

Optimización discreta basada en algoritmos genéticos para generación de topología de redes de comunicaciones interconectadas por medios guiados

Discrete optimization based on genetic algorithms for topology generation of communication networks interconnected by guided means

DOI: 10.46932/sfjdv3n2-029

Received in: February 15th, 2022

Accepted in: March 1st, 2022

José Ricardo Gómez Rodríguez

Alumno de posgrado

Institución: Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas
México

Dirección: Jdn. Juárez #147, Centro Historico, 98000 Zacatecas, Zac., México

Correo electrónico: jrrodri@uaz.edu.mx

Remberto Sandoval Arechiga

Profesor

Institución: Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas
México

Dirección: Jdn. Juárez #147, Centro Historico, 98000 Zacatecas, Zac., México

Correo electrónico: rsandoval@uaz.edu.mx

Jorge Flores Troncoso

Profesor

Institución: Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas
México

Dirección: Jdn. Juárez #147, Centro Historico, 98000 Zacatecas, Zac., México

Correo electrónico: jflorest@uaz.edu.mx

Salvador Ibarra Delgado

Profesor

Institución: Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas
México

Dirección: Jdn. Juárez #147, Centro Historico, 98000 Zacatecas, Zac., México

Correo electrónico: sibarra@uaz.edu.mx

Víktor Iván Rodríguez Abdalá

Profesor

Institución: Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas
México

Dirección: Jdn. Juárez #147, Centro Historico, 98000 Zacatecas, Zac., México

Correo electrónico: abdala@uaz.edu.mx

José Luis Alvarez Flores

Profesor

Institución: Universidad de Colima (UCOL), México y se encuentra adscrito a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UCOL

Correo electrónico: alvarez_jose@ucol.mx

Cristian Eduardo Boyain

Goytia es Profesor

Institución: Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas México

Dirección: Jdn. Juárez #147, Centro Historico, 98000 Zacatecas, Zac., México

Correo electrónico: cristian.boyain@uaz.edu.mx

Juan Manuel Pérez Díaz

Alumno de posgrado

Institución: Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas México

Dirección: Jdn. Juárez #147, Centro Historico, 98000 Zacatecas, Zac., México

Correo electrónico: jmperez@uaz.edu.mx

RESUMEN

En este trabajo se utilizan técnicas de optimización discreta con algoritmos genéticos para la generación de topologías de redes de comunicaciones empleando medios guiados. Se modeló el problema empleando grafos no dirigidos, utilizando su matriz de adyacencia. Las posibles soluciones deben satisfacer restricciones como conectividad, evitar auto-lazos en el grafo y tener simetría en la matriz de adyacencia. Además, se busca minimizar una métrica de costo-distancia para reducir el costo de instalación, o garantizar una métrica de grado de conectividad para garantizar tolerancia a fallos. Se presentan la codificación del problema y las funciones objetivo y de restricción. Los resultados obtenidos demuestran que el uso del modelo y técnicas propuestas permiten llegar a topologías válidas óptimas para las métricas establecidas en casos donde el número de nodos es pequeño, y se obtiene soluciones sub-óptimas cuando el orden del problema crece, sin perder la utilidad práctica de la solución.

Palabras clave: optimización discreta, algoritmo genético, topología de redes de comunicaciones.

ABSTRACT

In this work, discrete optimization techniques with genetic algorithms are used for the generation of communication network topologies using guided media. The problem was modeled using undirected graphs, using their adjacency matrix. The possible solutions must satisfy constraints such as connectivity, avoid self-loops in the graph and have symmetry in the adjacency matrix. In addition, we seek to minimize a cost-distance metric to reduce the installation cost, or to guarantee a degree of connectivity metric to guarantee fault tolerance. The coding of the problem and the objective and constraint functions are presented. The results obtained show that the use of the proposed model and techniques allow to reach optimal valid topologies for the established metrics in cases where the number of nodes is small, and sub-optimal solutions are obtained when the order of the problem grows, without losing the practical utility of the solution.

Keywords: discrete optimization, genetic algorithm, communication network topology.

