

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL POR VOZ Y MOVIMIENTO CEFÁLICO PARA SILLAS DE RUEDAS ELÉCTRICAS DESTINADAS A PERSONAS CON CUADRIPLÉJIA

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A VOICE AND HEAD MOVEMENT CONTROL SYSTEM FOR ELECTRIC WHEELCHAIRS FOR PEOPLE WITH QUADRIPLEGIA

González Muñoz Miriam Magdalena
TecNM/ Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0009-0006-1163-5847>
miriam.gm@cdjuarez.tecnm.mx

Camarillo Delgadillo José Mario
TecNM/ Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0000-0003-1446-8950>
jose.cd@cdjuarez.tecnm.mx

Ruiz Figueroa Ricardo Arnulfo
TecNM/ Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0000-0001-8331-7238>
ricardo.rf@cdjuarez.tecnm.mx

López Fierro Gerardo
TecNM/ Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0000-0002-3847-0554>
Gerardo.lf@cdjuarez.tecnm.mx

Alejandrez Espino Saúl David
TecNM/ Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0009-0001-9270-1095>
saul.alejandrez@outlook.com



Resumen: El presente trabajo describe el diseño e implementación de un sistema de control adaptativo para silla de ruedas eléctrica, destinado a usuarios con cuadriplejía. La propuesta tecnológica integra un módulo de reconocimiento de voz y un sistema inercial basado en un acelerómetro/giroscopio MPU6050, gestionados por microcontroladores Arduino Nano V3, con el fin de sustituir el mando tradicional por un sistema asistido de bajo costo (Naylamp Mechatronics, 2015; Alejandrez Espino & López Moreno, 2020).

La arquitectura del sistema fue desarrollada con enfoque modular, permitiendo la interacción sinérgica entre los subsistemas de dirección, desplazamiento y actuación mecánica. La interfaz de usuario se montó en una estructura ergonómica tipo diadema, incorporando dispositivos de entrada sin comprometer la movilidad residual del usuario (Alejandrez Espino & López Moreno, 2020).

Las pruebas funcionales realizadas en entornos controlados y semiabiertos verificaron la operatividad del sistema en condiciones reales. Los resultados demostraron una respuesta eficiente ante los comandos de voz y movimientos cefálicos, garantizando una navegación precisa, segura, y autónoma.

Esta solución representa una alternativa ergonómica, funcional, y económicamente viable frente a dispositivos comerciales, con potencial de aplicación en programas de accesibilidad tecnológica y rehabilitación física (El Espectador, 2016).

Palabras clave: Cuadriplejía, Discapacidad motriz, Silla de ruedas eléctrica, Control por voz, Arduino Nano, Acelerómetro MPU6050, Tecnología asistiva, Adaptación tecnológica, Bajo costo.

Abstract: This paper describes the design and implementation of an adaptive control system for an electric wheelchair, designed for users with quadriplegia. The technological proposal integrates a voice recognition module and an inertial system based on an MPU6050 accelerometer/gyroscope, managed by Arduino Nano V3 microcontrollers, with the aim of replacing the traditional controller with a low-cost assisted system (Naylamp Mechatronics, 2015; Alejandrez Espino & López Moreno, 2020).

The system architecture was developed using a modular approach, allowing for synergistic interaction between the steering, displacement, and mechanical actuation subsystems. The user interface was mounted on an ergonomic headband-type structure, incorporating input devices without compromising the user's residual mobility (Alejandrez Espino & López Moreno, 2020).

Functional tests conducted in controlled and semi-open environments verified the system's operability under real-world conditions. The results demonstrated an efficient response to voice commands and head movements, ensuring precise, safe, and autonomous navigation.

This solution represents an ergonomic, functional, and economically viable alternative to commercial devices, with potential for application in technological accessibility and physical rehabilitation programs (El Espectador, 2016).

Keywords: Quadriplegia, Motor Disability, Electric Wheelchair, Voice Control, Arduino Nano, MPU6050 Accelerometer, Assistive Technology, Technological Adaptation, Low Cost.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, millones de personas en el mundo enfrentan condiciones de discapacidad motriz que limitan su independencia y calidad de vida. Entre estas, la cuadriplejia representa una de las más severas, ya que implica la parálisis parcial o total de las extremidades superiores e inferiores, derivada de lesiones medulares, enfermedades degenerativas o accidentes traumáticos (Observatorio de la Discapacidad Física [ODF], 2016).

