

# Diseño 3D y caracterización general de un nanorobot Ciliar

## 3D design and general characterization of a Ciliar nanorobot

Jesús Álvarez-Cedillo<sup>1</sup> , Juan Carlos Herrera-Lozada<sup>2</sup> , Patricia Pérez Romero<sup>2</sup>Instituto Politécnico Nacional

<sup>1</sup>Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas  
Av. Té # 950, Col. Granjas México, C.P. 08400, Del. Iztacalco, Ciudad de México, México

<sup>2</sup>Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo  
Av. Juan de Dios Bátiz s/n esq. Miguel Othón de Mendizábal, Col. Nueva Industrial Vallejo, Del. Gustavo A. Madero, Ciudad de México, C.P. 07700  
E-mail {jaalvarez, jlozada, promerop}@ipn.mx

### PALABRAS CLAVE:

Nano-tecnología, Nano-robots, nanociencia, robots celulares.

### RESUMEN

En la fertilización humana, la vida comienza a desplegarse con sólo una célula, que se divide en dos células, luego, continua con esta operación sucesivamente para crear un ser complejo (un ser humano). La nanotecnología tiene como objetivo construir máquinas o robots similares o equivalentes más pequeños que las células vivas e implementar un control de precisión nanoscópico. Los robots en estas dimensiones físicas son llamados nano-robots, nano dispositivos teóricos que serán utilizados para el propósito de mantener y proteger el cuerpo humano contra los agentes patógenos y bacterias. Los Nano-robots podrían teóricamente curar todas las enfermedades comunes, pero también sus consecuencias negativas son enormes.

### KEYWORDS:

Nanotechnology, nanorobots, nanodevices, cells robots.

### ABSTRACT

In the Human Fertilization, life begins to unfold with only one cell, which is divided into two cells, then, continuing this operation successively to create a complex being (a human). Nanotechnology aims to build machines or similar or equivalent robots smaller than living cells and implement a nanoscopic precision control. Robots in these physical dimensions are called nanorobots, theoretical nanodevices that will be used for the purpose of maintaining and protecting the human body against pathogens and bacteria. The Nanorobots could theoretically heal all common diseases, but also negative consequences are enormous.

Recibido: 31 agosto del 2017 • Aceptado: 4 de diciembre del 2017 • Publicado en línea: 28 de febrero del 2018

## 1. INTRODUCCIÓN

La célula es la unidad anatómica fundamental de todos los seres vivos. Está formada por citoplasma, uno o más núcleos y una membrana que la rodea. Un cuerpo humano típico tiene alrededor de 100 billones de células. Las células se miden en unidades llamadas nanómetros (nm). Una célula típica en el cuerpo humano varía de 1.000 a 100.000 nanómetros de diámetro.

Un Nanorobot tiene un tamaño alrededor de 200-5000 nanómetros. El elemento principal que utiliza es el carbono en forma de nanocompuestos de diamantes y fullereno, el cual es la tercera forma molecular más estable del carbono, tras el grafito y el diamante, ambos materiales debidos a la fuerza y la inercia química de estas formas [1]. La reacción del sistema inmune del cuerpo se reduce si este recubrimiento es suave y sin defectos. Observe la figura 1.

De acuerdo a los enfoques antes presentados se presenta una caracterización de movimientos basados en VIRUS y por lo tanto en movimiento basado en cilios.

Los cilios son unos orgánulos exclusivos de las células eucariotas, que se caracterizan por presentarse como apéndices con aspecto de pelo que contienen una estructura central altamente ordenada, constituida generalmente por más de 600 tipos de proteínas, envuelta por el citosol y la membrana plasmática.

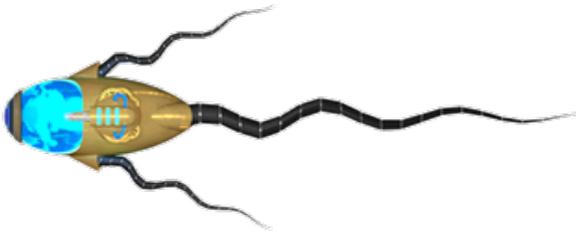


Figura 1. Un Nanorobot de 100 nm.  
(<http://www.vix.com>)

