total de 23 tareas de desarrollo y se logró completar 22 dentro del plazo establecido. El porcentaje de cumplimiento de entrega fue del 95.65 %, indicando un alto nivel de cumplimiento.

4.2.2. *Índice de cumplimiento de objetivos de desarrollo*

En el proyecto se establecieron 3 objetivos de desarrollo, y se lograron satisfactoriamente los 3, obteniendo un porcentaje del 100%. Este porcentaje indica que el índice de cumplimiento total de los objetivos de desarrollo del proyecto se logró totalmente.

4.2.3. *Tasa promedio de detección de la posición de la nariz*

TetraNav realiza un total de 50 movimientos para detectar la posición de la nariz y logra reconocer correctamente 48 de ellos. La eficiencia tendría un valor de 96 %. Este resultado indica que el sistema TetraNav reconoce de forma eficiente la detección de la posición de la nariz.

4.2.4. *Tasa de reconocimiento de comandos de voz*

TetraNav logra reconocer correctamente 95 comandos de un total de 100 intentos, la tasa de reconocimiento sería del 95 %. Por lo tanto, el resultado indica que el sistema TetraNav reconoce de forma eficiente los comandos de voz.

4.2.5. *Índice de satisfacción del cliente*

Se realizaron tres sesiones con el usuario, quien otorgó las siguientes calificaciones: un 3 en la primera sesión, un 4 en la segunda sesión y un 5 en la tercera sesión. La suma total de las calificaciones de todas las sesiones es 12 (3 + 4 + 5). Al haberse llevado a cabo tres sesiones, el promedio resulta ser 4. Este resultado, cercano al 5, indica un alto nivel de satisfacción.

4.2.6. Nivel de adopción tecnológica por usuario

El usuario utilizó la función de realizar acciones detalladas mediante comandos de voz y realizó ajustes en las configuraciones personalizadas, lo que indica una adopción tecnológica significativa. Este es un indicador que refleja la integración y aprovechamiento de las características de TetraNav en la experiencia diaria del usuario.

4.2.7. Eficiencia operativa comparativa

Para mostrar un resultado cuantitativo sobre la eficiencia operativa, se seleccionó una tarea específica para la comparación: redactar y enviar un correo electrónico.

Método anterior: El usuario utilizaba una barita de madera en la boca para teclear y necesitaba la ayuda de su esposa para interactuar con la interfaz del correo electrónico. Por ello, aproximadamente se demoraban 20 minutos en redactar y navegar por la interfaz.

Método con TetraNav: Utilizando comandos de voz para redactar el correo y el movimiento del cursor del ratón para interactuar con la interfaz del correo electrónico, el proceso se redujo significativamente a un tiempo aproximado de 3 minutos.

Como resultado se obtiene una disminución significativa en el tiempo necesario, de un 85%, que no solo demuestra la eficiencia de TetraNav, sino que también mejora la autonomía del usuario.

4.2.8. Tiempo de respuesta del sistema referente a los comandos de voz

Se realizó un seguimiento del tiempo de respuesta para tres comandos de voz específicos dados a TetraNav:

- Comando 1: "Abrir página web"
Tiempo de respuesta: 0.3 segundos.
- Comando 2: "Buscar archivo de presentación"
Tiempo de respuesta: 0.6 segundos.
- Comando 3: "Cerrar ventana del explorador"
Tiempo de respuesta: 0.2 segundos.

Sumando los tiempos de respuesta, el tiempo promedio de respuesta de TetraNav para los 3 comandos de voz es de aproximadamente 0.366 segundos. Este resultado hace eficiente a TetraNav, ya que realiza una respuesta rápida a los comandos emitidos por el usuario.

4.2.9. Discusión sobre TetraNav y los sistemas existentes en el mercado

En esta sección se representa una comparación del sistema TetraNav (TN) con otros sistemas que proporcionan accesibilidad y tecnologías adaptativas. Entre ellos Windows Accessibility (WA) [50], Dragon Professional (DP) [51], JAWS [52], Tobii Dynavox (TD) [53] y CameraMouse (CM) [54]. El análisis se centró en varias características clave como el reconocimiento de voz, el reconocimiento facial, el control del cursor, la personalización de comandos, el soporte de idiomas y la accesibilidad de la interfaz.

TetraNav destaca por su capacidad de reconocimiento facial, permitiendo controlar el cursor del ratón mediante movimientos de la cabeza, ubicando la coordenada de la nariz que hace como punto de referencia para el movimiento. Esta funcionalidad es única entre los sistemas analizados, excepto por Tobii Dynavox y CameraMouse que, si bien no incorporan reconocimiento facial, pero sí permiten el movimiento del cursor, mediante el seguimiento de la vista y el movimiento de la cabeza.

En cuanto a la personalización de comandos, TetraNav ofrece un alto nivel de personalización, facilitando una interacción más adaptada y personalizable en comparación con los demás sistemas. Específicamente, TetraNav ofrece una personalización ‘Alta’ que permite configurar los comandos de voz y la velocidad del ratón. Los sistemas como WA, DP, y JAWS ofrecen una personalización ‘Media’, y por último los sistemas TD y CM, una ‘Baja’ personalización.

En términos de soporte de idiomas, TetraNav está optimizado para el idioma español, lo que es esencial para el contexto de uso sobre el estudio de caso. Los sistemas como WA, DP, JAWS ofrecen soporte de varios idiomas para el reconocimiento de voz. En cambio, en los sistemas TD y CM el soporte de idioma es limitado, ya que es con respecto a la configuración para su funcionamiento.

Finalmente, la accesibilidad de la interfaz de TetraNav es evaluada como alta, comparable con la de sistemas como WA y JAWS, pero superior a DP, TD y CM. La siguiente Tabla 22 resume las capacidades y características de cada sistema:

Leyenda:

- Alta (A), Media (M), Baja (B)
- Español (E), Varios idiomas (V), Limitado (L)

Tabla 22. Comparación de TetraNav con sistemas existentes en el mercado

CARACTERÍSTICAS	SISTEMAS					
	TN	WA	DP	JAWS	TD	CM
Reconocimiento de Voz	SI	SI	SI	SI	NO	NO
Reconocimiento facial	SI	NO	NO	NO	NO	NO
Movimiento del cursor	SI	NO	NO	NO	SI	SI
Personalización de comandos	A	M	M	M	B	B
Soporte de idiomas	E	V	V	V	L	L
Accesibilidad de la interfaz	A	A	M	A	M	M

TetraNav no solo incorpora funciones de reconocimiento facial para una navegación intuitiva, permitiendo controlar el cursor del ratón, sino que también integra el reconocimiento de voz. Esto permite a los usuarios ejecutar comandos y controlar aplicaciones por medio de la voz. Esta combinación facilita una experiencia de usuario completa y adaptativa. Al integrar dos de las tecnologías de accesibilidad más efectivas en un solo sistema, TetraNav se convierte en una herramienta esencial para personas con limitaciones físicas. Esto es especialmente significativo para aquellas con Tetraplejía, quienes se benefician directamente de las funcionalidades que ofrece TetraNav.

