

Estudio de Factibilidad Técnica para enlace de microondas entre dos nodos de la red de súper cómputo Grid Morelos

Technical feasibility study for microwave link between two nodes of the Grid Morelos supercomputing network

Oscar H. Salinasa , María Díaz Ayalaa , Verónica Sáncheza, J C Zavala-Díazb , Martha E. Luna 
División Académica de Tecnologías de la Información y Comunicación de la Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos.
Avenida Universidad Tecnológica No. 1, Colonia Palo Escrito, Emiliano Zapata, Morelos, México. C.P. 62760

^bFacultad de Contaduría, Administración e Informática de la UAEM, FCAEI-UAEM.
Avenida Universidad No. 1001, Colonia Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México. C.P. 62209

Autor de correspondencia: oscarsalinasa@utez.edu.mx.

mariadiaz@utez.edu.mx, veronicasanchez@utez.edu.mx, marthaluna@utez.edu.mx, crispin_zavala@uaem.mx.

PALABRAS CLAVE:

súper cómputo, microondas, línea de vista, factibilidad.

RESUMEN

Se realizó con éxito un estudio de factibilidad técnica para un enlace vía microondas, entre dos nodos de la red de súper cómputo Grid Morelos. Se presentan en este trabajo los aspectos técnicos y el análisis sobre los mismos, con el fin de dar un dictamen técnico acerca de la factibilidad del enlace vía microondas entre dos puntos que en principio son cercanos (23 km aproximadamente, sin embargo debido a la orografía del Estado de Morelos hay una diferencia en altitud de 614 metros, aproximadamente. Los análisis están enfocados en la libre línea de vista entre los dos puntos: línea de vista, altura a las que se instalarán las antenas, zonas de Fresnel y parámetros de la antena. El enlace vía microondas es necesario para tener una conexión fija y exclusiva para el uso de la Grid, evitando el uso de la red interna y la salida a internet de ambas instituciones.

KEYWORDS:

computation grid, microwaves, line of sight, feasibility.

ABSTRACT

A technical feasibility study for a microwave link between two nodes of the Grid Morelos supercomputing network was successfully carried out. This paper presents the technical aspects and the analysis of the same in order to give a technical opinion about the feasibility of the microwave link between two points, which in principle are close (23 km approximately), however due to the Orography of the State of Morelos there is a difference about xx meters in altitude. The analyzes were focused on the free line of sight between the two points: line of sight, height at which antennas will be installed, Fresnel zones and some antenna parameters. The microwave link is necessary to have a fixed and exclusive connection for the use of the Grid, avoiding the use of the internal network and the Internet outlet of both institutions.

Recibido: 5 de agosto del 2017 Aceptado: 12 de noviembre de 2017 Publicado: 15 de diciembre de 2017

1 INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones electrónicas pueden ser en general de dos tipos básicos, definidos por el tipo de canal que utilicen: cableados y no cableados (wireless). En los sistemas no cableados, el dispositivo esencial es la antena. La definición técnica de una antena varía ligeramente entre autores [1,2,3], básicamente es un dispositivo transductor que se utiliza en telecomunicaciones inalámbricas el cual mediante la conversión de energía eléctrica en electromagnética, y viceversa, puede transmitir o recibir ondas de radio. Las ondas de radio conocidas como ondas de RF (del Inglés Radio Frequency), forman parte del espectro electromagnético [4]. En telecomunicaciones inalámbricas el canal es el aire, por lo tanto el éxito en el intercambio de información entre emisor y receptor se debe a:

Factores técnicos asociados con la codificación y decodificación de la información, y el diseño y construcción de las antenas.

Factores ambientales relacionados con el clima, la orografía de los lugares donde se encuentran los puntos a enlazar y las edificaciones naturales o artificiales entre ambos puntos.