1 INTRODUCCIÓN

En la literatura el análisis de la topología de redes de comunicaciones se presenta tradicionalmente empleando teoría de grafos, ya que proporciona un lenguaje formal adecuado para la descripción de las redes y sus características. Básicamente un grafo es un conjunto de puntos interconectados por un conjunto de líneas. En teoría de grafos, estos elementos reciben la denominación de nodos y aristas respectivamente. Cabe señalar que esta representación de redes no es exclusiva para redes de comunicaciones si no que ha sido empleada en diferentes tipos de redes como: distribución de agua, ductos de petróleo, redes eléctricas, incluso en la actualidad se utilizan en el análisis de redes sociales.

La topología de una red está ligada al funcionamiento, costo de instalación y mantenimiento de la misma. Por lo cual es importante diseñar la topología óptima con respecto a uno o más criterios o métricas para un escenario en particular. Desafortunadamente, este tipo de problemas de optimización discreta tienen una complejidad NP, por lo que no se conocen algoritmos de complejidad temporal polinomial adecuados para encontrar su solución. Por otro lado, los algoritmos evolutivos, como los algoritmos genéticos, han demostrado ser una opción viable en problemas de complejidad NP. En este trabajo se emplean, se exploran los algoritmos genéticos para la búsqueda de topologías óptimas en el sentido de algunas métricas de desempeño como distancia y grado de conectividad que están directamente relacionadas con el costo y la tolerancia a fallas, respectivamente. La solución propuesta ayuda a definir topologías adecuadas en la construcción de nuevas redes interconectadas con medios guiados.

Existen trabajos referentes a la generación de topologías utilizando optimización discreta con algoritmos genéticos algunos de ellos se mencionan a continuación: Elbaum, R., & Sidi, M. (1996) busca topologías empleando algoritmos genéticos, tomando como variables el número de grupos, los segmentos que componen el árbol de cobertura y los usuarios por grupo con el objetivo de minimizar el retardo promedio de los paquetes en la red. Dengiz, B., Altıparmak, F., & Smith, A. E. (1997) obtienen métodos para establecer una población inicial, codificación y búsqueda que mejoran el desempeño de los algoritmos genéticos en la búsqueda de topologías óptimas de redes de comunicación. Nesmachnow, S., Cancela, H., & Alba, E. (2004) muestra la aplicación de diversos algoritmos genéticos a un problema propuesto para modelar el diseño de topologías de redes de comunicaciones con alta confiabilidad. Wang, C., Huang, N., Zhang, S., Zhang, Y., & Wu, W. (2017) establecen que el algoritmo genético comience con una topología de anillo y de ahí empieza a agregar enlaces buscando minimizar el retardo promedio de los paquetes en la red.

Al existir todos estos trabajos referentes a la topología de redes de comunicaciones nos permitimos construir una propuesta usando optimización discreta con algoritmos genéticos en una visión de tolerancia a fallos al garantizar un grado de conectividad entre los nodos participantes en la red mientras se busca

minimizar el costo tomando la suma de las distancias de los enlaces en la red.

2 REPRESENTACIÓN DE UNA RED DE COMUNICACIONES CON TEORÍA DE GRAFOS

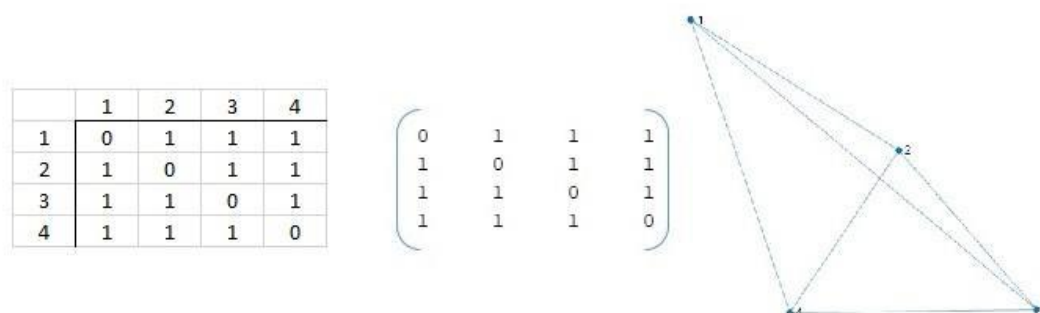
La teoría de grafos permite realizar una representación gráfica de una red de comunicaciones en la que se definen dos conjuntos distintos de objetos: nodos y enlaces.