4.3. Manual de funcionamiento

En esta sección de manual de funcionamiento se proporcionan instrucciones detalladas sobre el funcionamiento y uso del sistema TetraNav. En los siguientes puntos se explican los procedimientos necesarios para instalar y configurar el sistema, así como la forma de interactuar con las diversas funcionalidades que ofrece.

4.3.1. Funcionamiento del sistema TetraNav

El funcionamiento de TetraNav debe llevarse a cabo mediante la instalación del ejecutable del sistema en una computadora con sistema operativo Windows. Una vez instalado, no es necesario que el sistema esté conectado a internet. Después de la instalación en la computadora, el usuario podrá ejecutarlo y realizar ajustes, como la velocidad del ratón, así como también los comandos de voz según sea necesario. Después de realizar los ajustes, el usuario podrá utilizar TetraNav.

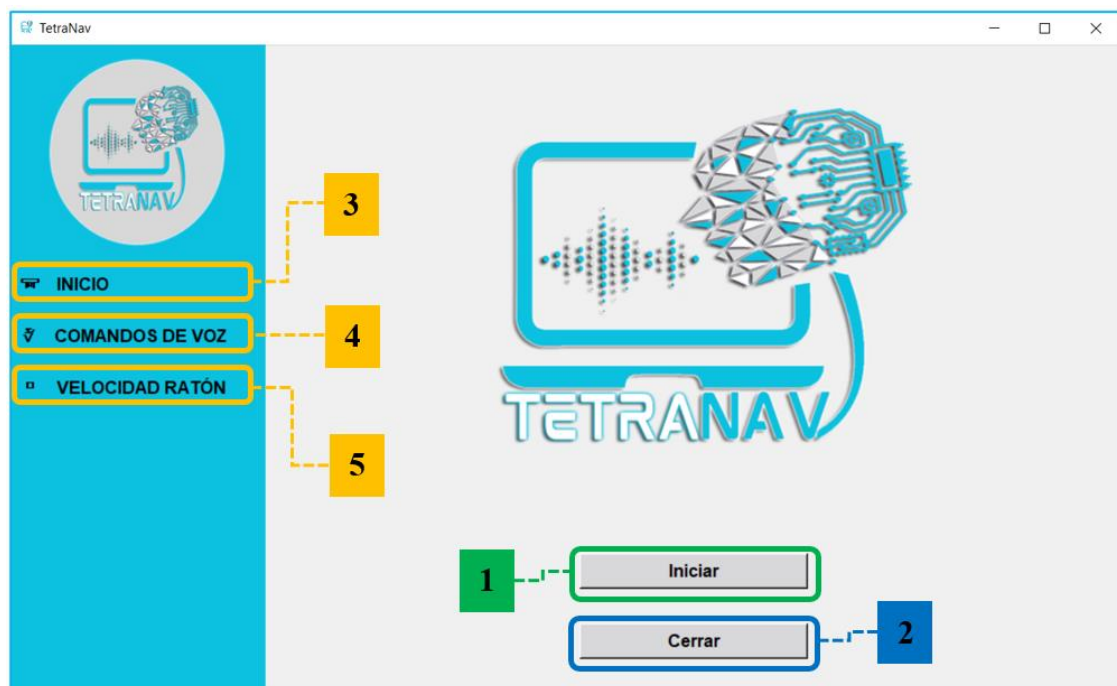
4.3.2. Manual de usuario de TetraNav

En este apartado, se ofrece información detallada sobre cómo utilizar TetraNav, desde los ajustes iniciales, si fueran necesarios, hasta la interacción con el sistema. Si es la primera vez que se utiliza TetraNav, a continuación, se mencionarán ciertas recomendaciones:

4.3.2.1. Pantalla de inicio.

La Figura 15 ilustra la pantalla de inicio del sistema TetraNav, que incluye una barra lateral del menú. Dicha barra proporciona acceso a tres funcionalidades específicas: “Inicio”, “Comandos de voz” y “Velocidad del ratón”. Adicionalmente, se destacan dos botones principales, “Iniciar” y “Cerrar”, los cuales son esenciales para la activación y terminación de los modelos de reconocimiento.

Figura 15. Pantalla de inicio de TetraNav



Elaboración: Autor

Se proporciona a continuación una descripción breve de la funcionalidad de cada componente de la pantalla de inicio:

1. **Botón iniciar:** Inicia la operación de los modelos de reconocimiento facial y de voz.
2. **Botón cerrar:** Finaliza la operación de los modelos de reconocimiento facial y de voz.

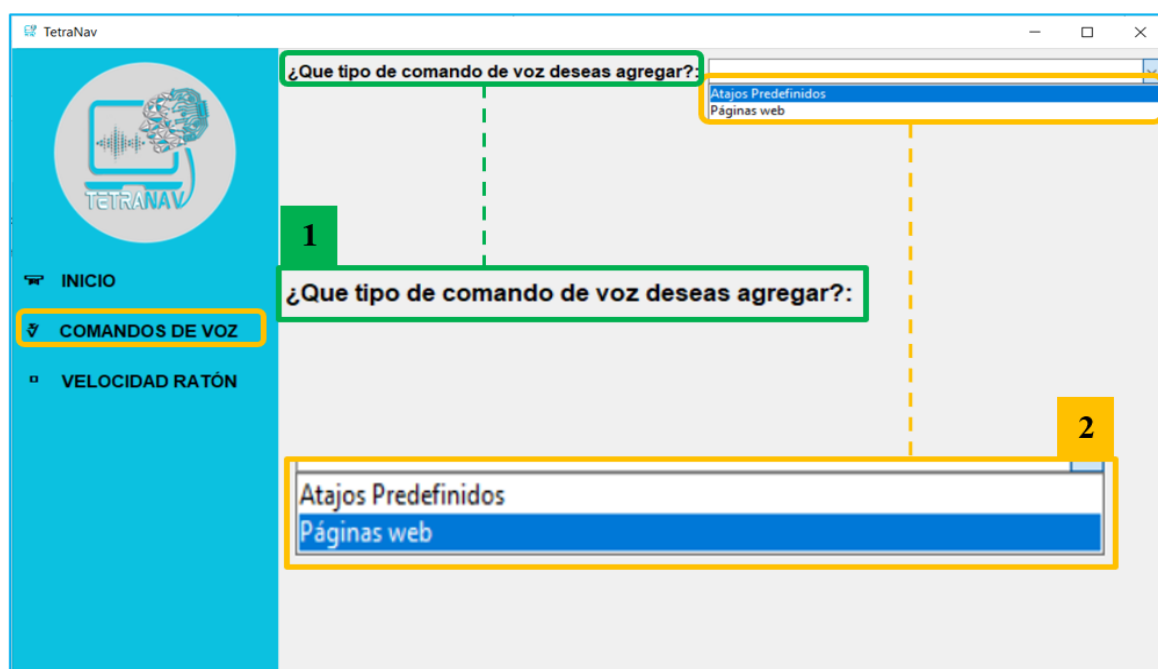
Barra lateral:

3. **Inicio:** Permite al usuario regresar a la pantalla de inicio en cualquier momento, especialmente si se ha navegado a otras opciones como "Comandos de Voz" o "Velocidad del Ratón".
4. **Comando de voz:** Permite el acceso a la configuración de comandos de voz. Esta pantalla de comandos de voz se presenta en la Figura 14.
5. **Velocidad ratón:** Permite el acceso a la configuración de velocidad ratón. Esta pantalla de velocidad ratón se presenta en la Figura 17.