El principal parámetro de diseño para cualquier sistema de telecomunicaciones electrónicas, es la frecuencia. La frecuencia es el número de ciclos que una onda completa en un segundo. Las ondas electromagnéticas (EM) son ondas de tipo sinodal, la función matemática que se utiliza para modelarlas es la siguiente:

$$S(t)=A \text{ seno}(\omega t+\phi) \quad (1)$$

El modo de propagación de las ondas electromagnéticas radiadas por una antena, depende de la frecuencia de las mismas. Las ondas electromagnéticas transversales [2] se propagan en el espacio libre, de manera implícita está dentro de este concepto el vacío, aún cuando la diferencia reside en que la atmósfera terrestre inherentemente induce pérdidas en la propagación de la energía, y estas pérdidas no se presentan en el vacío. Las ondas EM que tienen frecuencia por encima de los 30 MHz se propagan en modo línea de vista (LOS, del Inglés Line Of Sight) [5]. Las microondas [6] se propagan en modo LOS, y se utilizan para comunicaciones punto a punto, por lo cual se requieren antenas que propaguen la señal de manera muy directiva, esto implica que el patrón de radiación [2,3] tenga un lóbulo principal con un ancho de haz de potencia medio (HPBW, del Inglés Half Power Band Width) lo

más angosto posible. Las antenas con reflector parabólico [2,3,5,6] son las que se utilizan para enlaces punto a punto trabajando con frecuencias en el orden de las microondas, el rango de frecuencias más común va de 1 a 100 GHz (300 y 3 mm, respectivamente) [2,5]. Los parámetros que caracterizan a las antenas de manera general son: el patrón de radiación, la eficiencia y ganancia de la antena principalmente, con ellos se puede establecer un juicio sobre el desempeño de la antena para el enlace requerido como transmisor y receptor de la información a procesar. De entre todos los parámetros que se pueden utilizar para determinar la factibilidad técnica se eligieron seis los cuales a juicio de los autores son los necesarios y suficientes para tener un nivel mayor al 90 % de confiabilidad de que el enlace trabajará con las condiciones que requiere la comunicación entre los dos nodos de la Grid Morelos.

Metodología

Los análisis realizados en el estudio de factibilidad están enfocados a la propagación de las ondas EM y los parámetros técnicos de la antena. Los primeros son básicamente: la distancia al horizonte, la altura de la antena (la torre que sostendrá la antena en su punto más alto), las zonas de Fresnel; los parámetros de la antena: la abertura del haz de la antena, el patrón de radiación, y la ganancia en potencia básicamente. Estos parámetros fueron seleccionados por los autores, dentro de varios parámetros más relacionados con la propagación de ondas en enlaces de microondas en el aire o espacio libre, y los parámetros que caracterizan la manera en que una antena realiza la transducción de energía y que tan eficientemente radia o recibe la energía electromagnética, los autores consideran que el conocimiento de estos parámetros es necesario y suficiente para emitir un juicio de valor con respecto al estudio de factibilidad.

Línea de vista

En telecomunicaciones punto a punto entre dos puntos o estaciones en la Tierra, existe la desventaja de la curvatura de la Tierra, probada por Eratóstenes hace más de dos mil años, Stephen W. Hawking lo explica muy bien en la serie Genios [7]. De acuerdo con los cálculos de Eratóstenes (hace más de dos mil años) 804 km equivalen a una curvatura de 0.1131 radianes, para el enlace propuesto la distancia es de aproximadamente 23 km, de modo que la curvatura equivalente es de aproximadamente 0.0033

radianes, es decir en principio casi nula. La distancia al horizonte permite conocer hasta que punto dos estaciones de telecomunicaciones estarán en línea de vista, esta se calcula con la ecuación siguiente [5], Figura 1.

$$d = \sqrt{2h} \tag{2}$$

En una aproximación de la ecuación 2, se puede calcular la distancia al horizonte máxima (d) entre dos puntos de intercambio de comunicación, conociendo las alturas de la antena transmisora (ht) y la receptora (hr), ecuación 3, recuadro Figura 1.

$$d = \sqrt{2h_t} + \sqrt{2h_r} \tag{3}$$

La distancia al horizonte máxima en el caso del enlace propuesto es de 52 km, es decir 29 km más de la distancia del enlace. La altura de las torres es de 8 y 45 metros, la decisión de la altura de 45 metros, que en principio por el cálculo se puede pensar que está sobrada, está decisión fue tomada por la empresa que prestará el servicio, según los cálculos teóricos, ecuación 2, la altura es de 32 metros aproximadamente, el argumento es debido a la orografía de la zona y otras condiciones técnicas que serán explicadas posteriormente, y al resultado de la simulación realizada con el software de uso común por ellos, Figura 2. Esto indica en principio que con las altura de las torres en ambos puntos y a la distancia entre ellos se tiene una LOS libre. El enlace trabaja a la frecuencia de 5450 MHz, la cual pertenece a la banda C, y es susceptible a atenuación por condiciones atmosféricas, como la densidad del aire, vapor de agua, contaminación, etc.