Un grafo G es un par ordenado $G = (V, E)$, donde: V es un conjunto de nodos y E es un conjunto enlaces, que conectan estos nodos. En este trabajo no interesa que los enlaces tengan dirección ya que el enlace se declara como emisor y receptor al mismo tiempo, por lo que son grafos no dirigidos

Para un grafo con $|V|$ nodos, una matriz de adyacencia es una matriz de $|V| \times |V|$ de ceros y unos, donde la entrada en el renglón i y la columna j es 1 si y solo si el enlace $e_{i,j}$ está en el grafo.

Así pues, la Figura 1 muestra la topología malla de interconexión para 4 nodos y su matriz de adyacencia sin contemplar la conexión consigo mismo (diagonal de la matriz).

Figura 1 Matriz de adyacencia simétrica y su grafo



3 ALGORITMOS GENÉTICOS PARA LA OPTIMIZACIÓN

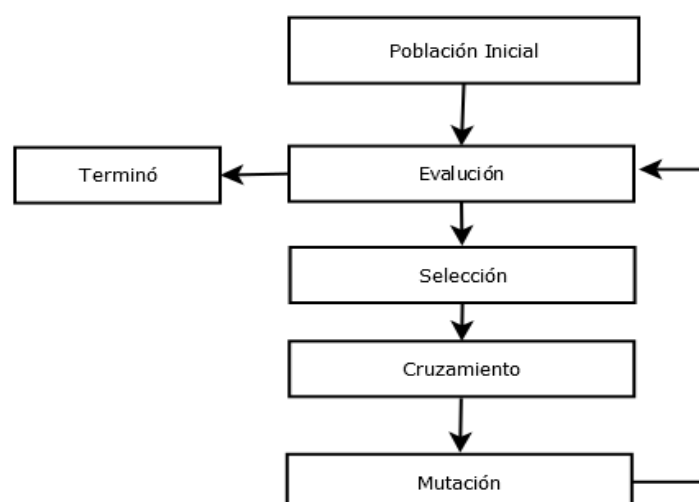
El algoritmo genético (AG) es un método para resolver problemas de optimización limitados y no restringidos que se basan en la selección natural, proceso que impulsa la evolución biológica postulado por Darwin 1859. El algoritmo genético modifica repetidamente una población de soluciones individuales. En cada paso, el algoritmo genético selecciona individuos al azar de la población actual para que sean padres y los utiliza para producir los hijos para la próxima generación. En sucesivas generaciones, la población "evoluciona" hacia una solución óptima.

Se puede aplicar el algoritmo genético para resolver una variedad de problemas de optimización que no son adecuados para los algoritmos de optimización estándar, incluidos los problemas en los que la función objetivo es discontinua, no diferenciable, estocástica o altamente no lineal. El algoritmo genético puede abordar problemas de programación de enteros mixtos, donde algunos componentes están restringidos para ser de valor entero.

Los principios básicos de los AG fueron establecidos por Holland (1975), y se encuentran descritos con autores como Michalewicz (1992). El algoritmo genético utiliza tres tipos principales de reglas en cada paso para crear la próxima generación a partir de la población actual como se muestra en la Figura 2:

1. Las reglas de selección eligen aleatoriamente un par de posibles soluciones llamadas individuos que a su vez están constituidos por un conjunto de cromosomas, estos individuos son llamados padres, que contribuyen a la población en la próxima generación.
2. Las reglas de cruce combinan dos padres para formar individuos para la próxima generación.
3. Las reglas de mutación aplican cambios aleatorios a padres individuales para formar individuos.

Figura 2 Diagrama de Flujo de AG simple



El siguiente esquema resume cómo funciona el algoritmo genético véase Figura 2:

1. El algoritmo comienza creando una población inicial aleatoria.
2. El algoritmo crea una secuencia de nuevas poblaciones. En cada paso, el algoritmo utiliza los individuos en la generación actual para crear la siguiente población. Para crear la nueva población, el algoritmo realiza los siguientes pasos:
 - a. Califica a cada miembro de la población actual calculando su valor de aptitud. Estos valores se llaman puntajes de aptitud física sin procesar.
 - b. Escala los puntajes de aptitud sin procesar para convertirlos en un rango de valores más utilizable. Estos valores escalados se llaman valores de expectativa.
 - c. Selecciona miembros, llamados padres, en función de sus expectativas.

d. Algunos de los individuos en la población actual que tienen una puntuación dentro de la función objetivo son elegidos como élite. Estos individuos de élite se pasan a la siguiente población.

e. Produce individuos de los padres. Los individuos se producen ya sea mediante cambios aleatorios en una mutación parental única o mediante la combinación de las entradas de vectores de un par de padres (crossover).

f. Reemplaza la población actual con los individuos para formar la próxima generación.

g. El algoritmo se detiene cuando se cumple uno de los criterios de parar.

