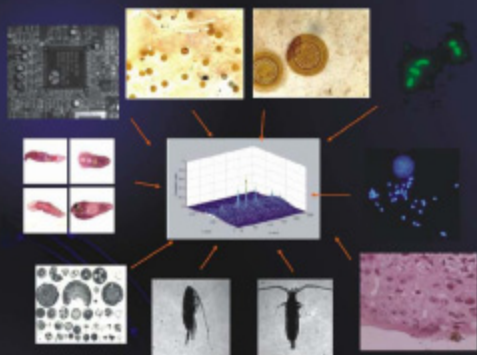


# Introducción a la identificación automática de **organismos y estructuras** **microscópicas y macroscópicas**



JOSUÉ ÁLVAREZ BORREGO  
Y MARÍA CRISTINA CHÁVEZ SÁNCHEZ

Universidad de Guadalajara  
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada  
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C.

La ciencia transdisciplinaria se basa en conjuntar cuerpos teóricos y metodológicos característicos de disciplinas individuales para lograr un nuevo enfoque en el entendimiento de un tema de investigación. Es por ello que la obra *Introducción a la identificación automática de organismos y estructuras microscópicas y macroscópicas*, editada por los doctores Josué Álvarez Borrego y María Cristina Chávez Sánchez, constituye un aporte particularmente notable. El esfuerzo por integrar conceptos fundamentales de la óptica, las matemáticas, la biología, la microbiología y la electrónica en una obra coherente y con un objetivo claro como lo es la capacidad de identificar células, microorganismos, así como organismos y objetos más complejos, utilizando conceptos avanzados en el procesamiento de imágenes, ha resultado en un esfuerzo profundamente innovador.

Inocencio Figueroa Chiapara

Director General del CIAD, 1991-2002. Director Adjunto de Conacyt (2003-2007).

Investigador Titular del CIAD (2007-2008)

En esta obra didáctica y objetiva se presentan técnicas óptico-digitales para el análisis y reconocimiento de imágenes con aplicación al estudio de diversas muestras biológicas en las que se requieren procesamiento rápidos y eficientes de imágenes, identificación de grandes cantidades de muestras, seguridad en el manejo de éstas, y que los resultados no dependan del operador. Así mismo, se presentan interesantes aplicaciones para la realización de pruebas de inspección en circuitos impresos y en interferometría óptica de desplazamiento vectorial. El libro presenta resultados valiosos que muestran de manera contundente el proceso Investigación-Desarrollo-Innovación en áreas de interés actual. Su utilidad como libro de consulta será invaluable para estudiantes, profesores e investigadores directamente relacionados con los temas tratados.

Dr. Martín Luis Celaya Barragán

Director de Física Aplicada CICESE (1974-1990), Director General de IEDT (1990), Director Adjunto de

Modernización Tecnológica Conacyt (1991), Director Regional Noroeste de Conacyt (1992-2006), Director

General Interino de CIBOR (2006-2007), Consultor independiente (2007-2008).

La interrelación disciplinaria, tan necesaria en esta época de rápida generación de conocimiento, es una condición prácticamente obligada, particularmente cuando el desarrollo de técnicas nuevas necesita ser respaldado por trabajos que le den un sentido práctico. En esta obra, los editores nos presentan el resultado del esfuerzo de 18 especialistas — incluidos ellos mismos — en diferentes temáticas. Todas las contribuciones inciden en la utilización de las técnicas ópticas discutidas en diferentes áreas del conocimiento científico-tecnológico y en diferentes esferas de importancia económica y de salud para la sociedad. En suma, esta obra es un excelente ejemplo de la manera como el trabajo interdisciplinario nos facilita el desarrollo de tecnologías de punta.

Dr. Alfonso A. Gardea

Fundador y Coordinador de las Unidades Cuantitativas y Delicias del CIAD (1997-2002).

Director General del CIAD (2002-2007), Investigador Titular (2008).

Investigador Nacional y miembro de la Academia Mexicana de Ciencias.



# VENTA DEL LIBRO

**Introducción a la identificación automática de organismos y estructuras  
microscópicas y microscópicas**

**Josué Álvarez Borrego  
y Maria Cristina Chávez Sánchez**

Universidad de Guadalajara  
Centro de investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada  
Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo A.C.

Información para compra del libro, comunicarse con Laura Martínez M.  
Correo electrónico **lmartine@cicese.mx**

Costo libro m.n. \$350.00 pesos  
Costo en dls. \$35.00  
Más gastos de envío

INTRODUCCIÓN A LA IDENTIFICACIÓN  
AUTOMÁTICA DE ORGANISMOS  
Y ESTRUCTURAS MICROSCÓPICAS  
Y MACROSCÓPICAS

# INTRODUCCIÓN A LA IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE ORGANISMOS Y ESTRUCTURAS MICROSCÓPICAS Y MACROSCÓPICAS

Josué Álvarez Borrego  
María Cristina Chávez Sánchez  
(Editores)



*Universidad de Guadalajara*  
Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías  
*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada*  
CICESE  
*Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C.*  
CIAD

Primera edición, 2008

- © D. R. 2008, Universidad de Guadalajara  
Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías  
Blvd. Marcelino García Barragán esq. Calzada Olímpica  
44430, Guadalajara Jalisco, México
  
- © D. R. 2008, Centro de Investigación Científica  
y Educación Superior de Ensenada, CICESE  
Km. 107 Carretera Tijuana - Ensenada  
22860, Apdo. Postal 360  
Ensenada, B.C. México
  
- © D. R. 2008, Centro de Investigación en Alimentación  
y Desarrollo A. C., CIAD/Unidad Mazatlán en Acuicultura  
y Manejo Ambiental del Centro de Investigación  
en Alimentación y Desarrollo A. C.  
Av. Sabalo Cerritos s/n  
82010, Apdo. Postal 711  
Mazatlán, Sinaloa, México

**ISBN: 978-97027-1396-8**

Cada capítulo de este libro fue rigurosamente arbitreado.

Impreso y hecho en México  
*Printed and made in Mexico*

# Contenido

Prólogo . . . . .	9
Introducción . . . . .	11
CAPÍTULO 1	
Análisis de imágenes como una herramienta en citogenética de moluscos . . . . .	15
<i>Josué Álvarez Borrego, Cristian Gallardo Escárte, Vitaly Kober y Miguel Ángel del Río Portilla</i>	
CAPÍTULO 2	
Identificación de especies de copépodos por medio de algoritmos de correlación invariante . . . . .	47
<i>Ernestina Castro-Longoria y Josué Álvarez-Borrego</i>	
CAPÍTULO 3	
Identificación de algunas especies de fitoplancton mediante sistemas óptico-digitales: una primera aproximación . . . . .	61
<i>Josué Álvarez Borrego, José Luis Pech Pacheco y Roberto Cortés Altamirano</i>	
CAPÍTULO 4	
Correlación óptico-digital a color para el reconocimiento de <i>Vibrio cholerae</i> O1 en muestras de laboratorio y ambientales . . . . .	91
<i>Rosa R. Mouriño Pérez y Josué Álvarez Borrego</i>	
CAPÍTULO 5	
Sistema de evaluación automática para la detección del bacilo de la tuberculosis . . . . .	113
<i>Manuel G. Forero y Gabriel Cristóbal</i>	
CAPÍTULO 6	
Identificación específica de parásitos en peces mediante correlación invariante con filtros compuestos. . . . .	129
<i>Emma Fajer Ávila y Josué Álvarez Borrego</i>	
CAPÍTULO 7	
Algoritmo de correlación digital a color en histopatología para la diagnóstico de enfermedades en camarón. . . . .	149
<i>Maria Cristina Chávez Sánchez, Josué Álvarez Borrego, Vitaly Kober y Selene Abad Rosales</i>	
CAPÍTULO 8	
Sistemas adaptativos para el reconocimiento de patrones biológicos . . . . .	159
<i>Vitaly Kober, José Ángel González-Fraga, Víctor Hugo Díaz-Ramírez y Josué Álvarez-Borrego</i>	

CAPÍTULO 9	
Sistema de adquisición de partículas biogénicas. . . . .	.177
<i>Josué Álvarez Borrego, Mario Alonso Bueno Ibarra y María Cristina Chávez Sánchez</i>	
CAPÍTULO 10	
Autoenfoco y fusión . . . . .	.193
<i>Josué Álvarez Borrego, Mario Alonso Bueno Ibarra y María Cristina Chávez Sánchez</i>	
CAPÍTULO 11	
Inspección óptica automatizada de circuitos impresos . . . . .	.217
<i>Jorge L. Flores, Guillermo García Torales y Josué Álvarez Borrego</i>	
CAPÍTULO 12	
Alineación del interferómetro de desplazamiento vectorial utilizando filtros digitales . . .227	
<i>Guillermo García Torales, Jorge Luis Flores Núñez y Josué Álvarez Borrego</i>	
Los autores . . . . .	.241

# Prólogo

Recientes avances en las ciencias cognitivas indican que, por instinto, el *Homo sapiens* modula sonidos para comunicarse. Aparentemente, también por instinto los humanos enumeramos. Jacob Bronowski señaló amenamente que no existe un lugar o un momento en la historia en donde se pueda decir que nace la aritmética.

Quizás algo parecido se puede afirmar de la óptica. El estudio de la interacción de la radiación electromagnética con la materia está omnipresente en el quehacer diario del *Homo sapiens*.

Desde los albores de la civilización, el *Homo sapiens* ha utilizado la radiación luminosa para adquirir información, orientarse y transformar su entorno. No es exagerado afirmar que la mayor parte de la información extraterrestre que hemos adquirido ha sido capturada empleando radiación electromagnética.

La óptica posee un estatus único. Es una ciencia venerable que atiende preguntas fundamentales de la realidad física, y es también una vigorosa rama de las ingenierías. La instrumentación basada en el uso del espectro electromagnético ha aportado tecnologías esenciales para el desarrollo de otras disciplinas del conocimiento y de la tecnología.

Elegantes experimentos de óptica forman parte de la física moderna. En biología y bioquímica, ingeniosos instrumentos ópticos han sido desarrollados para esclarecer la estructura y la función de los órganos y los tejidos, las células y sus componentes. Los endoscopios de fibra óptica, inventados por Harold H. Hopkins para la medicina clínica, han demostrado ser valiosos

instrumentos para el diagnóstico y la terapia no-invasiva.

En las últimas décadas del siglo XX, la óptica física fue vinculada con la ingeniería de la información. De este modo, en la nomenclatura de Thomas S. Kuhn se estableció un nuevo paradigma en la instrumentación óptica contemporánea. En holografía y en el procesamiento de imágenes, las aportaciones de Dennis Gabor, Emmett N. Leith y Adolf W. Lohmann son elocuentes ejemplos de esta nueva conceptualización.

En el presente libro, Josue Álvarez Borrego y María Cristina Chávez Sánchez, junto con un selecto grupo de colegas, han reunido sus experiencias de investigación en instrumentación óptica contemporánea para el desarrollo de las ciencias marinas. A nivel nacional, ambos editores y sus colegas son pioneros en la aplicación de óptica de la información en las ciencias marinas. Sus valiosas experiencias, análisis de imágenes, correlación óptica-digital, reconocimiento de patrones y procesamiento de imágenes, se presentan en doce ensayos temáticos.

El loable esfuerzo de los autores para compartir sus experiencias, acercará a nuevas generaciones a novedosas aplicaciones de óptica de la información. Estoy convencido que esta singular obra será sumamente apreciada por alumnos de posgrado en varias disciplinas.

*Jorge Ojeda-Castañeda*  
FIMEE, Universidad de Guanajuato  
Salamanca, Guanajuato  
Febrero de 2008

# Introducción

El siglo XX se caracterizó por el enorme avance científico y tecnológico en todos los campos. El hombre ha procurado garantizar y mejorar su nivel de vida a través de un mejor conocimiento del mundo que lo rodea y un dominio más eficaz del mismo, mediante un desarrollo constante de la ciencia y la tecnología. El desarrollo de la navegación y la aeronáutica, la microelectrónica, la tecnología computacional, las fibras ópticas o la biotecnología son ejemplos de los importantes avances en la ciencia y la tecnología del siglo pasado que le han dado a la humanidad innumerables beneficios.

A pesar de que se inventó varios siglos atrás (siglo XVI), el microscopio óptico tuvo durante el siglo XX también importantes progresos, tales como el desarrollo de los microscopios de contraste de fases y fluorescencia; se desarrollaron además los microscopios electrónicos, de efecto túnel y fuerza atómica, los cuales, junto con los primeros, significaron un enorme avance para el mundo de la medicina y otros campos de la ciencia y la tecnología. Hoy día los microscopios se utilizan en medicina forense, geología, en la industria petrolera, arqueología, en el análisis y procesamiento de los alimentos, en la electrónica para la fabricación de micro-componentes, así como para el estudio de todas las áreas de la biología y en una larga lista de usos a lo largo de todas las ramas de la ciencia y la tecnología. El microscopio es, sin duda, un elemento fundamental en cualquier laboratorio. Sin embargo, como todos los equipos e instrumentos, tiene sus limitaciones; algunas de ellas son la lentitud de análisis cuando se trata de numerosas muestras y la distorsión que le puede dar el observador a lo observado por el cansancio después de muchas

horas de trabajo. Es necesario, por lo tanto, contar con herramientas de diagnóstico de enfermedades, de descripción e identificación de organismos o partículas que ofrezcan mayor rapidez y precisión.

Este libro trata de los avances tecnológicos logrados a la fecha para la identificación rápida y precisa de partículas biológicas, tales como cromosomas, bacterias, plancton, virus y parásitos, con el apoyo del microscopio óptico y técnicas o algoritmos utilizados en la física-óptica, así como los avances tecnológicos en el control de calidad de tarjetas electrónicas y alineaciones de nuevos sistemas interferométricos de desplazamiento vectorial.

Las técnicas de procesamiento de imágenes y los diversos algoritmos matemáticos utilizados en la física-óptica pueden ser utilizadas en combinación con otras técnicas tales como la citogenética (análisis del número cromosómico) y marcadores moleculares para identificar especies, analizar poblaciones, reconocer y caracterizar los progenitores de un híbrido, estudiar la organización del genoma y la arquitectura nuclear, etc. En el primer capítulo se describen los estudios realizados para determinar mediante imágenes fluorescentes e hibridación *in situ* el tamaño genómico y el contenido de ADN cromosómico de varias poblaciones de abulones de México y Chile. Se discuten las relaciones cromosómicas entre las diferentes especies estudiadas, la distribución geográfica de las especies, la existencia de híbridos, las relaciones filogenéticas con otros abulones del mundo y se analizan tres hipótesis de la distribución geográfica de la familia *Halio-tidae*.

Por otro lado, la elevada complejidad taxonómica del plancton en general, requiere de microscopios inteligentes conectados a bases de datos que tengan la información necesaria para dar respuestas rápidas a las identificaciones requeridas. La identificación de microorganismos del plancton requiere de profesionistas altamente especializados en las diversas familias de microalgas y los diferentes grupos zoológicos que lo componen, tales como los protozoarios, rotíferos, foraminíferos, sifonóforos, medusas etc., así como larvas y huevos de peces, crustáceos, y moluscos. La estructura de estos microorganismos es compleja y la labor de los diversos trabajos que requieren de su conocimiento es ardua, toma tiempo y en muchas ocasiones —por las altas cantidades de muestras por revisar— no es muy precisa. En el capítulo II se presentan los avances realizados para el estudio de zooplankton, los cuales servirán de base para que en un futuro cercano sea posible el desarrollo de un sistema automatizado de identificación de estos organismos. Con base en un catálogo de imágenes digitales elaborado por un experto y la aplicación de técnicas de correlación invariante, se podrían identificar rápidamente diferentes especies, ahorrando así tiempo y esfuerzo.

El método para procesar imágenes se enfrenta a varios retos: a) cómo eliminar con técnicas ópticas los problemas de fondo (detritus, burbujas, intensidad de iluminación del microscopio); b) variación de sedimentación de la célula en el campo de observación; c) variación morfológica natural de la especie en una muestra; d), problemas de similitud inter-específicos entre dos especies; e) organismos fragmentados comparados con organismos enteros entre otros. En el capítulo III se muestra cómo resolver esta problemática y se concluye que el sistema híbrido óptico-digital presentó una eficiencia de 90% en la identificación de cinco especies de una microalga; las especies se identificaron correctamente sin importar la rotación, escala y ubicación de los organismos de cada especie de la imagen problema analizada.

Otro grupo de organismos importantes, y en muchas ocasiones difíciles de identificar, son las bacterias (capítulos IV y V). En el caso particular de la bacteria *Vibrio cholerae* 01, responsable de la enfermedad del cólera, cuenta con méto-

dos de identificación no muy efectivos (medios de cultivo y pruebas bioquímicas). Para solucionar este problema, se han desarrollado técnicas moleculares (PCR) que son altamente específicas. Sin embargo, para evaluar numerosas muestras ambientales, estas pruebas resultan ser sumamente costosas. El sistema de correlación a color multicanal utilizado en el capítulo IV en lo referente a la eficiencia del sistema para el reconocimiento de *Vibrio cholerae* 01 fue casi de 100%. Este sistema es una herramienta útil, independientemente de la forma, tamaño y posición de las bacterias en muestras de laboratorio y ambientales, que permite contar el número de organismos presentes en cada imagen problema con mayor eficiencia.

Otra bacteria de importancia en la salud pública es *Mycobacterium tuberculosis* causante de la tuberculosis pulmonar y principal causa de muerte por enfermedad infecciosa en el mundo. El diagnóstico de la microbacteriosis se realiza a través del cultivo de muestras de esputo, usando técnicas poco sensibles, por lo cual los especialistas deben esperar los resultados de los cultivos hasta dos meses. El estudio automático puede ofrecer varias ventajas, tales como una reducción sustancial en el trabajo de los especialistas, mejorar la sensibilidad de la prueba, aumentar la precisión en el diagnóstico y el número de imágenes que pueden ser analizadas. En el capítulo V se muestra que la técnica de segmentación desarrollada permite extraer la mayor parte de bacilos presentes en una imagen, eliminando la mayoría de detritus y proporciona un buen funcionamiento en términos de especificidad y sensibilidad, por lo tanto es susceptible de ser utilizada en un sistema automatizado de análisis de muestras con fines de diagnóstico.

El diagnóstico de enfermedades por histopatología se basa en el reconocimiento de cambios en las células, tejidos y órganos sanos. En el caso de la actividad acuícola, los diagnósticos son utilizados ampliamente para determinar la presencia de patógenos (virus, bacterias, hongos, endoparásitos) o cambios patológicos derivados de deficiencias nutricionales, factores ambientales o genéticos en poblaciones cultivadas de peces, crustáceos o moluscos. Para ello hay que analizar a veces cientos de muestras y el procesamiento y análisis lleva días; pero los acuicultores demandan rapidez y precisión en la entrega de los diag-

nósticos. Si se lograra hacer una lectura de las laminillas en forma automática, rápida y precisa, los histopatólogos serían relevados de la identificación de patógenos conocidos o de daños muy característicos y se dedicarían solamente al estudio de nuevas patologías o nuevos patógenos, lo cual redundaría en una mayor eficiencia para esta tarea. Con el fin de probar si la metodología de correlación a color y procesamiento de imágenes podía ser usada para identificar cambios histopatológicos, se llevó a cabo un estudio previo en el que se usaron diapositivas con imágenes de tejidos de camarón con cuerpos de inclusión del virus conocido como IHNV. En el capítulo VI se demostró el potencial de la técnica de diagnóstico y que el método puede aplicarse para otros campos de la histopatología y en estudios epidemiológicos de cualquier organismo, incluyendo el humano. Se mostró también que los tiempos de identificación se pueden reducir a segundos, pero que es preciso investigar más para considerar aspectos como rotación, escala, color, morfología de los virus y el uso de diferentes clases de filtros, dependiendo de la complejidad de los cuerpos de inclusión por reconocer.

Las técnicas óptico-digitales no son solamente útiles para la identificación de virus, bacterias o el plancton. La identificación específica de parásitos usando datos morfológicos necesita mejores técnicas, debido a que es lenta y laboriosa y se requiere de preparaciones microscópicas de calidad que serán utilizadas para medir y analizar con claves de identificación. Además, frecuentemente se deben comparar los especímenes bajo estudio con las descripciones originales y consultar con expertos del grupo taxonómico de que se trate. Con el fin de identificar parásitos en dos especies de peces, se tomaron imágenes con una cámara de alta resolución conectada a un microscopio y utilizando un programa instalado en una computadora. Se aplicaron las técnicas de filtros sólo de fase con invariancias a posición, rotación y escala. Los resultados indican que este sistema es sencillo y que el sistema de filtros es una herramienta útil para la identificación de parásitos, independientemente de su forma, tamaño y posición. Este trabajo es el primer paso para desarrollar un sistema automático que facilite la identificación de parásitos a investigadores y biólogos que no sean especialis-

tas en taxonomía y que permita procesar un gran número de muestras en corto tiempo. El periodo de tiempo requerido para identificar una imagen en este sistema digital es de pocos segundos.

En el capítulo VIII se revisan los sistemas digitales y los sistemas híbridos opto-digitales diseñados con base en filtros adaptativos para mejorar el reconocimiento de objetos biológicos que pueden encontrarse en un fondo real. Se demostró que los algoritmos de diseño de los filtros pueden ayudar a tomar el control sobre todo el plano de correlación con pocas iteraciones para el entrenamiento. Los sistemas digitales están basados en un entrenamiento iterativo de filtros SDF y, como consecuencia, poseen los beneficios de tener una buena tolerancia a las distorsiones geométricas y al ruido aditivo. Los sistemas híbridos, además, toman en cuenta las características reales de los dispositivos ópticos empleados. Los sistemas digitales pueden implementarse fácilmente en una computadora, mientras que los sistemas híbridos pueden proporcionar resultados en tiempo real para realizar el reconocimiento de patrones. Las simulaciones por computadora y los resultados experimentales demostraron que los filtros propuestos para el reconocimiento de datos biológicos poseen un desempeño muy bueno comparado con aquellos filtros por correlación clásicos. Los filtros recomendados poseen una buena adaptatividad a la escena y una buena robustez al ruido de entrada.

Los estudios y avances anteriores no se hubieran logrado sin el desarrollo de un sistema de adquisición de partículas, es decir un microscopio complementado con una nueva tecnología computacional y diversos programas. Estas técnicas son presentadas en el modelo base de los capítulos IX y X para la captura y procesamiento de imágenes tales como inicio, adquisición, mosaico, autoenfoco, técnicas de fusión, adquisición del campo y procesamiento del campo, procesamiento del mosaico, técnicas *top-hat* o *rolling ball*, filtraje, técnica del triángulo, detectar, localizar, etiquetar, aproximación elíptica, análisis de ejes principales mayor y menor, análisis de tamaños, identificación a partir del mosaico, invarianza de posición, invarianza de escala, invarianza de rotación, correlación invariante, correlación de fase con filtros simples (SFPC) y la técnica de correlación de fase con filtros com-

puestos (CFPC). Todos estos algoritmos y técnicas fueron desarrollándose de acuerdo a las necesidades de identificación de partículas biológicas y sus particularidades.

En el capítulo XI se lleva a cabo una aplicación de filtros de raíz (filtros no lineales) para el control de calidad de tarjetas electrónicas en el proceso de manufactura. Se describe un conjunto de técnicas de reconocimiento de objetos, basadas en filtros acoplados no lineales, que han mostrado su eficiencia en la solución de problemas relacionados con la extracción de rasgos viables para clasificar un objeto, *i. e.* posición, orientación, tamaño, etc. En particular, se enfoca al monitoreo de defectos en tarjetas de circuitos impresos. Además, fue posible discriminar entre componentes en condición de aceptación y componentes parcialmente dañados, es decir, en condición de defecto.

Recientemente se ha desarrollado el interferómetro de desplazamiento vectorial. Este instrumento posee la cualidad de poder realizar pruebas ópticas de superficies con y sin simetría de rotación, ya que incorpora en su diseño algunas de las ventajas tanto de los interferómetros tradicionales como de los interferómetros de desplazamiento más comunes. En el capítulo XII se realiza una aplicación de varios filtros lineales para determinar la alineación interferométrica en este tipo de nuevos sistemas. Estos filtros pre-

sentan la ventaja de ser de fácil implementación en sistemas automáticos.

En conclusión, dada la rapidez con la que los problemas se presentan actualmente y la necesidad de resolverlos, es imperante lograr que los trabajos de identificación de partículas biológicas para fines de taxonomía, diagnóstico de enfermedades u otro tipo de investigaciones en los que se utilice el microscopio, se lleven a cabo con la mayor rapidez posible y con alta precisión (alta especificidad y sensibilidad). En este libro se demuestra que es posible lograrlo con el desarrollo de sistemas ópticos o digitales automatizados para el procesamiento de imágenes. Hace falta mucho trabajo por realizar, se tienen que elaborar bases de datos lo suficientemente representativas de cada grupo o partícula biológica para alcanzar alta confiabilidad en los resultados, asimismo se tienen que resolver los problemas ópticos para cada caso; sin embargo, con las bases y los avances de este libro se puede ir más rápido en la obtención de dichos sistemas automatizados. Para lograr lo anterior, se requiere también del apoyo de los diferentes especialistas en los diferentes campos de la biología o la medicina. Esperamos que con la ayuda de la presente publicación se incremente el número de investigadores que deseen contribuir a los avances de este desarrollo tecnológico.

*María Cristina Chávez Sánchez*