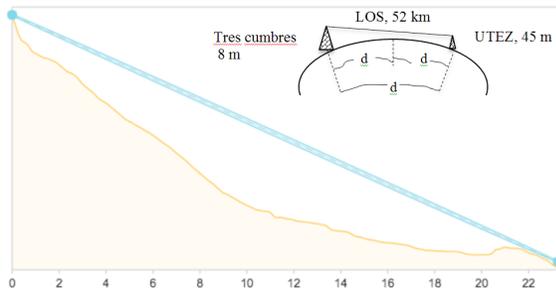


Figura 1. Perfil de la trayectoria de línea de vista (LOS).



Figura 2. Simulación de los parámetros físicos del enlace de microondas.

Abertura del haz de la antena

En el caso de las antenas con reflector parabólico, su radiación en tres dimensiones tiene un lóbulo principal muy delgado, lo cual indica que la radiación es muy directiva. La apertura del haz para el reflector parabólico se obtiene con la ecuación 4.

$$\theta = (70 \lambda) / D \tag{4}$$

El diámetro de la antena para la UTEZ es de 61 cm, por lo tanto la apertura calculada, Tabla I, indica que la transmisión de la señal es muy directiva, ideal para enlaces punto a punto, donde se requiere el intercambio de información con interferencia casi igual a cero.

Cálculo de la ganancia en potencia

El principio básico de funcionamiento de una antena, es la radiación y/o recepción de las ondas EM, mediante la transducción de la energía eléctrica en energía EM y viceversa respectivamente. Uno de los parámetros que permite medir el desempeño de una antena, o que tan bien realiza la transducción, la radiación y la recepción de la energía, es la ganancia. La ganancia está relacionada con su eficiencia de conversión, por lo que es común confundir estos parámetros, la diferencia radica en que la ganancia toma en cuenta la eficiencia así como las propiedad de radiación direccional. La ganancia es la relación entre la intensidad, en una dirección dada, y la intensidad de radiación que podría ser obtenida si la potencia aceptada por la antena fuera radiada isotrópicamente [2,3]. En el caso de una antena con reflector parabólico, la ganancia en potencia se puede estimar con el siguiente modelo matemático.

$$A_p (dB_i) = 20 \text{ Log}(f) + 20 \text{ Log}(D) - 42.2 \tag{5}$$

Donde f es la frecuencia en Mega Hertz (MHz), y D es el diámetro del reflector parabólico en metros (m). La antena propuesta tiene una ganancia en potencia expresada en decibeles referidos al radiador isotrópico [2], el resultado se muestra en la Tabla I.

Cálculo de pérdidas por dispersión

La energía electromagnética al propagarse en realidad no se pierde, en términos de pérdida de energía, más bien se dispersa, se reparte o se expande conforme se va alejando de la fuente que la genera, esto provoca una menor densidad de potencia en diversos puntos alejados de la fuente, lo cual puede ser entendido con los conceptos de campo cercano (región reactiva o campo de inducción), campo lejano o región de radiación, dividido en la región de Fresnel y de Fraunhofer [2,3]. Sin embargo en enlaces de telecomunicaciones es utilizado el término pérdidas por trayectoria en espacio libre, como un tecnicismo para la adecuada manipulación de las ecuaciones, esta pérdida por propagación se calcula con base en la distancia del punto transmisor al punto de interés (d , en metros), la frecuencia de trabajo de la antena (f , en Hertz), y la velocidad de propagación de las ondas EM, en el medio en que se encuentran (V_m , en metros sobre segundo), ecuación 6.

$$Pd = \left(\frac{4\pi df}{V_m}\right)^2 \quad (6)$$

Si el aire (promedio, $n = 1.00029$ [2,3]) es el medio por el que las ondas se propagan la ecuación 6, para realizar el cálculo en decibeles (dB), que es la unidad de medida técnicamente más utilizada, se puede escribir de la manera siguiente:

$$Pd (dB) = 20 \text{Log}(f) + 20\text{Log}(d) + 32.44 \quad (7)$$

La frecuencia, f , está en unidades de Mega Hertz (MHz), y la distancia, d , en la distancia en kilómetros (km). El resultado se muestra en la Tabla I.

Zonas de Fresnel

El espacio que rodea a una antena usualmente se divide en tres regiones [2], una de ella es la radiación de campo cercano o de Fresnel, el radio de esta zona depende de la frecuencia de trabajo de la antena y del diámetro del reflector parabólico, Ecuación 8.

$$0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} < \text{Región}_{fresnel} < \frac{2D^2}{\lambda} \quad (8)$$

Las zonas o regiones de Fresnel zone, también es una manera de calcular el radio de curvatura de una zona intangible entre las antenas de comunicación, en principio se asume una trayectoria libre entre ambos puntos, sin embargo puede haber obstáculos entre ambos puntos, la altura de tales obstáculos puede interferir en la comunicación de manera constructiva o destructiva. La energía EM, experimenta los fenómenos ópticos como reflexión, refracción, difracción y dispersión, de modo que es importante conocer el radio de curvatura de las zonas de Fresnel, con el fin de conocer la altura de los obstáculos que puedan provocar este tipo de fenómenos ópticos. El radio de curvatura de las zonas de Fresnel puede ser calculado con la ecuación siguiente:

$$F_1 = \sqrt{\lambda \frac{d_1 * d_2}{d_1 + d_2}} \quad (9)$$

Los obstáculos en la primera zona de Fresnel pueden provocar un desfase de señal de 0 a 90 grados, en la segunda zona puede ser de 90 a 270 de desfase y en la tercera zona de 270 a 450 grados, etc., las zonas impares crean interferencia constructiva y las pares crean interferencia destructiva [1,2,3]. La ecuación para calcular las diferentes zonas de Fresnel, se presenta en la Tabla I, así como el resultado del cálculo de la primera zona para el enlace expuesto en este trabajo. El radio de la primera zona de Fresnel, es de aproximadamente 17.8 m, lo cual significa que cualquier obstáculo que esté a 18 metros de la línea de vista entre las dos antenas, provocará interferencia constructiva. Con los datos obtenidos de la orografía y arquitectura entre el enlace propuesto, la primera zona de Fresnel queda libre.

Ecuación de transmisión de Friis

Este parámetro basado en tres ecuaciones, indica la potencia de entrada de la antena transmisora (P_t) y la cantidad de potencia que colecta la antena receptora (P_r), separadas por una distancia $R > 2D^2/\lambda$, en este caso D es el diámetro del reflector parabólico. En cierta manera es una medida de la eficiencia total del enlace en cuanto a conversiones de energía (la antena es un transductor), las pérdidas en las líneas de transmisión, y las pérdidas por dispersión en trayectoria libre, las ecuaciones de transmisión de Friis, se enlistan en la Tabla I, así como el resultado del cálculo, en todos los casos el subíndice "t" se refiere a la antena transmisora y "r" a la antena receptora.

Tabla I. Resultado de los cálculos

Parámetro	Ecuación	Resultado
Línea de vista	$d = \sqrt{2h_t} + \sqrt{2h_r}$	52 km
Apertura del haz de la antena	$\theta = \frac{70 \lambda}{D}$	6.31°
Ganancia en Potencia	$A_p (dB_i) = 20 \text{Log}(f) + 20\text{Log}(D) - 42.2$	60 dBi
Pérdidas por dispersión	$Pd (dB) = 20 \text{Log}(f) + 20\text{Log}(d) - 147.56$	134 dB
Zonas de Fresnel	$0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} < \text{Región}_{fresnel} < \frac{2D^2}{\lambda}$ $F_1 = \sqrt{\lambda \frac{d1 * d2}{d1 + d2}}$	1.26 – 13.52 m 17.78 m
Friis	$\frac{P_r}{P_t} = e_t e_r \frac{\lambda^2 D_t(\theta_t, \phi_t) D_r(\theta_r, \phi_r)}{(4\pi R)^2}$	1.29×10^{-10}

La ecuación de transmisión de Friis depende de: la eficiencia de las antenas (e_t, e_r), la longitud de onda correspondiente a la frecuencia de trabajo del enlace (λ , en este caso λ es igual a 0.055 m aproximadamente), la Directividad de las antenas (D_t, D_r , ambas función de los ángulos azimutal y de elevación) y la distancia entre las antenas (R , 23 km en este caso), Figura 3.

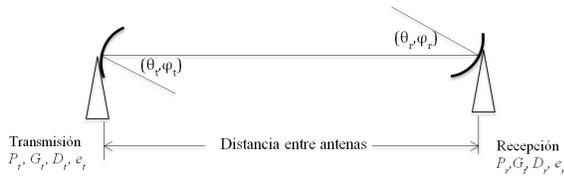


Figura 3. Representación gráfica de la ecuación de transmisión de Friis.

Macro en hoja de cálculo para obtener los parámetros automáticamente

Un trabajo adicional se diseñó con el fin de automatizar los cálculos, en una hoja simple de cálculo, es a manera de un macro sencillo, con datos de entrada: frecuencia del enlace, en MHZ, distancia entre los puntos de enlace, en kilómetros (km), el índice de refracción del medio de propagación, las alturas de las antenas transmisora y receptora, en metros (m), y los ángulos de inclinación de las antenas con respecto a la línea de vista, en grados. Con lo que se obtiene el cálculo de los parámetros del enlace descritos en este trabajo y mostrados en la Figura 4.

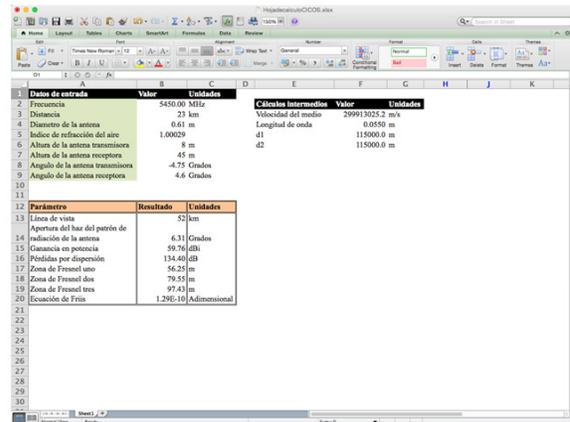


Figura 4. Cálculo automático de los parámetros del enlace de microondas utilizando una hoja de cálculo.

Conclusiones

El resultado del estudio de factibilidad es positivo, debido a que con las circunstancias analizadas y mencionadas en el trabajo, es posible que exista una casi ininterrumpida comunicación punto a punto, entre los puntos tres cumbres y la UTEZ. Los elementos técnicos analizados garantizan una comunicación constante, rápida efectiva y eficiente entre estos puntos, siendo importante tener en cuenta que como toda comunicación inalámbrica es susceptible a las condiciones climáticas, que como ya se mencionó, son muy diferentes en ambos puntos del enlace, a pesar de que sólo los separan alrededor de 23 km. Es posible tener una comunicación constante entre los nodos de manera exclusiva, sin tener que utilizar la infraestructura interna de telecomunicaciones y redes de ambas instituciones, permitiendo a la red incrementar la capacidad de procesamiento de cómputo en todo momento, sin interrupciones.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los estudiantes de Ingeniería en Tecnologías de la Información, Antonio Motos Bermúdez y Salvador Rojas Hernández por su valioso trabajo, en todo lo relacionado con la instalación del nodo UTEZ y del estudio de factibilidad técnica. También agradecen al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PRODEP), por el apoyo con los proyectos: “Estudio de Problemas de Optimización Combinatoria Aplicando Heurísticas Computacionales en Ambiente Grid”. Número: SA-DDI-UAEM/15/451; “Actualización de la infraestructura del nodo UTEZ perteneciente a la red Grid computacional Morelos para el estudio de problemas complejos”, Proyecto PRODEP, como nuevo PTC; “Estudio de Problemas de Optimización Combinatoria Aplicando Heurísticas Computacionales en ambiente Grid”, Proyecto aprobado convocatoria PRODEP “Integración de Redes Temáticas de Colaboración Académica”.

REFERENCIAS

1. The IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas. IEEE Std 145 – 1983.
2. Balanis, A., Constantine. Antenna Theory, third edition. New York: John Wiley and Sons, 2005.
3. Tomasi, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. México: Pearson Educación, 2003.
4. Salinas, O. H., Luna, M., Estrada, A. Energía Limpia con Celdas Solares. Hypatia. 2012, 44, 26 – 27.
5. Couch W. Leon II. Digital and Analog Communication Systems, eight edition. New York: Pearson, 2013.
6. Sanjay, Kumar., Saurabh, Shukla. Concepts and Applications of Microwave Engineering. Delhi: 2014.
7. National Geographic., Stephen W. Hawking. Serie: Genios por Stephen Hawking.

Acerca de los autores



Oscar Hilario Salinas Aviles, Doctor en Ingeniería, área energía, por el Centro de Investigación en Energía de la Universidad Nacional Autónoma de México (CIE - UNAM), 2007. Maestro en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica, especialidad en electrónica del estado sólido, por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV – IPN), 1997. Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del IPN (ESIME – IPN), 1995. Seis años de experiencia en la industria electrónica en Motorola de México, planta Guadalajara, como Ingeniero de Device, participando en proyectos de transferencia de tecnología de Phoenix, Arizona, a Guadalajara, México y de Guadalajara a Keelung, Taiwan. Actualmente Profesor en la Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos, en el área de redes y telecomunicaciones. Miembro C del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y del Sistema Estatal de Investigadores (SEI – Morelos).



Martha Elena Luna Ortiz, Maestra en Tecnologías de la Información, del Instituto Tecnológico de Zacatepec, 2007. Ingeniera en Sistemas Computacionales, del Instituto Tecnológico de Zacatepec, 2001. Profesora de la Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos desde el 2007, adscrita a la División Académica de Tecnologías de la Información Área Redes y Telecomunicaciones. Es instructora certificada de Cisco, participando en proyectos de Capacitación a nivel nacional e internacional. Miembro del Sistema Estatal de Investigadores (SEI – Morelos). Actualmente está a cargo del Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico, impulsando proyectos tecnológicos y de innovación, entre los que se encuentra la GRID Morelos.



María Fernanda Díaz Ayala, Ingeniera en Comunicaciones y Electrónica, titulada en 2003 por el Instituto Politécnico Nacional. En 2006 recibió el grado de Maestra en Ingeniería y Ciencias Aplicadas con opción terminal en Tecnología Eléctrica por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. En 2010 recibió el grado de Doctora en Ingeniería y Ciencias Aplicadas con opción Terminal en Tecnología Eléctrica por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (CIICAp–UAEM). Desde el 2015 trabaja en la Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos (UTEZ) como profesor investigador en el área de Tecnologías de la Información y Comunicación. Actualmente trabaja en el desarrollo e implementación de una Grid Computacional en conjunto con investigadores del Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la UAEM, que tiene como objetivo transferir conocimiento y aplicación de Tecnologías de Red Convergentes a través de la implementación de un mecanismo de seguridad informática.



José Crispín Zavala Díaz, Doctor en Ciencias Computacionales por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey en el 2000. Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico en 1992. Ingeniero Industrial en Mecánica en el Instituto Tecnológico de Puebla en 1987. Investigador del Instituto de Investigaciones Eléctricas del 1987 a 1995. Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos de 1999 a la fecha. Representante del Cuerpo Académico “Investigación de Operaciones e Informática” Miembro del Sistema Estatal de Investigadores (SEI – Morelos). Líneas de investigación de Interés. Desarrollo y aplicación de procedimientos para resolver problemas de optimización discreta y lineal. Desarrollo de métodos y procesos para su aplicación en la informática