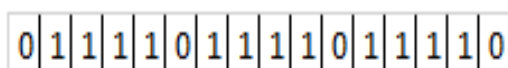
3.1 TAMAÑO DE LA POBLACIÓN

Este parámetro nos indica el número de cromosomas que tenemos en nuestra población para una generación determinada.

1. La representación cromosomal de la población:

Para este problema se propone que la estructura de cromosoma a utilizar sea en números enteros que se encuentren entre 0 y 1, teniendo definido el tamaño como el número máximo de enlaces posibles, esto es para una red de 4 nodos es posible tener 16 enlaces teniendo como estructura que el primer espacio es para la posible conexión del nodo 1 consigo mismo, después la conexión del nodo 1 con el nodo 2, y así consecutivamente. Una representación gráfica se muestra en la figura 3, la cual es la representación de la matriz de adyacencia de una red para 4 nodos.

Figura 3 Estructura de cromosoma del AG



2. Función de evaluación

La única forma para evaluar el desempeño de los individuos en las evoluciones del AG es a través de una función de evaluación o una colección de datos. Para la realización de la función de evaluación o función objetivo tenemos la necesidad de minimizar la suma de las distancias de los enlaces que se utilizan.

$$Min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n A(i, j)Distancia(i, j)$$

Donde:

n es el número de nodos a interconectar

i, j número que identifica un par de nodos

A es la matriz de adyacencia

Distancia es la matriz que contiene las distancias entre un nodo y otro

En una segunda función objetivo se trabajó el que cada nodo tenga un numero específico de enlaces hacia otros nodos, con lo que se puede atacar el concepto de tolerancia a fallos.

$$\forall i \sum_{j=1}^n A(i,j) = GradoConectividad$$

Donde:

n es el número de nodos a interconectar

A es la matriz de adyacencia

GradoConectividad es la variable donde se define el grado de conexión que debe tener cada nodo.

3. Función de restricciones que se deben cumplir

1. Que no exista conexión o enlace consigo mismo, lo anterior debido a que en el diseño de topología de red de comunicación por medios guiados, es necesario garantizar que no existen lazos de conexión consigo mismo formalmente: $\sum_{i=1}^n A(i,i) = 0$

2. Que la matriz resultante sea simétrica, ya que para un grafo no dirigido la matriz de adyacencia es simétrica. Formalmente: $\forall i,j \in V A(i,j) == A(j,i)$ donde $V = \{1,2,\dots,n\}$

3. Que el número de componentes que exista en el grafo generado por la matriz de adyacencia sea de 1, esto se obtiene mediante el algoritmo de tarjan en teoría de grafos

4 RESUMEN DE RESULTADOS

4.1 MATRIZ DISTANCIA

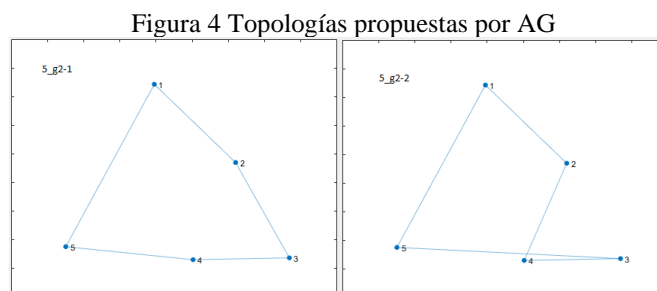
En este trabajo se realizó el análisis para cuando existen 6 nodos los cuales tienen definida la distancia entre ellos, estos se deben de conectar teniendo en cuenta la función objetivo la cual se obtiene de la minimización del cálculo de la distancia y sus restricciones de que no exista conexión consigo mismo (lazos), que la matriz de resultado sea simétrica por cumplimiento de que el grafo sea no dirigido y que se encuentre totalmente conectado. En la Tabla 1 se muestra la matriz de distancia donde se fijaron todas las distancias entre los nodos.