Tomamos como base un protozoo ciliado el *Balantidium coli* el cual es patógeno para el hombre. Su forma es ovalada y su tamaño oscila entre 10 mm y 4 mm. Como su nombre indica emplean cilios como orgánulos locomotores. Los cilios se encuentran en la superficie y, en general, están dispuestos en hileras longitudinales o en espirales en torno al cuerpo. Estructuralmente presentan los elementos característicos de las células

eucariotas. Tienen un citostoma o boca celular rodeada de múltiples cilios. Su función es la ingestión de partículas (bacterias, otros protozoos, detritus celulares, etc.). El alimento tras penetrar por el citostoma se localiza en las vacuolas fagocitarias o alimentarias que se fusionan con los lisosomas produciéndose la digestión. Dadas las dimensiones anteriormente citadas, la simulación para definir sus características, deberán de ser tratadas INSILICO (usando computadoras).

### 1.1. ¿Qué Interés Tiene?

Los tratamientos actuales para las enfermedades tienen dos limitaciones:

1. Cualquier nivel de la medicación se inicia con el proceso de diagnóstico de la enfermedad, lo que implica la determinación de la causa y la naturaleza de la enfermedad con el fin de proporcionar una base lógica para el tratamiento.

2. La medicina actual todavía es limitada en su comprensión y en sus herramientas.

La aplicación de Nanorobots podría ser una solución a muchas enfermedades curando el cuerpo desde adentro, ya que son dispositivos extremadamente pequeños que operan con precisión atómica. Operando a este nivel de precisión significa el control total de la estructura de la materia. Los Nanorobots son más pequeños que las células vivas, y pueden estar equipados con diversas herramientas para manipular, invadir e intervenir átomos individuales. Debido a sus implicaciones de largo alcance podrían crear un nuevo paradigma médico.

El estrés inducido por una enfermedad o ataque infeccioso de un virus o de una bacteria, conduce a cambios en la composición química de la célula, en la química celular esta propiedad del Nanorobot es aprovechada con el fin de desencadenar una reacción de alerta en los nanorobots. El tamaño de un Nanorobot tiene que ser lo suficientemente pequeño como para pasar por las barreras naturales y especialmente el interior de la célula.

Utilización de las moléculas de quimio terapia con un agente de dirección así apropiado puede reducir su toxicidad por diez veces e incluso más [7]. La cáscara externa es un punto crucial, ya que tiene que ser reconocido como una parte del cuerpo (revestimiento inerte) y ser capaz de liberar diferentes moléculas de tamaño sintonizable (porosidad).

Las especulaciones de su uso son muy variadas y en todos los campos de la ciencia, aquí se presentan unos ejemplos relevantes:

1. Para curar enfermedades de la piel: se puede usar una crema que contiene nanorobots. Es posible eliminar la cantidad adecuada de la piel muerta, retirar el exceso de grasa, agregar los aceites si faltan y al final, aplicar la cantidad adecuada de compuestos naturales de hidratación.

2. Manejo de Contenidos peligrosos: Cuando se identifica un elemento invasor, que puede perforar un recipiente y derramar el contenido. La máquina inmunológica puede buscarlo para eliminar el elemento, cubrirlo o anularlo.

3. Dispositivos de monitoreo celulares: Estos monitores no solo serían preventivos, también podrían restaurar las paredes de las arterias, verificar el flujo de la sangre con el fin de evitar congestionamientos y mal funcionamiento y con ello evitar un ataque al corazón.

4. Cirugía estética: Permitiría cambiar el color de piel, ojos o una zona específica, también podría modificar la nariz o la oreja, por la reordenación de los átomos y las moléculas en esas áreas.

¿Cuál es la pregunta de investigación? ¿Es posible caracterizar los movimientos ciliares del virus de la influenza en un nanorobot de características y funciones estándar, bajo los parámetros de la teoría Nanorrobótica?

## 2. TRABAJO RELACIONADO

Existen poco trabajos que realizan la caracterización de movimiento o de los componentes de un nano robot. (Freitas 2007) Presenta el diseño de un Nano-robot reparador de ADN.

(Freitas 2007). presenta el diseño de un Nano-robot reparador de ADN, posee un sensor y el módulo de reparación, un lugar donde las proteínas del ADN se adhiere y un sistema de fijación, tomar, analiza y fijar una molécula de ADN individuales. La primera molécula de ADN se une a la superficie del nanobot, luego el nanobot explora nucleótidos, en busca de fragmentos dañados, un fragmento no válido se retira y el ADN está reparado. Observe la figura 2.



Figura 2. Diseño del Chromalloy

Lewis, B. E. Koel, and M. E. Thompson [2], Proponen un Nanorobot flagelar capaz de difundir libremente en el cuerpo humano e interactuar con la célula específica a nivel molecular por sí mismo. La figura 3 muestra una representación esquemática de un Nanorobot. Un nanorobot está formado por los siguientes elementos:

1. Pinza manipuladora.
2. Un macro manipulador telescópico.
3. Un nano manipulador.
4. Un manipulador central.
5. Un nano sensor biomolecular.
6. Un sensor acústico.
7. Un sensor de ambiente.
8. Una antena omnidireccional.
9. Un conector de enlace.
10. Una flagela de locomoción.
11. Un conector de flagela neumático.
12. Un nano manipulador Celular.

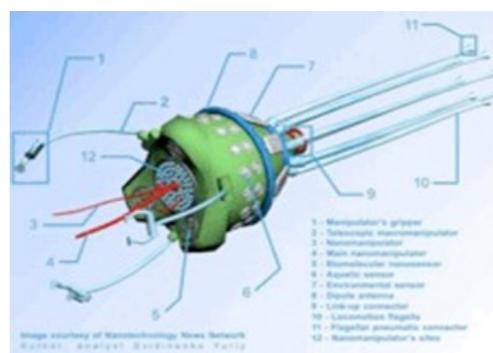


Figura 3. Estructura de un Nano-robot (Nanotechnology News Network, Svidinenko Yuriy)

Como se puede apreciar la característica de ser un robot flagelar, el movimiento del flagelo es aproximadamente 5060 veces el largo de la bacteria/seg. Este movimiento ocurre por rotación del flagelo, como si fuera una hélice y representa un tipo de locomoción eficaz.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Caracterización y modelado 3D del Nanorobot

Los cilios son expansiones celulares filiformes, de unos 0,25  $\mu\text{m}$  de diámetro y unos 10 a 15  $\mu\text{m}$  de longitud, que aparecen en las células animales y en algunos protozoos. Son estructuras que pueden moverse y su principal misión es la de desplazar fluidos. Los organismos unicelulares los usan para moverse ellos mismos o para arremolinar el líquido que les rodea y así atraer alimento. El tipo de movimiento que realizan es de bateo, a modo de látigo, de manera sincronizada, produciendo una especie de ola que desplaza el fluido en una dirección paralela a la superficie de la célula.

El movimiento ciliar se deberá de realizar en dos fases:

1. En la primera fase como ya fue reportado, se realiza un barrido rápido en un plano que se produce por el flexionamiento de la región basal del cilio, describiéndose un ángulo de 90 grados, llamada como golpe o bateo eficaz.

2. En la segunda fase el movimiento del cilio se realiza lentamente en el cual regresa a su estado de posición original. En este movimiento se describe una curva a la cual se denomina golpe o bateo de retorno. La recuperación comienza en la zona flexionada del cilio pero la flexión se va propagando hacia punta a medida que el cilio gira. Los cilios de una célula se mueven de forma coordinada, que es meta crónica en el plano de movimiento: cada cilio realiza el mismo movimiento con el anterior pero con un retraso de fracciones de segundo y es isocrónica respecto al plano perpendicular al plano de movimiento, es decir, todos los cilios del incluso plano están en la misma fase de movimiento.

Antes de entender el funcionamiento del Nanorobot propuesto, debemos tener la idea básica de lo que son los requisitos de un nanorobot que se insertan en el cuerpo humano. Algunos de los requisitos son los siguientes:

1. Debe ser móvil.
2. Requiere de un potente sistema de navegación, debido a sus funciones en la corriente de la sangre humana y de los tejidos.
3. Se puede tener una amplia gama de sensores para navegar a través del cuerpo humano y para identificar las moléculas y las células más rápido.

4. Es posible que tenga potentes subsistema de transporte para entregar las moléculas y los átomos del trabajo nanomanipuladores de sistemas de almacenamiento.

5. También debe tener una amplia gama de equipo guiada nanomanipuladores.

6. Puede tener manipuladores telescópicos largos para mantener las células o superficies.

Las comunicaciones del Nanorobot son esenciales ya que es necesario:

1. Coordinar las actividades de cooperación complejas y de gran escala.
2. Pasar junto pertinentes sensoriales mensajería de navegación y otros datos;
3. Monitorear el progreso de la tarea colectiva;
4. Ser capaz de recibir mensajes y transmitir tanto al paciente humano y entidades externas.

La comunicación de los Nanorobots [Freitas2005], [4] se da en las siguientes vías:

1. Se comunican con máquinas fuera del cuerpo humano.
2. Se comunican con otros robots en el interior del cuerpo humano.
3. Se comunican con órganos, tejidos, o sistemas celulares

La comunicación entre los nanorobots por medio de ondas; acústica, eléctrica u óptica, es probable que sea difícil debido a los pequeños tamaños de antena. Hay muchas maneras diferentes de comunicarse con nanorobots mientras están trabajando.

Una de las maneras más simples de enviar mensajes de tipo broadcast en el cuerpo, para ser recibido por nanorobots [Patel2006], es la mensajería acústica. Un dispositivo similar a una sonda de ultrasonido podría codificar los mensajes en las ondas de portadora acústica a frecuencias entre 1 a 10 MHz. Así, el médico supervisor puede enviar fácilmente nuevos comandos o parámetros de nanorobots ya en el trabajo en el interior del cuerpo [6].

Cada nanorobot tiene su propia fuente de alimentación, el ordenador y sensorial, por lo tanto puede recibir mensajes del médico a través de sensores acústicos, a continuación, calcular y aplicar la respuesta adecuada [5]. La otra mitad del proceso está recibiendo mensajes de vuelta fuera del cuerpo, para el médico.

Esto también se puede hacer acústicamente. Requerimientos de energía a bordo para los generadores de ondas acústicas en una corriente dictan un alcance máximo de transmisión práctico de como máximo unos pocos cientos de micras para cada individuo nanorobot. Es conveniente establecer una red de comunicación interna que puede recoger los mensajes locales y pasar a lo largo de una céntrica utilizando detectores de ultrasonidos sensibles para recibir los mensajes [5]. Los componentes básicos del Nanorobot es el siguiente:

1. Brazo robótico.
2. Un macro manipulador telescópico.
3. Un nano sensor biomolecular.
4. Un sensor acústico.
5. Un sensor de ambiente.
6. Una antena omnidireccional.
7. Locomoción Ciliar.
8. Un nano manipulador Celular.

Se desarrolló el modelo 3D conceptual basado en las características del protozoo ciliado, *Balantidium coli*, el único miembro de la familia Balantiididae que se conoce como patógeno para los seres humanos. Sus huéspedes incluyen cerdos, jabalíes, ratas, primates, seres humanos, caballos, vacas y cobayos. La infección es producida entre estas especies por transmisión fecal-oral. Los cerdos son los reservorios más comunes, aunque muy pocos presentan síntomas.

Este protista ciliado parásito es mostrado en la figura 4. Nuestro modelo 3D propuesto fue caracterizado en Blender para medir 90 nm con las características de funcionamiento de la lista anterior y cuyo modelo final sin cilios se muestra en la Figura 5.



Figura 4. *Balantidium coli* de 80 nm esférico. (Malmsten, 1857)

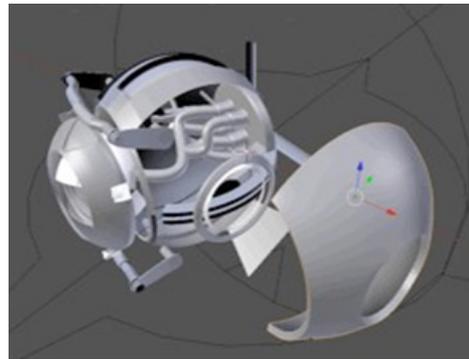


Figura 5. Modelo 3D de un Nano-robot de movimiento ciliar basado en el virus de la influenza

Los valores típicos para un ser humano adulto, sano, en descanso, son aproximadamente 120 mmHg (16 kPa) para la sistólica y 80 mmHg (11 kPa) para la diastólica. Estas medidas de presión sanguínea no son estáticas, experimentan variaciones naturales entre un latido del corazón a otro y a través del día; también cambian en respuesta al estrés, factores alimenticios, medicamentos, o enfermedades.

Para la caracterización del entorno se colocó un tubo cilíndrico con flujo de sangre simulando unas arterias, las cuales tiene una pared de 20mm y 16 kPa. Observe la figura 6.

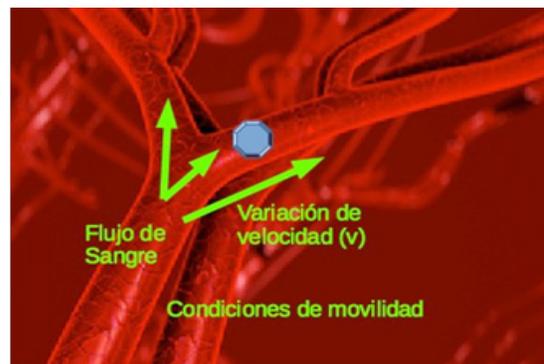


Figura 6. Ambiente de simulación

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Modelo 3D

Con todos los datos anteriores de la caracterización del Nanorobot de movimiento ciliar se desarrolló el modelo tridimensional del proyecto en Blender usando armaduras y huesos gráficos. Obteniendo un modelo impresionante que permite su animación, además de su simulación en un sistema de fluidos (Sangre) obteniendo con ella una caracterización correcta. Como resultado de

lo dicho anteriormente, tenemos una animación que es lo suficientemente fina como para ser utilizada como referencia de construcción. El resultado obtenido se puede ver en la figuras 7, 8 y 9.



Figura 7. Modelo 3D de un Nano-robot de movimiento ciliar.

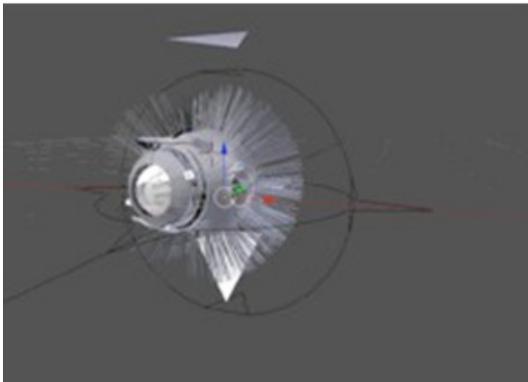


Figura 8. Sistema de movimiento de un Nano-robot de movimiento ciliar.

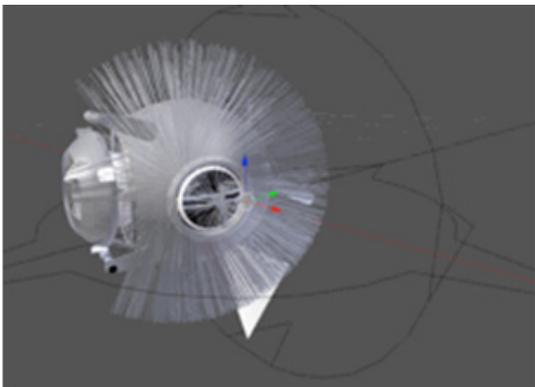


Figura 9. Sistema de huesos de un Nano-robot de movimiento ciliar.

4.2. Calculo de la velocidad del fluido en la simulación

La presión sanguínea en nuestra simulación fue calculada y expresada como fluido newtoniano, debido a que su viscosidad puede considerarse constante en el tiempo.

Un buen número de fluidos comunes se comportan como fluidos newtonianos bajo condiciones normales de presión y temperatura.

## 5. CONCLUSIONES

La estimación científica y caracterización de un Nanorobot para adaptarlo para operar en un sistema humano, permite dar la pauta del tipo de sistemas electrónicos y mecánicos que se requieren implementar.

Los valores obtenidos en los resultados fueron muy aproximados a los valores presentados en la realidad, sin embargo a nivel de componente permitieron la caracterización de velocidad, fuerza, energía empleada y resistencia del prototipo creado. Esperamos un comportamiento semejante en un organismo al ser implementado.

Observamos que las formas de onda de la sangre también se pueden analizar utilizando modelos de Fourier para cuantificar la dinámica de la presión sanguínea y el flujo. El fluido en la descendente anterior (LAD) se calculó y presentó una velocidad aproximada a 38 cm/sec, como es típico del flujo en la aorta y las arterias vasos.

La velocidad en las variaciones por simulación alcanzo hasta 120 cm/sec durante una fase sistólica. Para los robots a nano escala que operan en los fluidos de viscosidades ordinarias, como condiciones de contorno, la velocidad  $v$  del fluido coincide con la velocidad de cada objeto en el líquido en la superficie del objeto. También al imponer una velocidad de entrada constante a lo largo de la tubería como una condición límite para mantener el flujo de fluido, detectamos un gradiente de presión impuesto sobre el fluido.