4.3.2.2. Pantalla de comandos de voz.

En la Figura 16 se visualiza la pantalla de comandos de voz del sistema TetraNav. Esta pantalla está diseñada para permitir al usuario añadir nuevos comandos de voz. La pantalla se compone de una pregunta orientativa y un cuadro de selección relacionados con el tipo de comando de voz que desea configurar.

Figura 16. Pantalla de comandos de voz



Elaboración: Autor

A continuación, se detalla brevemente la funcionalidad de cada componente de esta pantalla:

1. **Barra de título:** Se visualiza una pregunta: "¿Qué tipo de comando de voz deseas agregar?", dirigiendo al usuario hacia la acción a seguir.

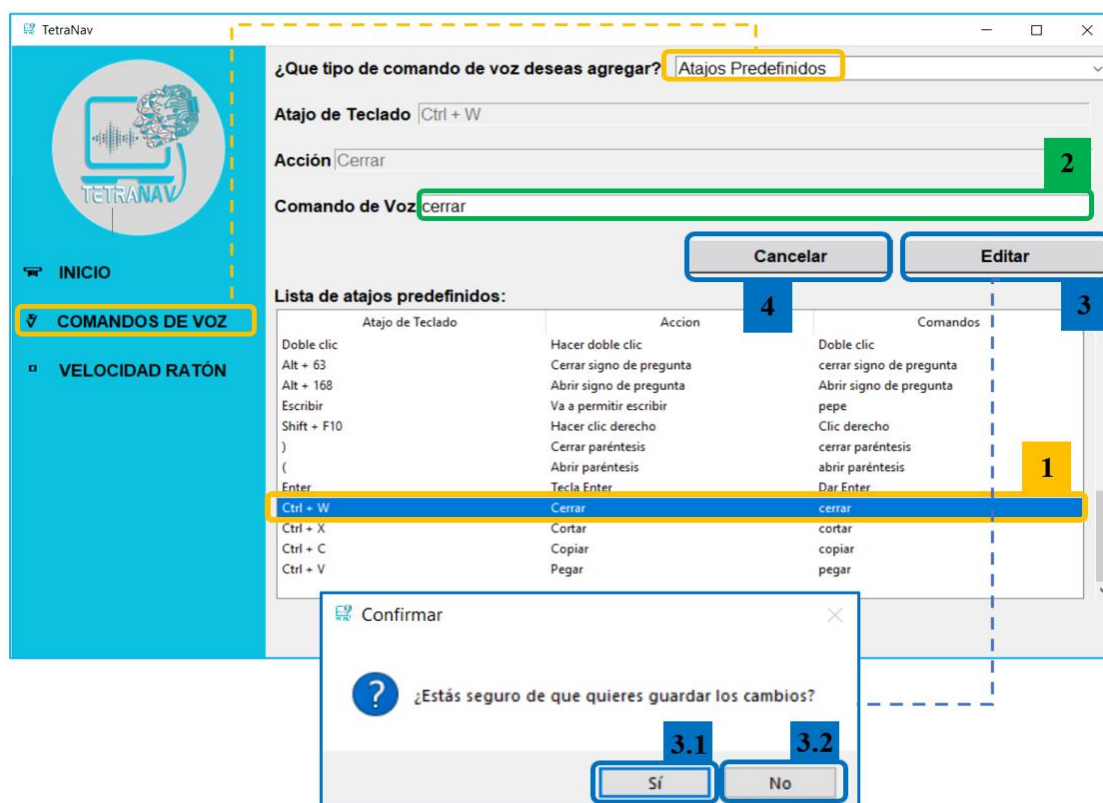
2. **Cuadro de selección:** Se muestran dos selecciones en el desplegable: “Atajos predefinidos” y “Páginas web”, referentes a la acción que se realizará con respecto a la pregunta.

Barra lateral: La funcionalidad detallada de la barra lateral de menú se describe en la Figura 13, específicamente en los puntos 3 a 5.

4.3.2.3. Pantalla de comandos de voz, opción “Atajos predefinidos”.

En la Figura 17, se visualiza la pantalla de configuración de los “Atajos predefinidos” dentro de la sección de comandos de voz del sistema TetraNav. Esta pantalla permite al usuario personalizar los comandos de voz según su preferencia.

Figura 17. Pantalla de comandos de voz, opción “Atajos predefinidos”



Elaboración: Autor

A continuación, se detalla brevemente la funcionalidad de cada componente de esta pantalla:

1. Lista de atajos predefinidos:

Seleccionar un atajo: Se visualiza una lista de atajos de teclado que están asociados a una acción y a un comando de voz. El usuario debe seleccionar uno para personalizarlo.

2. Campos de entrada:

Los campos correspondientes a "Atajo de Teclado" y "Acción" están bloqueados para evitar modificaciones involuntarias. El usuario puede editar únicamente el campo "Comando de Voz" según sus preferencias.

3. **Botón editar:** Facilita la modificación de los comandos de voz seleccionados. Al dar clic en este botón, aparece un cuadro de diálogo que plantea la siguiente pregunta al usuario: "¿Estás seguro de que quieres guardar los cambios?". Este paso requiere una confirmación para proceder.

Botones de confirmación de cambios:

3.1.**Sí:** El sistema guardará las modificaciones en los comandos de voz. Una vez confirmados, los cambios se reflejarán en la lista de atajos predefinidos.

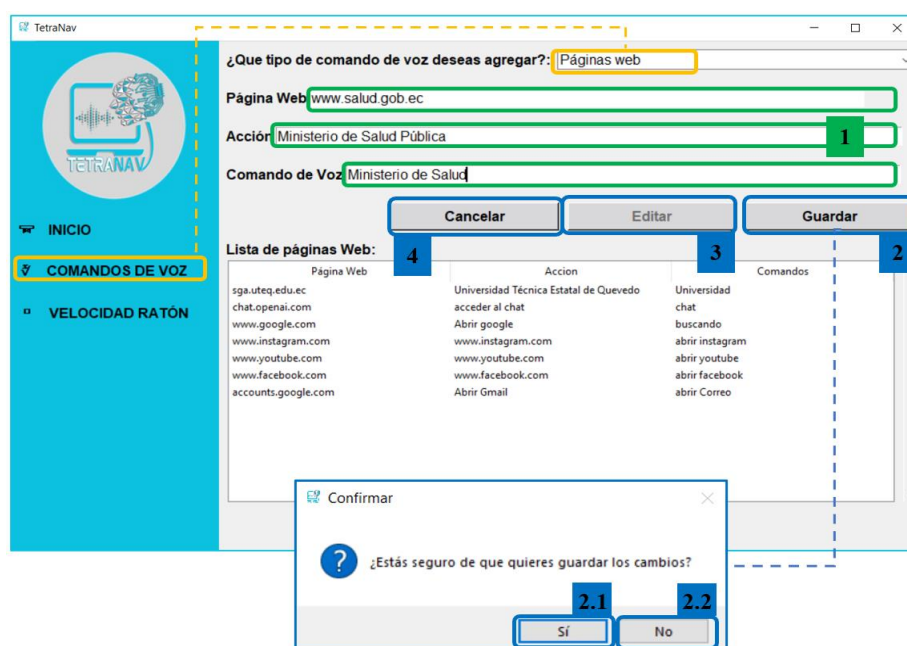
3.2.**No:** Cancelará la operación y se mantendrán las configuraciones anteriores.

4. **Botón cancelar:** Permite al usuario abortar la acción de edición actual y volver a la lista de atajos.

4.3.2.4. Pantalla de comandos de voz, opción "Páginas web".

En la Figura 18, se visualiza la pantalla de configuración de las "páginas web" dentro de la sección de comandos de voz del sistema TetraNav. Esta pantalla permite al usuario personalizar los comandos de voz según su preferencia.

Figura 18. Pantalla de comandos de voz, opción "Páginas web"



Elaboración: Autor

A continuación, se detalla brevemente la funcionalidad de cada componente de esta pantalla:

1. **Campos de entrada:** El usuario tiene la opción de ingresar una nueva página web de su elección. Este proceso involucra completar los siguientes campos:

Página web: Aquí se introduce la URL o el nombre de la página web que se desea abrir mediante el comando de voz.

Acción: En este campo se define la acción que activará el comando de voz, como por ejemplo "Abrir página web".

Comando de voz: El usuario especifica la frase o palabra clave que utilizará para ejecutar la acción deseada.

2. **Botón guardar:** Facilita guardar la nueva página web. Al dar clic en este botón, aparece un cuadro de diálogo que plantea la siguiente pregunta al usuario: "¿Estás seguro de que quieres guardar los cambios?". Este paso requiere una confirmación para proceder.

Botones de confirmación de cambios:

2.1.Sí: El sistema guardará la nueva página web. Una vez confirmados, los cambios se reflejarán en la lista de páginas web.

2.2.No: Cancelará la operación y se mantendrán las configuraciones anteriores.

En caso de realizar la acción de editar, realizar los siguientes pasos:

Lista de atajos predefinidos: Se visualiza una lista de atajos de teclado que están asociados a una acción y a un comando de voz. El usuario debe seleccionar uno para personalizarlo.

Campos de entrada:

Los campos correspondientes a "Atajo de Teclado" y "Acción" están bloqueados para evitar modificaciones involuntarias. El usuario puede editar únicamente el campo "Comando de Voz" según sus preferencias.

3. **Botón editar:** Facilita la modificación de los comandos de voz seleccionados. Al dar clic en este botón, aparece un cuadro de diálogo que plantea la siguiente pregunta al usuario: "¿Estás seguro de que quieres guardar los cambios?". Este paso requiere una confirmación para proceder.

Botones de confirmación de cambios:

3.1.Sí: El sistema guardará las modificaciones en los comandos de voz. Una vez confirmados, los cambios se reflejarán en la lista de páginas web.

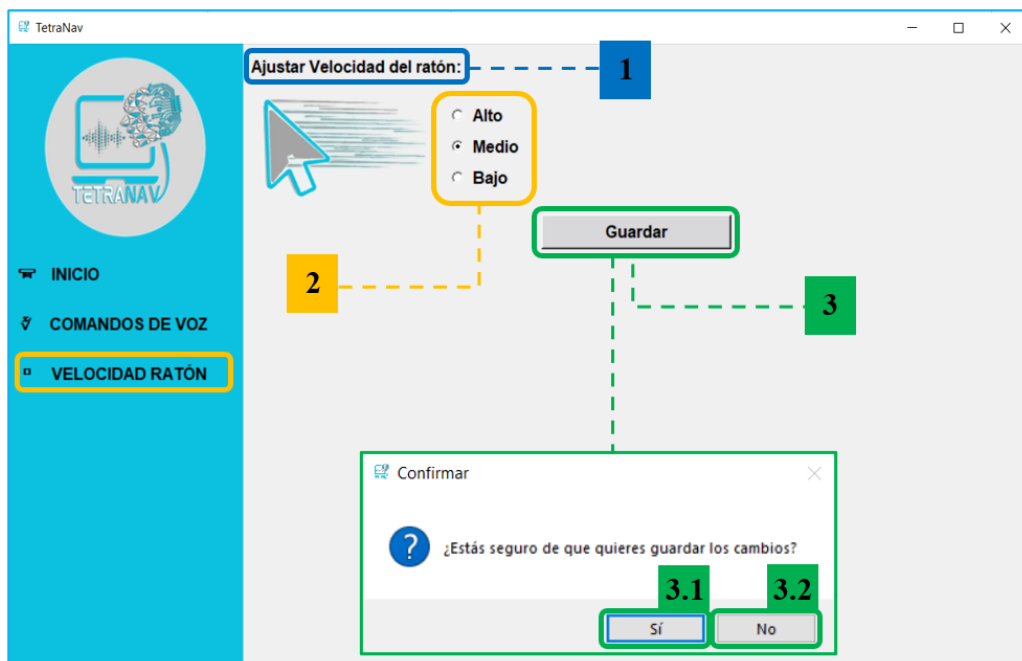
3.2.No: Cancelará la operación y se mantendrán las configuraciones anteriores.

- 4. Botón cancelar:** Permite al usuario abortar la acción de edición actual y volver a la lista de atajos.

4.3.2.5. Pantalla de configuración velocidad del ratón.

En la Figura 19, se visualiza la pantalla de configuración de la “Velocidad ratón” del sistema TetraNav. La pantalla se compone de una pregunta orientativa, con 3 selecciones referentes a la velocidad del ratón y un botón.

Figura 19. Pantalla de velocidad ratón



Elaboración: Autor

A continuación, se detalla brevemente la funcionalidad de cada componente de esta pantalla:

- 1. Barra de título:** Se visualiza una pregunta: "¿Qué tipo de comando de voz deseas agregar?", dirigiendo al usuario hacia la acción a seguir.
- 2. Opciones de velocidad:** Se muestran tres selecciones “Alto”, “Medio”, “Bajo”, las cuales, a preferencia del usuario, deben elegir una opción. En caso de no desear, simplemente puede realizar otra acción o ir a otra configuración.
- 3. Botón guardar:** Facilita guardar la nueva configuración de la velocidad del ratón. Al dar clic en este botón, aparece un cuadro de diálogo que plantea la

siguiente pregunta al usuario: "¿Estás seguro de que quieres guardar los cambios?". Este paso requiere una confirmación para proceder.

Botones de confirmación de cambios:

3.1.Sí: El sistema guardará la nueva configuración de la velocidad del ratón. Una vez confirmados, los cambios se reflejarán en el movimiento del cursor del ratón.

3.2.No: Cancelará la operación y se mantendrá la configuración anterior.

4.4. Conclusiones y recomendaciones

4.4.1. Conclusiones

- El análisis detallado de las dificultades específicas que enfrentaban las personas con Tetraplejía al utilizar la computadora. Dicho análisis resultó crucial para determinar las funcionalidades principales que el sistema TetraNav debía integrar. Por consiguiente, se aseguró que el sistema fuera adecuadamente adaptado y centrado en atender las necesidades de estos usuarios.
- El uso del modelo espiral para el desarrollo de TetraNav permitió una aproximación controlada ante los riesgos, facilitando una evolución del sistema guiada por la retroalimentación del usuario en cada fase e iteración de la metodología. La integración de tecnologías de inteligencia artificial, como el reconocimiento de voz y seguimiento del movimiento de la cabeza, optimizó la interacción entre el usuario y la computadora, adaptándola a sus capacidades.
- La implementación de evaluaciones continuas a lo largo del proceso de desarrollo dentro de la metodología permitió ajustar el sistema para mejorar su aceptación y adaptabilidad. Aunque el uso de la encuesta SUS en un único usuario no es lo ideal, su aplicación ofreció una visión clara sobre la aceptación del sistema, obteniendo una calificación de 'B', lo que indica una adaptación positiva y prometedora de TetraNav.

4.4.2. Recomendaciones

- Incorporar nuevas funcionalidades es crucial para expandir las capacidades de TetraNav para cubrir un espacio más amplio de necesidades, especialmente para aquellos con condiciones más severas. Añadir nuevos comandos y funcionalidades mejorará significativamente la experiencia del usuario, facilitando una adaptación más amplia.

- Explorar y adoptar avances en tecnologías y métodos de interacción puede enriquecer aún más TetraNav, mejorando la precisión, velocidad, y facilidad de uso del sistema.
- Evaluaciones con un grupo más amplio de usuario, aunque el grupo de usuarios con Tetraplejía es limitado, expandir las pruebas para incluir a un mayor número de participantes permitiría recoger datos más representativos, facilitando ajustes más significativos y mejorando la respuesta del sistema a una gama más amplia de necesidades.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

- [1] I. Bromley, “Tetraplegia and Paraplegia a Guide For Physiotherapists,” *Churchill Livingstone Elsevier*, vol. Sixth Edit, 2006.
- [2] M. Blasco Gimenez, E. Carretero Rodriguez, and D. Perez Cruzado, “Quality of Life and Autonomy in Activities of Daily Life of Spinal Cord Injury Patients,” vol. 18, no. 4, pp. 30–38, 2021.
- [3] L. Fonseca, D. Guiraud, A. Hiairassary, C. Fattal, and C. Azevedo-Coste, “A Residual Movement Classification Based User Interface for Control of Assistive Devices by Persons With Complete Tetraplegia,” *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 30, pp. 569–578, 2022, doi: 10.1109/TNSRE.2022.3156269.
- [4] M. N. Sahadat, A. Alreja, and M. Ghovanloo, “Simultaneous Multimodal PC Access for People with Disabilities by Integrating Head Tracking, Speech Recognition, and Tongue Motion,” *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.*, vol. 12, no. 1, pp. 192–201, Feb. 2018, doi: 10.1109/TBCAS.2017.2771235.
- [5] Z. P. Bian, J. Hou, L. P. Chau, and N. Magnenat-Thalmann, “Facial Position and Expression-Based Human-Computer Interface for Persons with Tetraplegia,” *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 20, no. 3, pp. 915–924, May 2016, doi: 10.1109/JBHI.2015.2412125.
- [6] E. Bárbara-Bataller, J. L. Méndez-Suárez, C. Alemán-Sánchez, T. Ramírez-Lorenzo, and M. Sosa-Henríquez, “Epidemiology of traumatic spinal cord injury in Gran Canaria,” *Neurocirugia*, vol. 28, no. 1, pp. 15–21, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.NEUCIR.2016.08.002.
- [7] M. Mohammadi, H. Knoche, B. Bentsen, M. Gaihede, and L. N. S. Andreasen Struijk, “A pilot study on a novel gesture-based tongue interface for robot and computer control,” *Proc. - IEEE 20th Int. Conf. Bioinforma. Bioeng. BIBE 2020*, pp. 906–913, Oct. 2020, doi: 10.1109/BIBE50027.2020.00154.
- [8] B. S. K. K. Ibrahim and F. Sherwani, “Brain computer interface based functional electrical stimulation: An outline,” *2014 IEEE 19th Int. Funct. Electr. Stimul. Soc. Annu. Conf. IFESS 2014 - Conf. Proc.*, Feb. 2014, doi: 10.1109/IFESS.2014.7036766.
- [9] M. Hildebrand *et al.*, “Semi-autonomous tongue control of an assistive robotic arm for individuals with quadriplegia,” *IEEE Int. Conf. Rehabil. Robot.*, vol. 2019-June, pp. 157–162, Jun. 2019, doi: 10.1109/ICORR.2019.8779457.
- [10] K. Hameed, S. M. Ali, and U. Ali, “An Approach to design Keyboard and Mouse assisting device for handicap users,” *2022 IEEE Int. IOT, Electron. Mechatronics*

- Conf. Iemtronics 2022*, 2022, doi: 10.1109/IEMTRONICS55184.2022.9795791.
- [11] F. O. Medola, J. Lanutti, C. G. Bentim, A. Sardella, A. E. Franchinni, and L. C. Paschoarelli, "Experiences, problems and solutions in computer usage by subjects with Tetraplegia," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 9187, pp. 131–137, 2015, doi: 10.1007/978-3-319-20898-5_13/FIGURES/1.
 - [12] L. Fonseca, A. Bo, D. Guiraud, B. Navarro, A. Gelis, and C. Azevedo-Coste, "Investigating Upper Limb Movement Classification on Users with Tetraplegia as a Possible Neuroprosthesis Interface," *Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS*, vol. 2018-July, pp. 5053–5056, Oct. 2018, doi: 10.1109/EMBC.2018.8513418.
 - [13] J. D. Simeral *et al.*, "Home use of a percutaneous wireless intracortical brain-computer interface by individuals with tetraplegia," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 68, no. 7, pp. 2313–2325, Jul. 2021, doi: 10.1109/TBME.2021.3069119.
 - [14] L. P. De Oliveira, M. A. Wehrmeister, and A. S. De Oliveira, "Systematic Literature Review on Automotive Diagnostics," *Brazilian Symp. Comput. Syst. Eng. SBESC*, vol. 2017-Novem, pp. 1–8, Nov. 2017, doi: 10.1109/SBESC.2017.7.
 - [15] F. Kong, M. N. Sahadat, M. Ghovanloo, and G. D. Durgin, "A Stand-Alone Intraoral Tongue-Controlled Computer Interface for People with Tetraplegia," *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.*, vol. 13, no. 5, pp. 848–857, Oct. 2019, doi: 10.1109/TBCAS.2019.2926755.
 - [16] J. M.-D. la Cruz, C. Ferrin-Bolaños, D. Santander-Ariza, K. Rosero-Ramos, M. Libreros-Segura, and H. Loaiza-Correa, "Voice recognition system to control the whatsapp application for people with motor disabilities," *Rev. Lumen Gentium*, vol. 4, no. 2, pp. 101–115, Apr. 2021, doi: 10.52525/lg.v4n2a8.
 - [17] J. Abascal, "Human-computer interaction in assistive technology: From 'patchwork' to 'universal design,'" *Proc. IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern.*, vol. 3, pp. 404–409, 2002, doi: 10.1109/ICSMC.2002.1176076.
 - [18] S. Hadzovic, L. Becirspahic, and H. Omeragic, "ICT Accessibility for Persons with Disabilities," *2022 45th Jubil. Int. Conv. Information, Commun. Electron. Technol. MIPRO 2022 - Proc.*, pp. 434–437, 2022, doi: 10.23919/MIPRO55190.2022.9803403.
 - [19] "Salud y Bienestar - Desarrollo Sostenible." <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/health/> (accessed Dec. 02, 2023).

- [20] “Reducir las desigualdades entre países y dentro de ellos - Desarrollo Sostenible.” <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/inequality/> (accessed Dec. 02, 2023).
- [21] J. C. Perry, J. Rosen, and S. Burns, “Upper-Limb Powered Exoskeleton Design,” *IEEE/ASME Trans. MECHATRONICS*, vol. 12, no. 4, 2007, doi: 10.1109/TMECH.2007.901934.
- [22] J. Harika, P. Baleeshwar, K. Navya, and H. Shanmugasundaram, “A Review on Artificial Intelligence with Deep Human Reasoning,” *Proc. - Int. Conf. Appl. Artif. Intell. Comput. ICAAIC 2022*, pp. 81–84, 2022, doi: 10.1109/ICAAIC53929.2022.9793310.
- [23] M. K. Islam Zim, “OpenCV and Python for Emotion Analysis of Face Expressions,” *Proc. 2023 3rd Int. Conf. Innov. Pract. Technol. Manag. ICIPTM 2023*, 2023, doi: 10.1109/ICIPTM57143.2023.10118007.
- [24] M. Mirdanies, E. Yazid, R. A. Ardiansyah, and Y. Sulaeman, “The Development of Human Machine Interface (HMI) Based Graphical User Interface (GUI) for Telecontrol System of a Ship Mounted Two-DoF Manipulator,” *Proceeding - 2022 Int. Conf. Radar, Antenna, Microwave, Electron. Telecommun. Emerg. Sci. Ind. Innov. Electron. Telecommun. ICRAMET 2022*, pp. 212–218, 2022, doi: 10.1109/ICRAMET56917.2022.9991234.
- [25] G. G. Toribio *et al.*, “Measuring the usability of the design of user interface with the Heuristic Evaluation Method: two case studies,” *Rev. Colomb. Comput.*, vol. 20, no. 1, pp. 23–40, 2019, doi: 10.29375/25392115.3605.
- [26] B. W. Boehm, “A Spiral Model of Software Development and Enhancement,” *Computer*, vol. 21, no. 5, pp. 61–72, 1988. doi: 10.1109/2.59.
- [27] R. Pressman, *Ingeniería del Software. Un enfoque práctico*. 2002.
- [28] J. M. Archajo and R. De Deus Lopes, “Human-computer interface controlled by the lip,” *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 19, no. 1, pp. 302–308, Jan. 2015, doi: 10.1109/JBHI.2014.2305103.
- [29] V. S. Vasisht, S. Joshi, Shashidhar, Shreedhar, and C. Gururaj, “Human computer interaction based eye controlled mouse,” *Proc. 3rd Int. Conf. Electron. Commun. Aerosp. Technol. ICECA 2019*, pp. 362–367, Jun. 2019, doi: 10.1109/ICECA.2019.8822033.
- [30] R. Islam, S. Rahman, and A. Sarkar, “Computer vision based eye gaze controlled virtual keyboard for people with quadriplegia,” *2021 Int. Conf. Autom. Control Mechatronics Ind. 4.0, ACMI 2021*, Jul. 2021, doi:

10.1109/ACMI53878.2021.9528213.

- [31] M. F. R. Al-Okby, S. Neubert, N. Stoll, and K. Thurow, “Low-cost, flexible, and reliable hybrid wheelchair controller for patients with tetraplegia,” *2019 IEEE Int. Conf. Cyborg Bionic Syst. CBS 2019*, pp. 177–183, Sep. 2019, doi: 10.1109/CBS46900.2019.9114524.
- [32] M. A. M. Azraai, S. Z. Yahaya, I. A. Chong, Z. H. C. Soh, Z. Hussain, and R. Boudville, “Head Gestures Based Movement Control of Electric Wheelchair for People with Tetraplegia,” *ICCSCE 2022 - Proc. 2022 12th IEEE Int. Conf. Control Syst. Comput. Eng.*, pp. 163–167, 2022, doi: 10.1109/ICCSCE54767.2022.9935646.
- [33] M. Baklouti, S. Couvet, and E. Monacelli, “Intelligent Camera Interface (ICI): A challenging HMI for disabled people,” *Proc. 1st Int. Conf. Adv. Comput. Interact. ACHI 2008*, pp. 21–25, 2008, doi: 10.1109/ACHI.2008.49.
- [34] Q. Wang and G. Guo, “AAN-Face: Attention Augmented Networks for Face Recognition,” *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 30, pp. 7636–7648, 2021, doi: 10.1109/TIP.2021.3107238.
- [35] H. J. Mun and M. H. Lee, “Design for Visitor Authentication Based on Face Recognition Technology Using CCTV,” *IEEE Access*, vol. 10, no. October, pp. 124604–124618, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3223374.
- [36] C. Le and T. K. Mohd, “Facial Detection in Low Light Environments Using OpenCV,” *2022 IEEE World AI IoT Congr. AIIoT 2022*, pp. 624–628, 2022, doi: 10.1109/AIIOT54504.2022.9817372.
- [37] M. Al-Qawasmi, N. Mekhiel, K. Bannor, and B. C. Devakumar, “Batch Image Processing in Facial Detection Applications,” *Proc. 2nd IEEE Int. Conf. Comput. Intell. Knowl. Econ. ICCIKE 2021*, pp. 475–480, Mar. 2021, doi: 10.1109/ICCIKE51210.2021.9410789.
- [38] M. Singh, “Single Stage Facial Recognition based on YOLOv5,” *16th Int. Conf. Innov. Intell. Syst. Appl. INISTA 2022*, pp. 1–6, 2022, doi: 10.1109/INISTA55318.2022.9894153.
- [39] C. S. Manasa, K. Jeeva Priya, and D. Gupta, “Comparison of acoustical models of GMM-HMM based for speech recognition in Hindi using PocketSphinx,” *Proc. 3rd Int. Conf. Comput. Methodol. Commun. ICCMC 2019*, no. Iccmc, pp. 534–539, 2019, doi: 10.1109/ICCMC.2019.8819747.
- [40] D. L. Hernandez-Romero, E. T. Garcia, P. Arguijo, and R. A. Melendez-Armenta, “Gamification with Natural Language Processing for Educational Videogame

- Modeling,” *2023 IEEE Int. Conf. Eng. Veracruz, ICEV 2023*, 2023, doi: 10.1109/ICEV59168.2023.10329685.
- [41] V. Bhardwaj, S. Bala, V. Kadyan, and V. Kukreja, “Development of Robust Automatic Speech Recognition System for Children’s using Kaldi Toolkit,” *Proc. 2nd Int. Conf. Inven. Res. Comput. Appl. ICIRCA 2020*, pp. 10–13, 2020, doi: 10.1109/ICIRCA48905.2020.9182941.
- [42] M. Cai, Y. Shi, and J. Liu, “Deep maxout neural networks for speech recognition,” *2013 IEEE Work. Autom. Speech Recognit. Understanding, ASRU 2013 - Proc.*, pp. 291–296, 2013, doi: 10.1109/ASRU.2013.6707745.
- [43] Visual Studio Code, “Visual Studio Code - Code Editing. Redefined,” *Code Editing*, 2015. <https://code.visualstudio.com/> (accessed Dec. 05, 2023).
- [44] Python, “Download Python | Python.org,” *Python*, 2014. <https://www.python.org/downloads/> (accessed Dec. 05, 2023).
- [45] Python, “sqlite3 — DB-API 2.0 interfaz para bases de datos SQLite,” *documentación de Python - 3.8.17*, 2000. <https://docs.python.org/es/3.8/library/sqlite3.html> (accessed Dec. 05, 2023).
- [46] Python, “tkinter — Python interface to Tcl/Tk,” *Python 3.12.0 documentation*, 2007. <https://docs.python.org/3/library/tkinter.html> (accessed Dec. 05, 2023).
- [47] “OpenCV - Open Computer Vision Library.” <https://opencv.org/> (accessed Feb. 10, 2024).
- [48] “VOSK Offline Speech Recognition API.” <https://alphacephei.com/vosk/> (accessed Feb. 10, 2024).
- [49] A. Haidar, F. Dumiyanti, M. A. Dewi, and S. G. Rabiha, “Usability Evaluation of Mobile Travoy Application Using the System Usability Scale (SUS) Method (Case Study: PT Jasamarga Tollroad Operator),” pp. 1–6, Feb. 2024, doi: 10.1109/ICCED60214.2023.10425431.
- [50] Windows Accessibility, “Windows 11 Accessibility Features | Microsoft.” <https://www.microsoft.com/en-us/windows/accessibility-features> (accessed Apr. 09, 2024).
- [51] Dragon Professional, “Reconocimiento de voz Dragon Professional, v16 | Nuance ES.” <https://www.nuance.com/es-es/dragon/business-solutions/dragon-professional.html> (accessed Apr. 09, 2024).
- [52] JAWS, “JAWS® — Freedom Scientific.” <https://www.freedomscientific.com/products/software/jaws/> (accessed Apr. 09, 2024).

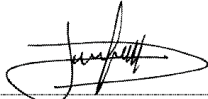
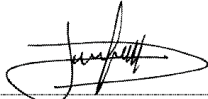
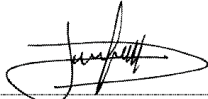
2024).

- [53] Tobii Dynavox, “Tobii Dynavox ES: Tecnologías para la comunicación.” <https://es.tobiidynavox.com/> (accessed Apr. 09, 2024).
- [54] Mouse Camera, “Camera Mouse.” <http://www.cameramouse.org/> (accessed Apr. 09, 2024).

ANEXOS

5.1. Consentimiento informado

Anexo 1. Consentimiento informado para la participación en el proyecto.

	Universidad Técnica Estatal de Quevedo Facultad de Ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería en Software			
Fecha: 06 de agosto del 2023				
CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPACIÓN EN EL PROYECTO				
Estimado(a) participante:				
Yo, Rubén Paz, en pleno uso de mis facultades mentales y actuando de manera voluntaria, otorgo mi consentimiento para participar en el proyecto tecnológico titulado "Manejo de las aplicaciones de un computador centrado en personas con Tetraplejía", bajo la dirección de Jimmy Lauro López Bustamante, en representación de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. El propósito de este proyecto es obtener los requisitos necesarios para el desarrollo de un sistema a través de entrevistas y pruebas, adaptándose a las necesidades específicas del sistema en cuestión. Mi participación en el proyecto implica usar el sistema y proporcionar retroalimentación sobre sus funcionalidades para ajustar los modelos a implementar. Las entrevistas y pruebas se llevarán a cabo en mi hogar y tendrán una duración estimada de 30 minutos. La información recopilada se mantendrá confidencial y no se utilizarán nombres personales en ningún informe o publicación. No hay riesgos involucrados, y podría beneficiarme al usar el sistema para fines personales. Tengo el derecho de retirarme del proyecto en cualquier momento sin consecuencias negativas, y puedo comunicarme con el Ing. Gleiston Cicerón Guerrero Ulloa MDS a través del correo electrónico gguerrero@uteq.edu.ec si tengo alguna inquietud relacionada con el proyecto. Comprendo completamente la información proporcionada anteriormente y consiento voluntariamente en participar en el proyecto "Manejo de las aplicaciones de un computador centrado en personas con Tetraplejía". Los nombres, apellidos, cédula y firma corresponderán a mi representante, en este caso, mi esposa, ya que debido a mi discapacidad no puedo realizar la firma.				
<table style="width: 100%; border: none;"><tr><td style="width: 50%; border-top: 1px solid black; text-align: center;">Mercy Cecilia Eras Soto C.I.: 0704944941 Esposa</td><td style="width: 50%; border-top: 1px solid black; text-align: center;"> Jimmy Lauro Lopez Bustamante C.I.: 0705001519 Estudiante de Software</td></tr></table>			Mercy Cecilia Eras Soto C.I.: 0704944941 Esposa	 Jimmy Lauro Lopez Bustamante C.I.: 0705001519 Estudiante de Software
Mercy Cecilia Eras Soto C.I.: 0704944941 Esposa	 Jimmy Lauro Lopez Bustamante C.I.: 0705001519 Estudiante de Software			

5.2. Documento para la entrevista

Anexo 2. Documento de la entrevista realizada a los usuarios con Tetraplejía

	Universidad Técnica Estatal de Quevedo Facultad de Ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería en Software	
ENTREVISTA INICIAL DE REQUISITOS DEL SISTEMA		
Propósito de la entrevista		
El propósito de esta entrevista es comprender mejor su experiencia y necesidades en relación con el uso de la computadora, especialmente en el contexto de su condición de Tetraplejía. Deseo recopilar información detallada sobre cómo interactúa con la tecnología actualmente, las dificultades que enfrenta y las funciones que te gustaría poder realizar. Esta información será fundamental para diseñar un sistema de accesibilidad computacional que se adapte de manera eficiente a sus necesidades y le permitirá interactuar de manera efectiva con la computadora. <i>El texto en cursiva es la explicación por parte del encuestador sobre lo observado.</i>		
Preguntas		
1. ¿Si se siente cómodo, podría comentarme sobre su situación de discapacidad? 2. ¿Qué tipo de experiencia tiene usted en el uso de computadoras o dispositivos móviles? 3. ¿Qué herramientas específicas utiliza que le faciliten su interacción con la computadora? 4. ¿Cuáles son las principales dificultades que encuentra al interactuar con la computadora? 5. En su experiencia, ¿qué aspecto relacionado con el uso de la computadora encuentra más desafiante y por qué? 6. ¿Qué actividades o tareas en particular le gustaría realizar usando la computadora pero que actualmente no puede hacerlas? 7. ¿Ha analizado alguna solución de accesibilidad existente para usar la computadora? 8. Desde su perspectiva, ¿qué características cree que serían especialmente útiles en un sistema de accesibilidad que le pueda ayudar a mejorar la interacción con la computadora? 9. ¿Tiene alguna idea sobre cómo debería funcionar un sistema de accesibilidad específicamente para las personas que se encuentren en su situación? 10. ¿Qué tan importante es para usted tener independencia al interactuar con la computadora? 11. ¿Hay algún movimiento o gesto específico de su cabeza que encuentra más cómodo y que cree que podría ser utilizado para controlar un periférico de interacción con la computadora?		

5.3. Cuestionario de evaluación

Anexo 3. Cuestionario de evaluación del sistema con el usuario

 UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA EN SOFTWARE 			
EVALUACION DEL SISTEMA CON EL USUARIO			
ASPECTOS GENERALES			
Sesión numero	001	Fecha:	
Sistema	Manejo de las aplicaciones de un computador centrado en personas con tetraplejía		
Usuario	Erwin Rubén Paz Vásquez		
Tutora	Mercy Cecilia Eras Soto		
Evaluador	Jimmy Lauro Lopez Bustamante		
Equipo usado	Laptop con sistema operativo Windows 8		
EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO			
Efectividad	¿Qué tan satisfecho está con la eficacia del sistema en términos de lograr resultados deseados durante la sesión?		
	☐	Totalmente satisfecho	☐ Insatisfecho
	☐	Satisfecho	☐ Totalmente Insatisfecho
	☐	Algo Satisfecho	☐
	Observaciones		
Facilidad de Uso	¿Cómo calificaría la facilidad con la que pudo realizar las acciones y tareas en el sistema?		
	☐	Muy Facil	☐ Difícil
	☐	Fácil	☐ Muy Difícil
	☐	Regular	☐
	Observaciones		
Adaptabilidad	¿Cómo ha experimentado la capacidad del sistema para adaptarse a sus necesidades y preferencias durante la sesión?		
	☐	Totalmente satisfecho	☐ Insatisfecho
	☐	Satisfecho	☐ Totalmente Insatisfecho
	☐	Algo Satisfecho	☐
	Observaciones		
Calidad	¿Qué experiencia ha tenido con los comandos de voz?		
	☐	Excelente	☐ Mala
	☐	Buena	☐ Pésima
	☐	Regular	☐
	Observaciones		

	¿Qué experiencia ha tenido con el movimiento del cursor del mouse?		
	Excelente		Mala
	Buena		Pésima
	Regular		
	Observaciones		
Errores	¿Ha experimentado con frecuencia situaciones en las que el sistema presenta fallos o errores?		
	Nunca		Cada mes
	Casi nunca		Una vez a la semana
	Ocasionalmente		
	Observaciones		
RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN			
Recomendaciones			
Mejoras			
Seguimiento			
_____ Mercy Cecilia Eras Soto Esposa representante de Sr. Erwin Rubén Paz Vásquez		_____ Jimmy Lauro López Bustamante Estudiante de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo	

5.4. Cuestionario Sistema de Usabilidad del Software (SUS)

Anexo 4. Cuestionario SUS



Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Carrera de Ingeniería en Software



Cuestionario de Sistema de Usabilidad del Software (SUS)

Antes de proceder al cuestionario, le pedimos amablemente que lea cuidadosamente cada pregunta y responda con la mayor precisión posible. Sus respuestas serán tratadas con la máxima confidencialidad y solo se utilizarán con fines de mejorar la calidad del sistema TetraNav.

#	Preguntas	1	2	3	4	5
1	Me gustaría usar el sistema frecuentemente.					
2	Encontré el sistema innecesariamente complejo.					
3	Pienso que el sistema fue fácil de usar.					
4	Necesitaría el apoyo de un técnico/profesor para utilizar el sistema.					
5	Encontré que las diversas funciones del sistema fueron bien integradas					
6	Pienso que había demasiadas inconsistencias en el sistema.					
7	Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a usar rápidamente el sistema.					
8	Encontré un sistema muy difícil de usar.					
9	Me sentí muy cómodo usando el sistema.					
10	Necesito aprender muchas cosas antes de utilizar el sistema.					

5.5. Entrevista realizada a la persona con Tetraplejía

Anexo 5. Entrevista realizada con el estudio de caso



5.6. Usuario antes de utilizar TetraNav.

Anexo 6. Usuario interactuando con la computadora mediante una barita



5.7. Usuario utilizando TetraNav actualmente

Anexo 7. Usuario interactuando con la computadora utilizando TetraNav



5.8. Logo TetraNav

Anexo 8. Logo del sistema TetraNav.



Lomo:

Manejo de las aplicaciones de un computador centrado en personas con
Tetraplejía

2024