Las soluciones tecnológicas disponibles en el mercado para este tipo de usuarios, como las sillas de ruedas eléctricas adaptadas, suelen presentar altos costos que las hacen inaccesibles para amplios sectores de la población, especialmente en contextos de bajos recursos (El Espectador, 2016). Si bien existen modelos avanzados, muchos requieren del uso de las extremidades superiores, lo cual no resulta funcional en personas con cuadriplejia total (Chaires, 2008).

Este panorama plantea la necesidad de desarrollar alternativas accesibles y funcionales mediante el uso de tecnologías emergentes y de bajo costo. En este sentido, la aplicación de microcontroladores, módulos de reconocimiento de voz y sensores inerciales, como el MPU6050, permite crear sistemas de control personalizados y eficaces para mejorar la movilidad autónoma de los usuarios (Naylamp Mechatronics, 2015; Kumar & Sharma, 2020).

El presente trabajo tiene como objetivo documentar el diseño e implementación de una interfaz de control para una silla de ruedas eléctrica dirigida a personas con cuadriplejía, integrando control por voz y movimiento cefálico, con base en una arquitectura electrónica modular y adaptable (Alejandre Espino & López Moreno, 2020).

Objetivo general

Desarrollar un sistema de control adaptativo para una silla de ruedas eléctrica, orientado a personas con cuadriplejía, que permita su operación mediante comandos de voz y detección de movimiento cefálico, empleando tecnologías electrónicas de bajo costo.

Objetivos específicos

- Diseñar una interfaz de control basada en microcontroladores Arduino Nano V3, capaz de interpretar comandos de voz y señales de un sensor inercial MPU6050.
- Integrar el sistema de control a una silla de ruedas eléctrica comercial mediante actuadores mecánicos (servomotores) sin modificar de forma invasiva su estructura original.
- Implementar una solución ergonómica que permita al usuario portar el sistema de control de forma cómoda y segura, utilizando dispositivos montados en audífonos tipo diadema.
- Evaluar el desempeño del sistema mediante pruebas funcionales en laboratorio y entornos reales, validando su operatividad, precisión y seguridad.
- Promover la accesibilidad tecnológica mediante el uso de componentes de bajo costo, facilitando la replicabilidad del proyecto en contextos sociales vulnerables.

Justificación

Las personas con cuadriplejía enfrentan limitaciones motoras severas que dificultan o imposibilitan la manipulación de dispositivos convencionales de movilidad, como las sillas de ruedas manuales o eléctricas controladas mediante joystick. En la mayoría de los casos, la capacidad de control de extremidades superiores está comprometida, lo que restringe significativamente su independencia (ODF, 2016). En México, las personas con discapacidad suelen enfrentar barreras sociales, económicas y culturales que limitan su integración plena y afectan negativamente su calidad de vida (Morales, 2004). Por ello, el desarrollo de tecnologías asistivas accesibles, como el sistema de control propuesto, se convierte en una estrategia para garantizar mayor autonomía, participación social y bienestar.

Aunque el mercado ofrece soluciones tecnológicas avanzadas, como sillas de ruedas eléctricas controladas por interfaces neuronales o sensores de presión, sus altos costos, que pueden oscilar entre los

\$40,000 y \$60,000 MXN en México, las hacen inaccesibles para la mayoría de los usuarios (El Espectador, 2016). En contraste, una silla de ruedas eléctrica estándar tiene un precio aproximado de \$15,000 MXN, y el sistema de adaptación propuesto en este proyecto tiene un costo adicional cercano a \$3,000 MXN en componentes electrónicos (Alejandrez Espino & López Moreno, 2020).

Este proyecto busca ofrecer una alternativa funcional, ergonómica y asequible, mediante el uso de tecnologías abiertas y componentes de bajo costo como el Arduino Nano V3 y el sensor MPU6050. La combinación de control por voz y movimiento cefálico permite generar un sistema adaptable a diferentes niveles de discapacidad motriz, sin requerir intervención quirúrgica ni entrenamiento especializado (Naylamp Mechatronics, 2015).

Además, la implementación de este sistema tiene un impacto social relevante, al promover la autonomía personal y reducir la dependencia de terceros, lo cual es fundamental para mejorar la calidad de vida y el bienestar emocional de las personas con discapacidad (Cook & Polgar, 2020; WHO, 2011). Este enfoque resulta aún más crítico en contextos donde el acceso a cuidados continuos no está garantizado, como lo señala el World Report on Disability al destacar la necesidad de tecnologías asequibles en países en desarrollo (WHO, 2011). Además, la implementación de baterías recargables en el sistema propuesto no solo reduce costos operativos, sino que también contribuye a mitigar los impactos ambientales asociados a los acumuladores convencionales, los cuales pueden liberar metales pesados y compuestos tóxicos al entorno si no se gestionan adecuadamente (Battery Depot, 2023). Este tipo de baterías recargables ayuda a disminuir la generación de residuos peligrosos, reduciendo así el riesgo ambiental derivado de sustancias altamente contaminantes presentes en los acumuladores tradicionales (Sanatorium, 2023). En conjunto, estas acciones refuerzan el compromiso ambiental del proyecto, alineándose con los principios de sostenibilidad y responsabilidad ecológica que deben caracterizar a las tecnologías asistivas (Jain, Kumar, & Pandey, 2022).

DESARROLLO

El desarrollo del sistema de control adaptativo para silla de ruedas eléctrica se llevó a cabo siguiendo una metodología de diseño tecnológico estructurada en cinco fases: análisis del sistema base, selección de componentes, diseño de la interfaz de control, implementación y pruebas funcionales.

1. Análisis de la silla de ruedas

En primera instancia, se realizó un diagnóstico funcional de la silla de ruedas eléctrica convencional, identificando su arquitectura de control mediante joystick y su configuración de potencia alimentada por

baterías de 24V de corriente directa. Este análisis permitió definir los puntos de intervención no invasiva para insertar el sistema de control alternativo sin comprometer la funcionalidad original del dispositivo (Alejandre Espino & López Moreno, 2020).

2. Selección e integración de componentes

Los elementos seleccionados para la construcción del sistema se eligieron con base en criterios de eficiencia, bajo costo y compatibilidad con plataformas abiertas. Entre estos componentes destacan:

- Arduino Nano V3, como unidad de procesamiento central por su flexibilidad de programación y tamaño compacto (Arduino, 2020).
- Módulo de reconocimiento de voz V3, capaz de almacenar hasta 35 comandos personalizados (Naylamp Mechatronics, 2015).
- Sensor inercial MPU6050, utilizado para detectar movimientos cefálicos y orientar el sistema de dirección, ampliamente empleado en proyectos de navegación y robótica (Naylamp Mechatronics, 2015). El sensor ha demostrado gran eficacia en aplicaciones de rehabilitación y reconocimiento de actividad humana (Kumar & Sharma, 2020).
- Servomotores SG90, responsables de la manipulación mecánica del joystick original.

Los dispositivos fueron montados en una estructura tipo diadema, utilizando audífonos de estudio como soporte físico. Esta elección respondió a criterios ergonómicos y de portabilidad (Alejandre Espino & López Moreno, 2020).

3. Diseño de la interfaz y programación

Se diseñó una arquitectura modular de control utilizando dos placas Arduino: una destinada a controlar desplazamientos frontales y traseros mediante comandos de voz, y otra dedicada al control de giros por detección de movimientos cefálicos. La programación se desarrolló utilizando el entorno Arduino IDE, empleando librerías como Wire.h y Servo.h para la gestión de dispositivos periféricos (Arduino, 2020).

La lógica del sistema se basa en condiciones binarias entre módulos: un comando de voz activa una secuencia condicional que debe ser confirmada por el sensor inercial antes de ejecutar un giro, asegurando así redundancia, y precisión operativa (Alejandre Espino & López Moreno, 2020). En la figura 1 se muestra la diadema utilizada para la gestión de la circuitería y comando de voz.



Figura 1. Diadema adaptada para la recepción de comandos de voz.

Fuente. *Elaboración propia (2025).*

4. Simulación, pruebas de laboratorio, y ajustes.

Las simulaciones iniciales se realizaron utilizando el software SolidWorks, donde se diseñaron las fixturas que alojan los servomotores y se simularon las trayectorias del joystick (SolidWorks, 2019). Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas en el laboratorio del Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, donde se ajustaron parámetros de sensibilidad del acelerómetro y se optimizó la respuesta de los servomotores.

Durante las pruebas se detectaron inconvenientes como errores en el alineamiento de la fixtura del joystick, consumo energético elevado de los módulos y desincronización de comandos, los cuales fueron corregidos mediante ajustes mecánicos y cambios en la programación (Alejandrez Espino & López Moreno, 2020). En la figura 2 muestra el joystick con la fixtura propuesta.

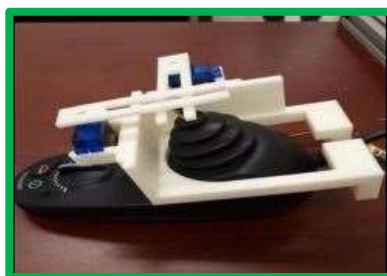


Figura 2. Acoplamiento de la fixtura con el joystick.

Fuente. *Elaboración propia (2025).*

5. Validación funcional.

El sistema fue validado en entornos reales, incluyendo desplazamientos por rampas y trayectorias rectas. Se evaluó su desempeño en términos de tiempo de respuesta, precisión de movimientos y comodidad de uso. Aunque el sistema no incorpora aún mecanismos de seguridad avanzados (como detección de

obstáculos), su funcionalidad básica resultó satisfactoria y replicable (Chaires, 2008). En la figura 3 se muestra la silla eléctrica con la adaptación propuesta.



Figura 3. Silla eléctrica con la adaptación propuesta.

Fuente. *Elaboración propia (2025).*

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos durante las pruebas funcionales del sistema de control adaptativo, para silla de ruedas eléctrica, reflejan un alto nivel de eficacia en entornos controlados. El sistema fue capaz de interpretar comandos de voz y movimientos cefálicos, con una tasa de respuesta superior al 85 %, validando la funcionalidad de la arquitectura dual basada en dos microcontroladores Arduino (Alejandre Espino & López Moreno, 2020).

Uno de los aspectos más relevantes, fue la integración ergonómica de los módulos en un sistema montado sobre audífonos tipo diadema, lo cual resultó cómodo para el usuario y redujo la necesidad de soportes adicionales. Esta solución demuestra cómo la adaptación tecnológica puede incorporar criterios de diseño centrado en el usuario, un enfoque fundamental en el desarrollo de tecnología asistiva (Cook & Polgar, 2020; Norman, 2013).

En las pruebas de campo, el sistema respondió adecuadamente al control direccional, logrando recorridos rectos y giros laterales sobre rampas con pendiente moderada. No obstante, se identificaron limitaciones asociadas al entorno, como interferencias en el reconocimiento de voz en espacios ruidosos y fluctuaciones de respuesta del acelerómetro si no se colocaba de forma estable (Naylamp Mechatronics, 2015).

También se observó que, al no contar con un sistema de seguridad automático, la silla podría continuar en movimiento si el usuario no ejecutaba un comando de paro, lo que plantea la necesidad de incorporar sensores de proximidad como mejora futura (El Espectador, 2016). Esta carencia no invalida la

funcionalidad del sistema, pero señala oportunidades de desarrollo en seguridad activa, conforme a los estándares de movilidad asistida (Chaires, 2008).

Desde el punto de vista económico y social, la propuesta demuestra un impacto positivo al reducir drásticamente el costo total del sistema adaptado (menor a \$18,000 MXN, incluyendo los componentes electrónicos y la silla de ruedas eléctrica) en comparación con sillas comerciales diseñadas específicamente para cuadriplejía, cuyo costo puede superar los \$60,000 MXN. Esta brecha económica valida el enfoque de tecnología de bajo costo como solución viable para comunidades con acceso limitado a dispositivos especializados (El Espectador, 2016; Arduino, 2020). El impacto social y económico también se valida a través de estudios internacionales sobre el acceso a tecnologías asistivas (WHO, 2011). En términos de consumo energético y sostenibilidad, el uso de baterías recargables y componentes electrónicos de bajo consumo garantiza un impacto ambiental reducido, lo que se alinea con principios de diseño ecológico propuestos para productos de asistencia tecnológica (Alejandre Espino & López Moreno, 2020).

Finalmente, la modularidad del diseño abre la posibilidad de escalar el proyecto a otros tipos de discapacidades o entornos, cumpliendo así con uno de los objetivos específicos del proyecto: generar un modelo flexible, adaptable y replicable.

CONCLUSIONES

La adaptación de una silla de ruedas eléctrica para personas con cuadriplejía, representa un avance significativo en el ámbito de la rehabilitación y la tecnología asistiva. A través del desarrollo y la integración de sistemas de control personalizados, se ha logrado brindar una solución que responde a las necesidades específicas de los usuarios con movilidad reducida en las extremidades superiores e inferiores, permitiendo un manejo más intuitivo y eficiente de la silla. El proyecto demostró que la combinación de tecnologías electrónicas y mecánicas adecuadamente seleccionadas, no solo mejora la funcionalidad del dispositivo, sino que también garantiza un nivel óptimo de seguridad y comodidad para el usuario.

El diseño modular implementado permite futuras modificaciones y ajustes personalizados, lo que es fundamental dada la diversidad de los niveles de discapacidad y capacidades residuales de los usuarios. Además, la reducción de la dependencia de asistencia externa promueve la autonomía personal, contribuyendo positivamente al bienestar psicológico y social de las personas con cuadriplejía. Los ensayos y pruebas funcionales realizados, evidencian que la silla con la adaptación es capaz de operar en

distintos ambientes, incluyendo espacios interiores y exteriores, lo que amplía su aplicabilidad y mejora la inclusión social.

Por otro lado, la implementación de controles alternativos, basados en sensores adaptados a movimientos mínimos o señales eléctricas, refleja el potencial de la tecnología para superar barreras físicas que tradicionalmente limitan la movilidad. Sin embargo, también se identificaron limitaciones relacionadas con la duración de la batería, la robustez del sistema en condiciones adversas y la necesidad de entrenamiento del usuario para un manejo óptimo.

En resumen, la adaptación propuesta no solo cumple con los requisitos funcionales básicos sino que también ofrece una plataforma escalable para futuras mejoras tecnológicas, reafirmando el papel crucial de la innovación en la mejora de la calidad de vida de personas con discapacidades motoras severas.

TRABAJO A FUTURO

Integración de Interfaces Cerebro-Computadora (BCI):

Implementar sistemas que permitan controlar la silla mediante señales cerebrales, como electroencefalografía (EEG), puede ofrecer una alternativa de control más directa para usuarios con movilidad muy limitada en las extremidades superiores e inferiores. Esto aumentaría la accesibilidad y permitiría una mayor autonomía.

Desarrollo de Sensores Multifuncionales:

Incorporar sensores de alta precisión, como sensores de electromiografía (EMG), acelerómetros o giroscopios, para captar movimientos residuales mínimos o señales musculares, con el fin de mejorar la sensibilidad y precisión en el manejo de la silla.

Optimización de la Energía y Baterías:

Investigar y utilizar baterías de mayor capacidad y eficiencia energética, así como sistemas de gestión de energía inteligentes, para prolongar la autonomía de la silla y reducir el tiempo de recarga, garantizando un uso continuo durante todo el día.

Materiales Avanzados y Diseño Ergonómico:

Incorporar materiales livianos y resistentes, como aleaciones de aluminio o fibras de carbono, que reduzcan el peso total de la silla sin comprometer su durabilidad. Mejorar el diseño ergonómico para aumentar la comodidad y prevenir lesiones por uso prolongado.

Sistemas de Retroalimentación y Seguridad:

Desarrollar mecanismos de retroalimentación háptica o auditiva que informen al usuario sobre la velocidad, obstáculos o estado de la batería. Implementar sistemas de detección y prevención de colisiones para aumentar la seguridad durante la operación en ambientes complejos.

Conectividad y Telemetría:

Integrar tecnologías IoT para monitoreo remoto del estado de la silla, mantenimiento predictivo y ajuste remoto de parámetros de control, lo que facilitaría el soporte técnico, asistencia médica, y la personalización continua según las necesidades del usuario.

Validación Clínica y Usabilidad:

Realizar estudios en campo, con una muestra más amplia de usuarios para evaluar la eficacia, ergonomía y satisfacción, lo cual permitirá optimizar el diseño, según las necesidades reales y mejorar la aceptación social del dispositivo.

Capacitación y Adaptabilidad:

Desarrollar programas de entrenamiento personalizados para los usuarios y sus cuidadores, facilitando la adaptación al sistema de control. Además, diseñar interfaces configurables que puedan ajustarse a distintos grados de discapacidad y habilidades motoras.

REFERENCIAS

- Alejandrez Espino, S. D., & López Moreno, J. A. (2020). *Adaptación de silla de ruedas para cuadriplejía: Proyecto de residencia profesional*. Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez.
- Arduino. (2020). *Arduino Nano*. Technical Specs. <https://www.arduino.cc/en/Guide/Nano>
- Battery Depot. (2023, mayo 12). *Impacto ambiental de las baterías y acumuladores: ¿cómo afecta el planeta?* <https://batterydepot.com.mx/blog/impacto-ambiental-baterias-acumuladores/>
- Chaires. (2008). *Tipos de sillas de ruedas*. <https://www.chairdex.com/about.htm>
- Cook, A. M., & Polgar, J. M. (2020). *Assistive technologies: Principles and practice* (5th ed.). Elsevier Health Sciences.
- El Espectador. (2016, diciembre 12). *Tecnología a bajo costo*. <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/tecnologia-bajo-cost-articulo-670131>

- Jain, R., Kumar, R., & Pandey, R. (2022). Green design in assistive technologies: Challenges and solutions. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, (34), 100722. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2022.100722>
- Kumar, D., & Sharma, R. (2020). A review on inertial sensors applications in human activity recognition. *Procedia Computer Science*, (167), 2028–2037. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.247>
- Morales, M. A. (2004). Discapacidad y calidad de vida. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 34(2), 63–86. <https://www.redalyc.org/pdf/539/53907205.pdf>
- Naylamp Mechatronics. (2015, julio). *Tutorial MPU6050: Acelerómetro y giroscopio*. https://naylampmechatronics.com/blog/45_Tutorial-MPU6050-Aceler%C3%B3metro-y-Giroscopio.html
- Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things: Revised and expanded edition*. Basic Books.
- Observatorio de la Discapacidad Física – ODF. (2016). *La discapacidad física: ¿Qué es y qué tipos hay?* <https://www.observatoriodiscapacitat.org/es/la-discapacidad-fisica-que-es-y-que-tipos-hay>
- Sanatorium. (2023, mayo 10). *¿Las baterías contaminan? Peligros y riesgos ambientales*. <https://www.sanatorium.com.ar/es/blog/23/las-baterias-contaminan-peligros-y-riesgos-ambientales/>
- SolidWorks Corporation. (2019). *SolidWorks Simulation User Guide*. Dassault Systèmes.
- World Health Organization. (2011). *World report on disability*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241564182>

TABLA TRABAJO COLABORATIVO

Rol	Autor (es)
Conceptualización	Miriam Magdalena González Muñoz, José Mario Camarillo Delgadillo, Gerardo López Fierro, Saúl David Alejandre Espino, Ricardo Arnulfo Ruiz Figueroa
Metodología	Miriam Magdalena González Muñoz, José Mario Camarillo Delgadillo, Saúl David Alejandre Espino,
Software	Miriam Magdalena González Muñoz, José Mario Camarillo Delgadillo, Saúl David Alejandre Espino

Validación	Miriam Magdalena González Muñoz, José Mario Camarillo Delgadillo, Gerardo López Fierro, Saúl David Alejandrez Espino, Ricardo Arnulfo Ruiz Figueroa
Análisis Formal	Miriam Magdalena González Muñoz, José Mario Camarillo Delgadillo, Gerardo López Fierro
Investigación	Miriam Magdalena González Muñoz, José Mario Camarillo Delgadillo, Gerardo López Fierro, Saúl David Alejandrez Espino
Recursos	Gerardo López Fierro, Saúl David Alejandrez Espino, Ricardo Arnulfo Ruiz Figueroa
Curación de datos	Miriam Magdalena González Muñoz, José Mario Camarillo Delgadillo
Escritura - Preparación del borrador original	Miriam Magdalena González Muñoz, José Mario Camarillo Delgadillo, Ricardo Arnulfo Ruiz Figueroa
Escritura - Revisión y edición	Miriam Magdalena González Muñoz, José Mario Camarillo Delgadillo, Gerardo López Fierro, Ricardo Arnulfo Ruiz Figueroa
Visualización	Miriam Magdalena González Muñoz, José Mario Camarillo Delgadillo, Saúl David Alejandrez Espino
Supervisión	Saúl David Alejandrez Espino, Ricardo Arnulfo Ruiz Figueroa
Administración de Proyectos	Gerardo López Fierro, Saúl David Alejandrez Espino, Ricardo Arnulfo Ruiz Figueroa
Adquisición de fondos	José Mario Camarillo Delgadillo, Gerardo López Fierro, Ricardo Arnulfo Ruiz Figueroa