Tabla 1 Matriz de Distancias

	1	2	3	4	5
1	0	95	164	148	136
2	95	0	82	83	117
3	164	82	0	62	133
4	148	83	62	0	75
5	136	117	133	75	0

4.2 TOPOLOGÍAS PROPUESTAS PARA GRADO2

Al aplicar el algoritmo genético buscando topologías con la función objetivo en grado de conexión 2 varias veces obtenemos topologías propuestas para su implementación, las cuales se muestran en la Figura 4, en estas se muestra como el algoritmo logra encontrar la topología respetando que todos los nodos como máximo 2 enlaces de conectividad, así como su referencia a minimizar la distancia total de la red



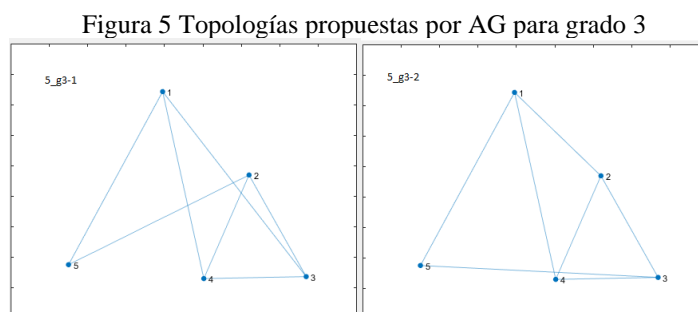
En la Tabla 2 se muestra como quedan los cromosomas de cada individuo de los cuales se generan las matrices de adyacencia para después generar su representación gráfica con las herramientas de grafos.

Tabla 2 Cromosomas de topologías propuestas

Identificador	Cromosoma																									
5_g2-1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	
5_g2-2	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0

4.3 TOPOLOGÍAS PROPUESTAS PARA GRADO3

Al aplicar el algoritmo genético buscando topologías con la función objetivo en grado de conexión 3 varias veces obtenemos topologías propuestas para su implementación, las cuales se muestran en la Figura 5, en estas se muestra como el algoritmo logra encontrar la topología respetando que todos los nodos como máximo 3 enlaces de conectividad, así como su referencia a minimizar la distancia total de la red



En la Tabla 3 se muestra como quedan los cromosomas de cada individuo de los cuales se generan las matrices de adyacencia para después generar su representación gráfica con las herramientas de grafos.

Tabla 3 Cromosomas para grado 3

Identificador	Cromosoma																						
5_g3-1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	
5_g3-2	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0

5 CONCLUSIONES

El enfoque presentado en este trabajo demostró ser eficiente en la propuesta de topologías de redes de comunicación por medios guiados con un grado de conectividad deseado utilizando la optimización discreta con algoritmos genéticos. El uso de una población pequeña nos da un ejemplo ilustrativo, se demuestra que el manejo de las funciones objetivo: distancia y grado de conexión, así como las funciones de restricciones fueron las adecuadas para encontrar resultados válidos.

TRABAJO A FUTURO

En este trabajo se observó que, si se continua con el análisis, pero ahora empleando un algoritmo genético multiobjetivo se podrán incluir en el análisis métricas referentes a la calidad de servicio, velocidades de transmisión, o tecnología utilizada, por lo que se cree que existe una oportunidad de seguir en este análisis de topologías de redes de comunicaciones utilizando optimización discreta a través de algoritmos genéticos.

REFERENCIAS

- Dengiz, B., Altiparmak, F., & Smith, A. E. (1997). Local search genetic algorithm for optimal design of reliable networks. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1(3), 179-188.
- Elbaum, R., & Sidi, M. (1996). Topological design of local-area networks using genetic algorithms. *IEEE/ACM transactions on networking*, 4(5), 766-778.
- Holland, J. H. (1975). On quantifying agricultural and water management practices from low spatial resolution RS data using genetic algorithms: a numerical study for mixed pixel environment. *Adv. Water Resour*, 28, 856-870.
- Michalewicz, Z., Janikow, C. Z., & Krawczyk, J. B. (1992). A modified genetic algorithm for optimal control problems. *Computers & Mathematics with Applications*, 23(12), 83-94.
- Nesmachnow, S., Cancela, H., & Alba, E. (2004). Técnicas evolutivas aplicadas al diseño de redes de comunicaciones confiables. Paper presented at the Congreso Español de Metaheurísticas, Algoritmos Evolutivos y Bioinspirados.
- Wang, C., Huang, N., Zhang, S., Zhang, Y., & Wu, W. (2017). A hierarchical network model for network topology design using genetic algorithm. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 119, p. 01008). EDP Sciences.