Por ultimo a manera de discusión observamos que el mayor reto que los científicos se enfrentan hoy en el diseño de Nanorobots, es la falta de procedimientos eficaces para la construcción de estos nanos dispositivos.

Aunque se ha cumplido este desafío, la próxima gran preocupación sería si el sistema inmune está de acuerdo con la presencia de un agente extraño, como un Nanorobot en el cuerpo humano y si es posible coordinar y mantener comunicación con los nanos dispositivos. Su eliminación del cuerpo después de que se ha cumplido la tarea asignada sigue siendo una gran pregunta sin respuesta.

También puede tener otros usos, prácticas, tales como la mejora de enjuagues bucales y cremas cosméticas. La gente puede imaginar un futuro en el que pueden auto-diagnosticar sus 'propias enfermedades con la ayuda de monitores alimentados remotamente por Nano-robots y maquinas médicas que tomen todo tipo de lecturas de estado de un ser humano desde su interior. La cirugía invasiva será reemplazada por una operación celular, llevada a cabo por los robots nano-quirúrgicos.

Los Nanorobots serán el precedente tecnológico y referencia en la próxima revolución en la tecnología y la medicina.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Politécnico Nacional y a la Secretaría de Investigación y Posgrado del IPN por todo el apoyo para la realización de este artículo

## REFERENCIAS

- [1] L.Dong, F. Arai and T. Fukuda, 3D nano robotic manipulation of multi-walled carbon nano tubes, Proc. IEEE Intl Conf. on Robotics and Automation, Seoul, S. Korea, 2001.
- [2] Lewis, B. E. Koel, and M. E. Thompson, Layered nano assembly of three dimensional structures, Proc. IEEE Intl Conf. on Robotics and Automation, Seoul, S. Korea, 2001.
- [3] Freitas Jr RA. Microbivores: artificial mechanical phagocytes using digest and discharge protocol. J Evol Technol 2005 Apr; 14:1e52.
- [4] Drexler KE. Nanosystems: molecular machinery, manufacturing, and computation. New York: John Wiley and Sons; 1992.
- [5] A.Cavalcanti, T. Hogg, B. Shirinzadeh, H.C. Liaw, Nanorobot Communication Techniques: A Comprehensive Tutorial, Proceedings on Control, Automation, Robotics and Vision, Grand Hyatt, Singapore, December 2006.
- [6] G.M. Patel, G.C. Patel, R.B. Patel, J.K. Patel, M. Patel, Nanorobot: Aversatile tool in nanomedicine, J. of Drug Targeting; Feb 2006.

SEMBLANZA



Jesús Antonio Álvarez Cedillo. Graduado como Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, en 1997, por la ESIME del Instituto Politécnico Nacional, en la Ciudad de México; posteriormente como Maestro en Ciencias de la Informática por la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas (UPIICSA), del Instituto Politécnico

Nacional en el año 2002. Desde 2017 Doctor en Educación de la Universidad de Baja California y Candidato a Doctor en Tecnologías Avanzadas en el Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (CIITEC) del Instituto Politécnico Nacional. Ha ejercido como Profesor e Investigador de tiempo completo de La Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas (UPIICSA). Ha publicado diversos artículos relacionados con la arquitectura de computadoras, pro- cesamiento paralelo y algoritmos de alto desempeño.



Juan Carlos Herrera Lozada. Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional, en la Ciudad de México, en el año 1996. En 2002 obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería de Cómputo con especialidad en Sistemas Digitales, y en 2011 obtuvo el grado de Doctor en Ciencias de

la Computación, ambos en el Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional, también en la Ciudad de México. Actualmente está adscrito al Cidetec del Instituto Politécnico Nacional, donde ingresó desde 1998. Ha sido autor de diversos artículos y ponente en congresos nacionales e internacionales.



M. en C. Patricia Pérez Romero

Es Ingeniera en Computación egresada de la Universidad Nacional Autónoma de México; obtuvo la Maestría en Educación por el Instituto Politécnico Nacional, cuenta con diversos cursos y diplomados, ha sido coautor en publicaciones nacionales e internacionales.

Sus áreas de interés son el cómputo paralelo y las arquitecturas distribuidas, el modelado gráfico, la realidad virtual y la realidad aumentada. Es Profesora Investigador y Jefa del Departamento de Investigación del Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo, CIDETEC; del Instituto Politécnico Nacional.