Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2024,
Volumen 8, Número 3.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3

DESARROLLO DE UN OFTALMOSCOPIO ELECTRÓNICO DE BAJO COSTO Y PORTÁTIL: FASE DE PROTOTIPO FÍSICO

DEVELOPMENT OF A LOW-COST AND PORTABLE ELECTRONIC OPHTHALMOSCOPE: PHYSICAL PROTOTYPE PHASE

Eduardo de la Cruz Gámez
Tecnológico Nacional de México, México

Juan Miguel Hernández Bravo
Tecnológico Nacional de México, México

Juan Carlos Ramírez Teresa
Tecnológico Nacional de México, México

José Francisco Carbajal Violante
Tecnológico Nacional de México, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.12115

Desarrollo de un Oftalmoscopio Electrónico de Bajo Costo y Portátil: Fase de Prototipo Físico

Eduardo de la Cruz Gámez[1]
eduardo.dg@acapulco.tecnm.mx
https://orcid.org/0000-0003-3318-788X
Tecnológico Nacional de México
Campus Acapulco
México

Juan Miguel Hernández Bravo
juan.hb@acapulco.tecnm.mx
https://orcid.org/0000-0003-4892-3368
Tecnológico Nacional de México
Campus Acapulco
México

Juan Carlos Ramírez Teresa
juan.rt@acapulco.tecnm.mx
https://orcid.org/0009-0003-3740-3751
Tecnológico Nacional de México
Campus Acapulco
México

José Francisco Carbajal Violante
jose.cv@acapulco.tecnm.mx
https://orcid.org/0009-0002-1181-8978
Tecnológico Nacional de México
Campus Acapulco
México

RESUMEN

El prototipo del oftalmoscopio es un dispositivo electrónico de bajo costo y portátil diseñado para observar la retina y detectar la retinopatía diabética utilizando retinografias, reduciendo así la ceguera evitable en comunidades de bajos ingresos. Originado en el Centro de Innovación *Srujana del L V Prasad Eye Institute en Hyderabad*, India, con el objetivo de capturar imágenes de la retina de alta calidad utilizando un dispositivo accesible. El proyecto presentado es una mejora al producto original y busca abordar una alternativa de diagnóstico a las enfermedades oculares en México que afectan a la salud en general, el oftalmoscopio se presenta como un recurso vital para identificar y supervisar diversas afecciones oculares, ofreciendo la posibilidad de mejora de la calidad de vida y contribuyendo al crecimiento económico y tecnológico de las comunidades de escasos recursos (González Ochoa, Á. et al, 2019).

Palabras Clave: oftalmoscopio, prototipado, retinopatía diabética

[1] Autor principal.
Correspondencia: eduardo.dg@acapulco.tecnm.mx

Development of a Low-Cost and Portable Electronic Ophthalmoscope: Physical Prototype Phase

ABSTRACT

The prototype of the ophthalmoscope is an inexpensive, portable electronic device designed to observe the retina and detect diabetic retinopathy using retinal imaging, thus reducing preventable blindness in low-income communities. Originating from the Srujana Innovation Center at the L V Prasad Eye Institute in Hyderabad, India, with the aim of capturing high-quality retinal images using an accessible device. The presented project is an improvement upon the original product and seeks to address alternative diagnostic options for eye diseases in Mexico that impact overall health. The ophthalmoscope is presented as a vital resource for identifying and monitoring various eye conditions, improving quality of life, and contributing to the economic and technological growth of underserved communities.

Keywords: ophthalmoscope, prototyping, diabetic retinopathy

Artículo recibido 23 mayo 2024
Aceptado para publicación: 25 junio 2024

INTRODUCCIÓN

La Oftalmología, al igual que todas las ramas de la medicina, ha experimentado una transformación significativa gracias a los avances tecnológicos (Kumar, Goyal et al, 2020). Estos avances han permitido una evolución en las herramientas computacionales utilizadas para tratar diversas enfermedades visuales, y la mejora del oftalmoscopio clásico es un aspecto esencial para la detección de enfermedades del órgano visual (Martínez-López, E. et al, 2024). De acuerdo a Macías et al. (2019), no todas las comunidades del país tienen acceso a estas tecnologías (El Oftalmoscopio, 2019).

La implementación de estas herramientas es de suma importancia debido que, en base a estas, el prototipo de oftalmoscopio portátil y de bajo costo será desarrollado, ofreciendo a las necesidades de la población un acercamiento a estas herramientas de desarrollo propio.

La retinopatía diabética (Bernal, E. et al (2021) es una complicación de la diabetes muy actual en nuestro país; la misma está causada por el deterioro de las arterias y venas que irrigan la retina y llevan el oxígeno y nutrientes que ésta necesita (Al-Hazaimeh et al., 2022). Este deterioro determina, por un lado, que se pueda filtrar líquido fuera de los vasos, produciendo un edema o hinchazón de la retina, lo que impide que ésta pueda procesar correctamente las imágenes (Tang, F, 2021). Por otro lado, se puede producir una escasez de oxígeno, también llamada isquemia de la retina (Garcés, A. et al, 2010). Esta isquemia determina que el ojo, en un intento de llevar más oxígeno a la retina, forma vasos sanguíneos nuevos, o neovasos, que son frágiles y sangran con facilidad (Nieto, 2022). Los riesgos de desarrollar una retinopatía diabética aumentan a medida que la enfermedad evoluciona, y dependen en gran parte del control de la glucemia. Hasta el 80% de los diabéticos desarrollan algún grado de retinopatía luego de 15 años de evolución de la enfermedad (Kumar, D., Goyal, et al 2020).

Por lo tanto, el presente proyecto está enfocado a la construcción física de un oftalmoscopio electrónico portátil y de bajo costo, esto con la finalidad de que en un futuro poder obtener retinografías del globo ocular de un paciente y de esta forma detectar posibles enfermedades oculares (p.e. retinopatía diabética) de manera eficaz utilizando los motores de IA que ofrece el lenguaje Python con un posible impacto en el sector de salud pública (Deshmukh et al, 2023).

METODOLOGÍA

El tipo de metodología que más satisface a la investigación y desarrollo de este trabajo es el modelado por prototipado, éste permitió un desarrollo básico del modelo. El proceso de prototipado se construye cuando una persona no está segura de que tipos de diseños puede utilizar en el proceso. Se realiza de una forma rápidamente y fácil para comprender lo que se propone. Se realizó a través de etapas y no solo se utiliza para la creación de un sistema, sino que también puede ser utilizado para su modificación. En este caso el usuario final dará la terminación del proyecto y se modificará cada vez que se vea necesario para poder cumplir con las expectativas y funcionalidades esperadas.

Esta metodología de prototipado muestra el seguimiento de seis etapas para la conclusión y desarrollo del proyecto, en la que cada una cuenta con su finalidad, las etapas son:

Recolección de requerimientos

Se busca una serie de objetivos que es la fotografía de la retina (globo ocular) como alternativa económica a los grandes y costosos equipos médicos, se buscó que fuera portátil y de fácil uso para el profesional médico y el paciente, que no fuera invasivo y por lo tanto que no fuera peligroso.

Diseño rápido

Una vez establecidos los requerimientos se realizaron prototipos intermedios para evaluar el desempeño, se probaron diversos lentes de aumento (dioptrías), así como diversas cámaras para determinar la mejor relación costo beneficio. Se experimentó con microcomputadores que presentaran las mejores opciones de desempeño, movilidad y facilidades de programación. Se probó con la electrónica secundaria necesaria para el funcionamiento básico.

Construcción de prototipo

Teniendo los resultados que garanticen el costo beneficio en el diseño del prototipo se avanzó a la etapa de la construcción, donde se pretendía que la tecnología de impresión 3d serviría para la construcción final del prototipo.

Evaluación de prototipo

En esta etapa se procedió a realizar la mayor cantidad de pruebas, siguiendo los protocolos médicos sugeridos para garantizar los resultados satisfactorios que se buscan.

Refinado de prototipo

Cualquier sugerencia de mejora por parte de los expertos médicos fue considerada para que en una futura versión del prototipo se integren. Garantizando de esta forma la actualización constante en la evolución del prototipo.

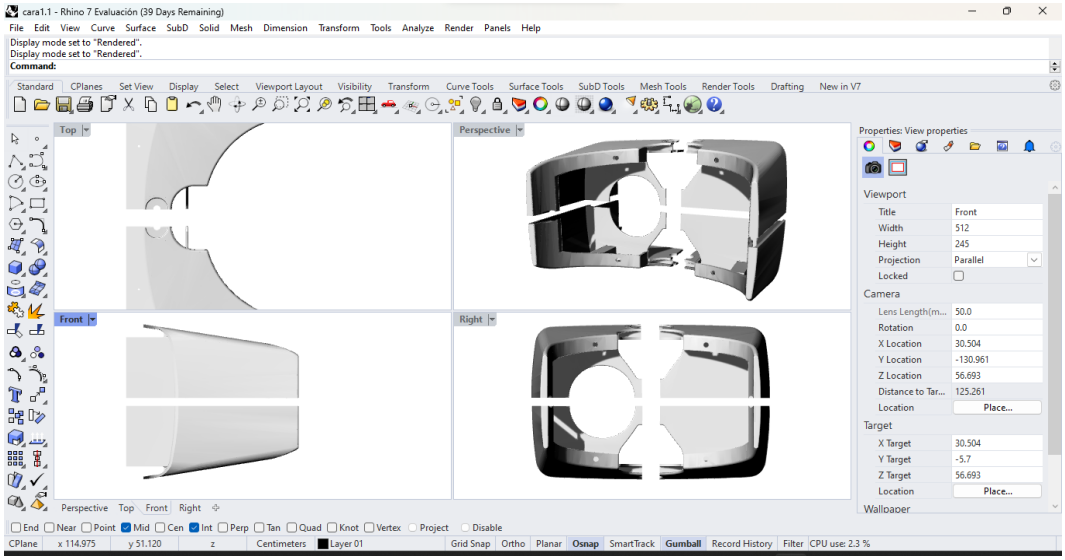
Entrega de producto final

En esta etapa se valoraron las opiniones de expertos para los planes futuros del dispositivo.

RESULTADOS

De acuerdo con la metodología de desarrollo del proyecto se trabajó en la construcción del prototipo del oftalmoscopio, utilizando la impresora 3D, se utilizó también una herramienta de software para la configuración de las piezas a imprimir y un software de modelado en 3D. Debido a que este proyecto es una mejora a un prototipo ya existente (Instructables, 2017) se procedió a realizar adecuaciones a los requerimientos que se tenían en función de las diversos componentes electrónicos que se consiguieron en el mercado nacional, ver ilustración 1.

Ilustración 1. Rediseño del prototipo en 3d.



Por ejemplo, en esta fase se rediseñaron las piezas físicas para adaptar una pantalla LCD de nueva generación y baterías de mayor potencia, así como los módulos electrónicos de carga y regulación de voltaje.

Diseño electrónico

Dentro de la carcasa del oftalmoscopio va incluida una caja óptica negra, la cual contiene dos espejos

de extremo frontal de 50x50x3 mm y un lente de cristal de 20 dioptrías de grado médico, estos con el fin de presentar la mejor imagen del globo ocular sin deformaciones (Esteva, 2001).

Se trabajó buscando el enfoque adecuado a la distancia correcta entre la caja negra y la cámara de 5 Mpx del sistema, se procedió a diseñar el circuito electrónico para ofrecer un oftalmoscopio portátil y, por lo tanto, fue necesario tener un banco de energía para alimentar la tarjeta Raspberry (Raspberry, 2024), y otros dispositivos que se requieran conectar (ratón, teclado, etc.), el banco contiene cuatro pilas recargables de 3.7V y 9 ah, la Raspberry funciona con 5V de entrada y 2.1A de corriente, por lo que fue necesario conectar un módulo de carga y uno de regulación.

Ilustración 2. Realizando las primeras pruebas del prototipo.

Para obtener una buena resolución de imágenes, se calibró y se ajustó la cámara con el propósito de capturar imágenes y evaluar la calidad que la cámara proporciona al dispositivo. Esto para brindarle al oftalmoscopio un resultado más eficiente a la hora de tomar las fotografías del ojo humano, ver ilustración 2.

Pruebas

Durante el proceso de pruebas del oftalmoscopio electrónico, se obtuvieron imágenes oculares que reflejan la capacidad del dispositivo para capturar detalles precisos y claros del fondo del ojo. Se logró un alto rendimiento en la adquisición de imágenes, evidenciado por la nitidez y calidad de la gran mayoría de las fotografías obtenidas.

En un análisis detallado de las imágenes capturadas, se observó que un porcentaje significativo de las mismas exhibió un estado óptimo, con detalles claramente definidos y sin distorsiones notables. Estos

resultados respaldan la eficacia del oftalmoscopio electrónico en la obtención de imágenes oculares de alta calidad.

Es importante destacar que, aunque la mayoría de las imágenes cumplían con los estándares de calidad establecidos, se registraron algunas capturas desenfocadas. Esto se podría atribuirse a diversas variables, como la estabilidad del dispositivo durante la captura de imágenes o la colaboración del sujeto en el proceso. Se reconocen estos casos puntuales como áreas de mejora para futuras actualizaciones del dispositivo, ver ilustración 3.

Las imágenes obtenidas durante las pruebas no solo demostraron la capacidad del oftalmoscopio electrónico para capturar imágenes claras y detalladas, sino que también proporcionaron una base visual sólida para el diagnóstico y seguimiento de condiciones oftalmológicas. La calidad de las imágenes es un factor clave que respalda la utilidad práctica y clínica del dispositivo en entornos médicos y de investigación, ver ilustración 4.

Ilustración 3. Imágenes de las corneas utilizando el prototipo.

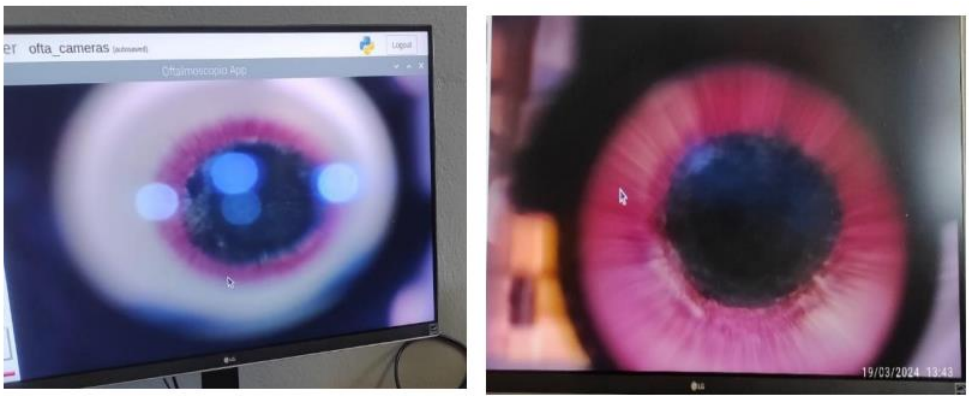


Ilustración 4. El dispositivo final, con la integración de pantalla LCD, ya totalmente portátil.

También se realizó un análisis de costos y se concluyó que este proyecto en producción no sobre pasa un costo total de $5000.00 pesos mexicanos, por lo que la meta de ser de bajo costo se logró alcanzar. Finalmente, el prototipo se llevó a un concurso de innovación y sorprendió mucho a los jurados

calificadores los cuales eran expertos médicos, al punto de invitar a los desarrolladores a trabajar en conjunto con el sector salud en las mejoras del análisis de las retinografías.

CONCLUSIONES

Este artículo proporciona una visión resumida del desarrollo y evaluación de un oftalmoscopio electrónico de bajo costo y portátil. Con la esperanza de que esta innovación permita contribuir al bienestar de la comunidad global, ofreciendo un herramienta accesible que puede ser transportada a comunidades rurales alejadas de los grandes centros urbanos y que permita realizar a un médico general un diagnóstico temprano de un padecimiento como es la retinopatía diabética que en sus primeras fases no se aprecian los síntomas y la enfermedad pueda evolucionar y de esta forma comprometer la visión de una persona, un diagnóstico temprano puede prevenir el desarrollo de la enfermedad con los tratamientos correctos.

Las imágenes que se obtienen son de buena calidad por lo que se considera que el objetivo de este trabajo se cumplió, en esta primera fase se pretendía solamente abordar la construcción física del prototipo, en una fase segunda se contemplará desarrollar los algoritmos necesarios de redes neuronales que permitan identificar las afectaciones de la retinopatía en el globo ocular y de esta forma poder contribuir en soluciones reales, económicas y de innovación para el sector de salud pública de nuestro país.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Al-Hazaimeh, O. M., Abu-Ein, A., Tahat, N., Al-Smadi, M., & Al-Nawashi, M. (2022). Combining Artificial Intelligence and Image Processing for Diagnosing Diabetic Retinopathy in Retinal Fundus Images. International journal of online and biomedical engineering, 18(13), 131-151. https://doi.org/10.3991/ijoe.v18i13.33985.

Asprilla Reyes, F. (2023). El enfoque por competencias, desde lo general hasta la Educación Física. Emergentes - Revista Científica, 3(2), 107–135. https://doi.org/10.60112/erc.v3i2.82

Bernal, E. et al (2021). Detection of Exudates and Microaneurysms in the Retina by Segmentation in Fundus Images. Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica, No. 2. Vol. 42.

Batista Azevedo, M. A., & Cavalcante Serpa, N. (2023). Poder e o Empoderamento Feminino. Revista Veritas De Difusão Científica, 4(2), 1–23. https://doi.org/10.61616/rvdc.v4i2.43

Deshmukh, S. V., Roy, A., & Agrawal, P. (2023). Retinal Image Segmentation for Diabetic Retinopathy Detection using U-Net Architecture. International Journal of Image, Graphics and Signal Processing, 15(1), 79-92. https://doi.org/10.5815/ijigsp.2023.01.07

Delgadillo Dávila, A., Castellanos Suárez, J. A. C. S., Sánchez Guzmán, P., & Trejo Vega, S. (2024). La parcela escolar: estrategia para ambientalizar el curriculum. Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano, 5(2), 367–397. https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v5i2.142

El oftalmoscopio. (2019, 22 marzo). Clínica Clofán. https://www.clofan.com/post/eloftalmoscopio#:~:text=El%20oftalmoscopio%20es%20un%20instrumento,la%20pupila%20y%20del%20cristalino.

Esteva. E. (2001). Óptica. La miopía y las técnicas para combatirla. Revista Offarm. Vol. 20. Núm. 9. páginas 138-143.

Fernández Martínez, L. (2023). Síndrome de Kawasaki en la población pediátrica asociado a la infección por COVID-19. Estudios Y Perspectivas Revista Científica Y Académica , 3(2), 48–62. https://doi.org/10.61384/r.c.a.v3i2.33

Fernández C., F. (2024). Determinación De Erodabilidad En Áreas De Influencia Cuenca Poopo Región Andina De Bolivia. Horizonte Académico, 4(4), 63–78. Recuperado a partir de https://horizonteacademico.org/index.php/horizonte/article/view/19

Garcés, A. et al (2010). Síndrome isquémico ocular. Revista Cubana de Oftalmología, vol.23 supl.2 Ciudad de la Habana. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21762010000400018

González Ochoa, Á., & Alcudia Olivé, L., (2019). Incidencia de retinopatía y neuropatía diabética en pacientes del Centro de Salud Urbano de Comalcalco, Tabasco, México. Enero 2019. Vol. 25 Núm.2. Mayo-Diciembre 2019 Pags. 80-87 Salud Tab 2019; 25(2-3).

González Díaz, S. N., García Waldman , D. H., & Perales Alvarez , A. (2023). Internacionalización de la Educación Superior para el fortalecimiento del desarrollo económico de un país. Emergentes - Revista Científica, 3(2), 136–142. https://doi.org/10.60112/erc.v3i2.91

Instructables. (2017, 24 septiembre). Open Indirect Ophthalmoscope (OIO). Instructables. https://www.instructables.com/Open-Indirect-Ophthalmoscope-OIO/

Kumar, D., Goyal, A., Truhan, A., Abrams, G., & Manwar, R. (2020). *Complementary capabilities of photoacoustic imaging to existing optical ocular imaging techniques.* Elsevier. Recuperado de https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817438-8.00001-8.

Macías, A., Arévalo, D., Galarza, K., Torres, A., Arévalo, M. A., Franco, D., . . . Montenegro, A. (2019). *Principios de Oftalmología.* Ecuador: MAWIL. Recuperado de: http://10.0.104.196/978-9942-826-66-4

Martínez-López, E. et al (2024). Avances en la Detección de Retinopatía Diabética: El Rol Prometedor de la Inteligencia Artificial. Ciencia Latina. Vol. 8, No. 1. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.9925

Morales Fretes , C. D. (2023). Estrategias motivacionales en el desempeño laboral de los empleados en empresas de la Ciudad de Pilar 2023. Revista Veritas De Difusão Científica, 4(2), 24–36. https://doi.org/10.61616/rvdc.v4i2.44

Martínez, O., Aranda , R., Barreto , E., Fanego , J., Fernández , A., López , J., Medina , J., Meza , M., Muñoz , D., & Urbieta , J. (2024). Los tipos de discriminación laboral en las ciudades de Capiatá y San Lorenzo. Arandu UTIC, 11(1), 77–95. Recuperado a partir de https://www.uticvirtual.edu.py/revista.ojs/index.php/revistas/article/view/179

Medina Nolasco, E. K., Mendoza Buleje, E. R., Vilca Apaza, G. R., Mamani Fernández, N. N., & Alfaro Campos, K. (2024). Tamizaje de cáncer de cuello uterino en mujeres de una región Andina del Perú. Arandu UTIC, 11(1), 50–63. https://doi.org/10.69639/arandu.v11i1.177

Nieto, W. (2022, 1 diciembre). Aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial para el diagnóstico asistido de glaucoma. Universidad del Norte. http://hdl.handle.net/10584/11235.

Oyarvide Estupiñán, N. S., Tenorio Canchingre, E., Oyarvide Ibarra, R. T., Oyarvide Ramírez, H. P., & Racines Alban, T. (2024). Factores influyentes para el uso de herramientas digitales en estudiantes universitarios. Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano, 5(2), 346–366. https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v5i2.141

Raspberry, (consultado en 2024). https://www.raspberrypi.com/documentation/

Ramírez Soto , C. A. (2023). Factores de riesgo disergonómicos y su influencia en el desempeño laboral de docentes universitarios en la región Junín. Estudios Y Perspectivas Revista Científica Y Académica , 3(2), 63–81. https://doi.org/10.61384/r.c.a.v3i2.34

Srujana del L V Prasad Eye Institute en Hyderabad (consultado en 2024). https://www.lvpei.org/sub-speciality/glaucoma.

Tang, F., Luenam, P., Ran, A. R., Quadeer, A. A., Raman, R., Sen, P. K., Khan, R., Anantharaman, G., Haridas, S., Iglicki, M., Zur, D., Loewenstein, A., Negri, H. P., Szeto, S., Lam, B. K. Y., Tham, C. C., Sivaprasad, S., McKay, M. R., & Cheung, C. Y. (2021). Detection of diabetic retinopathy from Ultra-Widefield scanning laser ophthalmoscope images: a multicenter deep learning analysis. *Ophthalmology Retina*, *5*(11), 1097-1106. https://doi.org/10.1016/j.oret.2021.01.013

v, H., & Quispe Coca, R. A. (2024). Tecno Bio Gas. Horizonte Académico, 4(4), 17–23. Recuperado a partir de https://horizonteacademico.org/index.php/horizonte/article/view/14