NOTAS BIOGRÁFICAS

El MTI José Ricardo Gómez Rodríguez es ingeniero en sistemas computacionales egresado del Instituto Tecnológico de Zacatecas en el 2002, Maestro en Tecnologías de Información por la Universidad Interamericana para el Desarrollo en 2016, Estudiante del Doctorado en Ingeniería y Tecnología Aplicada en la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas"

El, Dr. Remberto Sandoval Arechiga es ingeniero en Comunicaciones y Electrónica egresado de la Universidad Autónoma de Zacatecas en el año de 2002. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica en el área de Comunicaciones en diciembre de 2006 por parte del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional situado en el D.F., México., Doctor en Ciencias por parte del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional sede Guadalajara, en el año 2016. Es investigador del Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo en Telecomunicaciones (CIDTE) que está adscrito a la Unidad Académica Ingeniería Eléctrica de la UAZ, y se encuentra vinculado a la Agencia Espacial Mexicana.

El Dr. Jorge Flores Troncoso es ingeniero en Comunicaciones y Electrónica egresado de la Universidad Autónoma de Zacatecas en el año de 1992. Maestro en Ciencias con especialidad en Electrónica y Telecomunicaciones en julio de 2000 por parte del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), en Baja California, México. Doctor en Ciencias con especialidad en Electrónica y Telecomunicaciones en agosto de 2010, también por parte del CICESE. Actualmente es profesor-investigador de tiempo completo adscrito a la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica (UAIE) de la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), es líder del Cuerpo Académico UAZ-CA-201 "Telecomunicaciones y Electrónica". Es Coordinador del Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo en Telecomunicaciones (CIDTE) que está adscrito a la Unidad Académica Ingeniería Eléctrica de la UAZ, y se encuentra vinculado a la Agencia Espacial Mexicana.

El M.I.T.C. Salvador Ibarra Delgado es ingeniero en Sistemas Electrónicos egresado del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey en el año de 1986. Obtuvo el grado de Maestro en Informática y Tecnologías Computacionales en julio del 2006 en la Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes. Actualmente estudia el Doctorado en la Universidad de Córdoba España". Es investigador del Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo en Telecomunicaciones (CIDTE) que está adscrito a la Unidad Académica Ingeniería Eléctrica de la UAZ, y se encuentra vinculado a la Agencia Espacial Mexicana.

El Dr. Viktor Iván Rodríguez Abdala es Doctor en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones desde 2016 por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C. (CICESE), México. Desde 2005 ha realizado investigación y proyectos en comunicaciones inalámbricas de redes locales y celulares de última generación, radio definido por software, sistemas embebidos y redes de comunicaciones de computadoras orientado al uso de software libre que incluyen gestión y seguridad. Es investigador del Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo en Telecomunicaciones (CIDTE) que está adscrito a la Unidad Académica Ingeniería Eléctrica de la UAZ, y se encuentra vinculado a la Agencia Espacial Mexicana.

El Dr. José Luis Alvarez Flores es Doctor en Ingeniería y Tecnología Aplicada desde 2021 por la Universidad Autónoma de Zacatecas, Zac. (UAZ), México. Desde 2000 ha realizado investigación y proyectos en antenas, radio frecuencia y comunicaciones inalámbricas. Es investigador de la Universidad

de Colima (UCOL), México y se encuentra adscrito a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UCOL.

El Dr. Cristian Eduardo Boyain y Goytia Luna es Doctor en Ciencias en la especialidad de ingeniería eléctrica desde el 2018 por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I.P.N. Unidad Guadalajara, México. Desde el 2010 trabaja en proyectos de investigación cuyas líneas principales son la planeación de movimientos, aprendizaje computacional y aproximación de funciones. En la industria ha trabajado de forma independiente como programador y gerente de proyecto, en el desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles. Actualmente es docente investigador y responsable de programa en la Universidad Autónoma de Zacatecas.

El MTA Juan Manuel Pérez Díaz estudió Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico de Zacatecas y la Maestría en Tecnologías para el Aprendizaje en el Centro Universitario de la Costa de la Universidad de Guadalajara, actualmente es estudiante del Doctorado en Ingeniería e Innovación Tecnológica, en la Unidad Académica Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas.