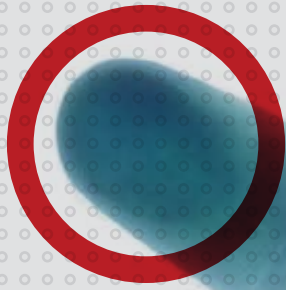


LORENZO LEIJA



MÉTODOS DE
PROCESAMIENTO
AVANZADO
E INTELIGENCIA
ARTIFICIAL
EN SISTEMAS
SENSORES
Y BIOSENSORES

EDITORIAL REVERTÉ

MÉTODOS DE PROCESAMIENTO AVANZADO E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN SISTEMAS SENSORES Y BIOSENSORES

Lorenzo Leija
Coordinador



Barcelona • Bogotá • Buenos Aires • Caracas • México
2009

Título de la obra:

**Métodos de Procesamiento Avanzado e Inteligencia Artificial
en Sistemas Sensores y Biosensores**

Primera edición, 2009

Coordinador:

Lorenzo Leija

S. de Bioelectrónica,
Departamento de Ingeniería Eléctrica,
CINVESTAV IPN, México

Diseño y formación:

Reverté-Aguilar, S.L.

www.reverte-aguilar.com

Diseño de cubierta:

David Kimura y Gabriela Varela

Reservados todos los derechos. La reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, queda rigurosamente prohibida, salvo excepción previa en la ley. Asimismo queda prohibida la distribución de ejemplares mediante alquiler o préstamo públicos, la comunicación pública y la transformación de cualquier parte de esta publicación (incluido el diseño de la cubierta) sin la previa autorización de los titulares de la propiedad intelectual y de la Editorial. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal). El Centro Español de Derechos Reprográficos (CEDRO) vela por el respeto a los citados derechos.

Este documento se ha realizado con la ayuda financiera de la Comunidad Europea. El contenido de este documento es responsabilidad exclusiva de los autores de este libro y en modo alguno debe considerarse que refleja la posición de la Unión Europea.

Propiedad de:

© **Reverté Ediciones, S.A. de C.V.**

Río Pánuco No. 141, Col. Cuauhtémoc
06500 México, D.F.

T. + (52) 55 5533.5658

F. + (52) 5555146799

reverte@reverte.com.mx

www.reverte.com

y

Editorial Reverté, S.A.

Loreto 13 - 15 Local B
08029 Barcelona, España

T. (3493) 419 33 36

F. (3493) 419 51 89

www.reverte.com

ISBN 978-607-7815-01-3 México

ISBN 978-84-291-8013-8 España

Impreso en México. *Printed in Mexico.*

Agradecimientos

Una obra de esta magnitud requiere el esfuerzo de múltiples personas e instituciones. En primer lugar es importante mencionar al programa ALFA, dedicado a la cooperación entre Instituciones de Educación Superior (IES) de la Unión Europea y América Latina, que otorgó los fondos para el funcionamiento de la Red ALFA-BioSenIntg (Métodos de procesamiento avanzado e inteligencia artificial en sistemas sensores y biosensores). La Red se integró con ocho laboratorios de Europa en España, Francia y Portugal y seis de Latinoamérica en Brasil, Cuba, México y Perú. Todos ellos han sido participantes entusiastas del proyecto de escribir esta obra, orientada a los estudiantes de Ingeniería de habla hispana. Mi reconocimiento al esfuerzo de cada uno de ellos.

Cabe destacar la participación de colegas y personal del CINVESTAV-IPN: Roberto, Arturo, Rubén, Hugo y Gina, quienes asumieron el proyecto como un reto personal y siempre estuvieron presentes cuando el esfuerzo de corrección de figuras y de escritura lo demandó.

Agradezco al CYTED, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, su apoyo decidido en la edición de la presente obra, tanto a su Secretario General, Fernando Aldana, como al Coordinador Científico y Tecnológico, Jordi Aguiló; ambos colegas y amigos de años en las relaciones iberoamericanas.

Igualmente al personal de Editorial Reverté, en particular a Judith Sandoval, que no han escatimado tiempo y esfuerzo para mejorar el contenido de la misma.

A todos ellos mi reconocimiento por su contribución para que este libro sea una realidad.

Lorenzo Leija Salas.
Profesor del CINVESTAV-IPN, México

Prólogo

Aunque la publicación de un libro representa siempre el final de una etapa, creo y deseo que en este caso se trate sólo del fin de una primera, del arranque inicial necesario para formar un buen equipo de trabajo.

En esta obra, el lector podrá disfrutar de un texto completo y prácticamente autocontenido que aborda la ciencia y la tecnología de base en los micro y nano sistemas realmente en el estado del arte. Desde una lectura menos técnica, es claro que distintos grupos iberoamericanos comparten y han compartido sus conocimientos y la experiencia adquirida como resultado tangible de los proyectos y redes llevados a cabo en común. De esa lectura se deduce también que, posteriormente, estos grupos han sabido incorporarse e integrarse a grupos similares en Europa, con objeto de fomentar sinergias e incrementar su propio potencial. Sin duda alguna, éste es un inicio prometedor, con un presente encomiable y unas potencialidades inmensas. Hoy, el programa CYTED se siente orgulloso de haber contribuido a este proyecto desde sus orígenes.

Por otra parte, la temática genérica del libro: sensores, microsensores y los sistemas electrónicos que se sustentan sobre ellos, no puede ser más actual. Nuestra sociedad apuesta decididamente por ello, es decir, que en la Sociedad de la Información no sean sólo los ordenadores los que generen, traten y difundan esa información. Actualmente el reto reside en que fluya además información propia de los seres vivos, y que la produzcan, traten y difundan unos u otros indistintamente: ordenadores y seres vivos compartiendo recursos sin fronteras preestablecidas. Es innegable que a partir de esa sinergia y del inicio de este trabajo conjunto se generarán conocimientos en torno a los complejos mecanismos de funcionamiento y de control en los seres vivos. Lo que permitirá desarrollar, a través de una retroalimentación, interfases que hagan amigables -a muy bajo nivel- al ser vivo, la electrónica, la información y el conocimiento.

Asimismo, el desarrollo de la investigación que ha derivado en este libro ha surgido del trabajo en red, de compartir conocimiento, experiencia y saber hacer con grupos muy diversos y geográficamente distantes, lo que no puede ser también más actual. Y en este sentido no sólo nuestra sociedad está apostando al respecto, sino que es casi imposible concebir de otra forma el progreso. Y me refiero desde luego al progreso científico y tecnológico, pero también al industrial. La empresa que aspire a ser viable en el futuro no tiene más remedio que apoyarse en grupos como los presentes, en su I+D, trabajar con ellos en red y compartir conocimientos y tecnologías con otras empresas. Gestionar adecuadamente lo que se ha dado en llamar la “coopetición” (cooperación simultánea con la competición), parece ser la única salida viable para la innovación en las empresas y especialmente en las empresas de base tecnológica.

Reiterando el orgullo que siente CYTED de haber contribuido a este proyecto, vaya por escrito y públicamente su compromiso y el de quien suscribe para dar todo el soporte posible al grupo, con el fin de que siga avanzando por esta vía con paso firme y con el mismo entusiasmo y la misma generosidad que hasta el momento.

Jordi Aguiló
Coordinador Científico y Tecnológico de CYTED

Índice de Contenidos

Agradecimientos - - - - -	v
Prólogo - - - - -	vii

Introducción a los Sensores e Inteligencia Artificial

A.1 Ordenadores, sensores y actuadores	1
A.2 Inteligencia artificial	2
A.3 Sensores químicos	3
A.3.1 Reconocimiento químico, biológico y biomimético.....	4
A.3.2 Transductores	6
A.4 Integración en ciencia y tecnología.....	6
A.4.1 Sistemas analíticos integrados.....	7
A.5 Integración de sensores e inteligencia artificial.....	7
A.5.1 Arreglos de sensores y aproximaciones biomimética.....	7
A.5.2 Sensores y tecnologías de la información y la comunicación	9
A.5.3 Sensores y convergencia de tecnologías	9
A.6 Bibliografía recomendada.....	10

Parte I: Generalidades sobre los Sensores I.A Sensores Físicos - - - - -	11
Presentación	11

Capítulo I: Sensores de Temperatura - - - - -	13
I.1 Introducción.....	13
I.2 Sensores de temperatura resistivos (RTDs)	14
I.3 Termistores	17
I.4 Termocuplas o Termopares	20
I.5 Sensores de temperatura basados en fibras ópticas.....	25
I.6 Sensores de temperatura basados en uniones de semiconductores.....	28

1.7	Termómetros de expansión o dilatación de líquido	31
1.8	Sensores de radiación.....	33
1.9	Bibliografía recomendada.....	34
Capítulo 2:	Principios y Aspectos Prácticos de los Sensores Ultrasónicos - - - - -	35
2.1	Introducción.....	35
2.2	Piezoelectricidad.....	37
2.2.1	Piroelectricidad y electrostricción.....	37
2.2.2	Acciones piezoeléctricas	38
2.2.3	Envejecimiento	39
2.3	Materiales piezoeléctricos	39
2.3.1	Cristales de cuarzo.....	40
2.3.2	Cristales solubles en agua.....	40
2.3.3	Monocristales con alto punto de fusión	40
2.3.4	Semiconductores piezoeléctricos	41
2.3.5	Cerámicas piezoeléctricas	41
2.3.6	Compuestos piezoeléctricos.....	41
2.4	La propagación ultrasónica.....	41
2.4.1	Ley de Hooke: la relación entre esfuerzo y deformación.....	42
2.4.2	Consideraciones generales	42
2.4.3	Propagación longitudinal y transversal.....	42
2.5	Propagación de la onda ultrasónica.....	42
2.5.1	Velocidad de propagación.....	43
2.5.2	Impedancia acústica	44
2.5.3	Atenuación acústica.....	44
2.5.4	Medida de la absorción de energía ultrasónica.....	46
2.6	El campo ultrasónico.....	47
2.7	Medición del campo ultrasónico	48
2.8	El transductor ultrasónico.....	52
2.9	Patrón de propagación del haz ultrasónico	53
2.10	Focalización de transductores	54
2.10.1	Transductores esféricos.....	54
2.10.2	Focalizado eléctrico.....	55
2.10.3	Arreglo de transductores	55
2.11	Partes básicas de un equipo de ultrasonido	56
2.12	Diagramas eléctricos de referencia del pulsador-receptor de equipos de ultrasonido.....	57
2.13	Consideraciones a tomar en cuenta en la selección de un transductor.....	61
2.13.1	Consideraciones en la selección de un transductor	61
2.13.2	Las aplicaciones de los transductores ultrasónicos en la medicina.....	63
2.14	Bibliografía recomendada.....	64

Capítulo 3:	Sensores Ultrasónicos Piezoeléctricos. Aspectos Básicos y Modelos Circuitales - - -	67
3.1	Introducción.....	67
3.2	Estructura básica y aplicaciones	69
3.3	Aspectos generales de diseño y parámetros de eficiencia.....	71
3.4	Transductores piezoeléctricos trabajando en modo “espesor”	73
3.5	Modelos circuitales de los transductores basados en placas piezoeléctricas vibrando en modo espesor.....	75
3.6	Modelos y simulación utilizando PSPICE para su implementación.....	79
3.7	Adaptación circuital del modelo de Redwood para su implementación mediante Spice	80
3.7.1	Adaptación de Morris y Hutchens en formato Spice.....	81
3.7.2	Otras adaptaciones para implementación en Spice	83
3.8	Bibliografía recomendada.....	84
Capítulo 4:	Sensores Ópticos - - - - -	87
4.1	Introducción.....	87
4.2	La naturaleza de la luz.....	88
4.3	Sensores interferométricos.....	89
4.4	Sensores de fibra óptica.....	92
4.4.1	Propagación de la onda electromagnética a través de una guía de onda.....	94
4.4.2	Sensores extrínsecos de fibra óptica	94
4.4.3	Sensores intrínsecos de fibra óptica.....	97
4.5	Sensores optoquímicos. Un esquema integrado	99
4.5.1	Conceptos básicos.....	99
4.5.2	Ejemplos prácticos de sensores ópticos integrados.....	101
4.5.3	Sensor óptico integrado de refracción, del tipo interferométrico	103
4.6	Bibliografía recomendada.....	105
Capítulo 5:	Sensores de Imágenes - - - - -	107
5.1	Las imágenes en biología y en medicina	107
5.2	Los sensores de imágenes	108
5.2.1	El Ojo.....	108
5.2.2	Los sensores CCD y CMOS.....	109
5.2.3	Sensores de color	113
5.2.4	Los espacios de representación del color	114
5.2.5	Los sensores de Rayos X y Gamma (γ).....	117
5.2.6	Los sensores de infra-rojo.....	120
5.2.7	Los sensores de ultrasonidos.....	121
5.2.8	Las imágenes láser y la luz estructurada.....	121
5.3	Bibliografía recomendada.....	125

Capítulo 6:	Sistemas Microelectromecánicos (MEMS) - - - - -	127
6.1	Medición y monitoreo de sistemas naturales con MEMS.....	128
6.2	Materiales	129
6.3	Grabado	130
6.4	Fotolitografía.....	132
6.5	Mascarillas.....	132
6.6	Encapsulamiento	133
6.7	Aplicaciones	133
6.7.1	Microsensores en la audición humana	136
6.8	Bibliografía recomendada.....	141
Capítulo 7:	Sensores Magnéticos - - - - -	145
7.1	Sensores inductivos.....	145
7.1.1	Sensores inductivos con núcleo de aire	145
7.1.2	Sensores inductivos con núcleo ferromagnético.....	148
7.1.3	Interfaces electrónicas para los sensores inductivos.....	152
7.2	Sensores fluxgate	155
7.2.1	Modelización de la característica de magnetización B-H en un material magnético.....	155
7.2.2	Sensor fluxgate basado en varilla de material magnético	157
7.2.3	Sensor fluxgate basado en dos varillas de material magnético (fluxgate de Vacquier).....	159
7.2.4	Interfaces electrónicas para sensores fluxgate.....	161
7.3	Sensores magnetorresistivos: principios y propiedades	162
7.3.1	Sensores magnéticos de estado sólido	163
7.3.2	Efecto magnetorresistivo galvanomagnético	163
7.3.3	Efecto magnetorresistivo anisotrópico.....	164
7.3.4	Efecto magnetorresistivo gigante	167
7.3.5	Interfaces electrónicas para sensores magnetorresistivos	169
7.4	Sensores basados en el efecto Hall	170
7.4.1	El efecto Hall.....	171
7.4.2	Elementos Hall de película delgada	172
7.4.3	Sensores Hall integrados.....	174
7.4.4	Interfaces electrónicas para sensores Hall.....	176
7.4.5	Aplicaciones de los sensores Hall	176
7.5	Inductor Rogowski-Chattock	179
7.5.1	Caracterización física	179
7.5.2	Caracterización eléctrica	180
7.5.3	Aspectos prácticos a tener en cuenta.....	182
7.5.4	Interfaz electrónico para inductor de Rogowski-Chattock	183
7.5.5	Aplicaciones	184
7.6	Bibliografía recomendada.....	184

Parte I:	Generalidades sobre sensores I.B Sensores químicos - - - - -	187
	Presentación	187
Capítulo 8:	Sensores Potenciométricos - - - - -	189
8.1	Introducción.....	189
8.2	Electrodos selectivos de iones	191
8.2.1	Diferentes tipos de electrodos selectivos	193
8.2.2	Electrodos compuestos.....	196
8.3	Electrodos de alambre recubierto.....	197
8.4	Sensores tipo ISFET	198
8.4.1	El modelo de la doble capa eléctrica.....	200
8.4.2	EL EnFET.....	203
8.4.3	Principio de funcionamiento de los EnFETs.....	203
8.5	Conclusiones	204
8.6	Bibliografía recomendada.....	205
Capítulo 9:	Sensores Amperométricos - - - - -	207
9.1	Introducción.....	207
9.2	La técnica voltamperométrica	208
9.3	Técnicas amperométricas	210
9.3.1	Voltamperometría cíclica	210
9.3.2	Voltamperometría diferencial de pulsos.....	210
9.3.3	Voltamperometría de redisolución.....	210
9.4	Sensores amperométricos.....	211
9.4.1	Electrodos modificados químicamente	212
9.4.2	Biosensores amperométricos	214
9.4.3	Otros dispositivos amperométricos destacados.....	214
9.5	Conclusiones	216
9.6	Bibliografía recomendada.....	216
Capítulo 10:	Biosensores - - - - -	219
10.1	Introducción.....	219
10.2	Biosensores: Clasificación.....	220
10.2.1	Según el elemento de reconocimiento	220
10.2.2	Según el elemento transductor	227
10.3	Técnicas de inmovilización	231
10.3.1	Adsorción física.....	232
10.3.2	Atrapamiento o copolimerización dentro de una matriz polimérica	232
10.3.3	Entrecruzamiento	234
10.3.4	Enlace covalente.....	234
10.3.5	Interacciones electrostáticas.....	234
10.3.6	Interacciones de afinidad.....	235
10.4	Aplicaciones	235
10.4.1	Biosensor de glucosa: Un gran éxito comercial	235

10.4.2	Uso de sensores basados en ácidos nucleicos para el diagnóstico de cáncer	237
10.4.3	Biosensor de microcistina para el control medioambiental y clínico	238
10.4.4	Biosensor de ocratoxina A: evaluación de la calidad de los alimentos.....	240
10.5	Conclusiones y perspectivas	242
10.6	Bibliografía recomendada.....	243
Parte 2:	Fundamentos de la Inteligencia Artificial - - - - -	249
	Presentación	249
Capítulo 11:	Acondicionamiento de Señal - - - - -	251
11.1	Sistema de medida.....	251
11.2	Procesamiento analógico de la señal.....	252
11.2.1	Tipos de señales.....	253
11.2.2	Puente de Wheatstone.....	254
11.2.3	Amplificador operacional.....	256
11.2.4	Etapa de amplificación DC.....	257
11.2.5	Amplificación AC.....	264
11.3	Multiplexado	266
11.4	Adquisición en el dominio de las amplitudes CAD	268
11.5	Muestreo y retención	270
11.6	Barreras de aislamiento.....	271
11.7	Interfaces directas sensor-microcontrolador	272
11.8	Bibliografía recomendada.....	274
Capítulo 12:	Análisis en el Dominio de la Frecuencia - - - - -	275
12.1	Dominio de la frecuencia.....	275
12.2	Serie de Fourier	276
12.3	Transformada de Fourier.....	277
12.3.1	Densidad espectral de potencia	279
12.3.2	Función de autocorrelación.....	279
12.4	Muestreo	280
12.4.1	Periodo de muestreo.....	280
12.4.2	Teorema de muestreo.....	283
12.5	Transformada de Fourier Discreta (DFT)	283
12.6	Efecto del intervalo de tiempo finito en el muestreo	287
12.7	Transformada rápida de Fourier (FFT).....	290
12.7.1	Descomposición en el dominio del tiempo.....	290
12.7.2	Descomposición en el dominio de la frecuencia.....	293
12.8	Bibliografía recomendada.....	294

Capítulo 13: Eliminación de Ruido Mediante el Uso de Wavelets - - - - -	295
13.1 Wavelets ortogonales para la eliminación de ruido y compresión	295
13.1.1 Descomposición dispersa de señales	296
13.1.2 Descomposición del ruido.....	297
13.1.3 Algoritmo general para la eliminación de ruido	298
13.2 Eliminación de ruido mediante la umbralización de la wavelet.....	300
13.2.1 Estrategia de umbralización.....	300
13.2.2 Cálculo del umbral.....	302
13.3 Bibliografía recomendada.....	306
Capítulo 14: Aplicación de Redes Neuronales Artificiales a la Minería de Datos - - - - -	307
14.1 Introducción.....	307
14.2 Descubrimiento del conocimiento y minería de datos.....	308
14.3 Perceptrón multicapa (MLP)	309
14.4 Algunas aplicaciones de las redes MLPs	312
14.5 Mapas auto-organizativos (SOM).....	313
14.6 Aplicaciones de las redes SOM	316
14.7 Conclusiones	318
14.8 Bibliografía recomendada.....	319
Capítulo 15: Algoritmos Genéticos - - - - -	321
15.1 Introducción.....	321
15.2 Estructura del algoritmo genético	322
15.3 Implementación del algoritmo genético básico	323
15.4 Representación, codificación y generación de la población inicial	325
15.5 Evaluación y selección.....	326
15.6 Operadores genéticos	326
15.7 Generación de la nueva población.....	328
15.8 Un sencillo ejemplo.....	328
15.9 Conclusiones	331
15.10 Revisión bibliográfica.....	331
15.11 Bibliografía recomendada.....	332
Capítulo 16: Máquinas de Vectores Soporte para Clasificación - - - - -	335
16.1 Introducción.....	335
16.2 Casos linealmente separables	338
16.3 Múltiples categorías.....	343
16.4 Caso no separable linealmente.....	344
16.5 Maquinas de vectores soporte no lineales.....	346
16.6 Revisión bibliográfica.....	349
16.7 Bibliografía recomendada.....	349

Parte 3:	Algunas Aplicaciones de Sensores con Inteligencia Artificial - - - - -	353
	Presentación	353
Capítulo 17:	Aplicaciones en Sistemas Distribuidos- - - - -	355
	17.1 Introducción.....	355
	17.2 Sistemas de instrumentación.....	356
	17.3 Arquitectura de un sistema de instrumentación	356
	17.3.1 HARDWARE.....	357
	17.3.2 SOFTWARE.....	361
	17.4 Redes de sensores.....	363
	17.5 Objetivos de una red de sensores.....	365
	17.6 Topología de la red de sensores.....	365
	17.7 Hardware de la red de sensores.....	366
	17.7.1 Hardware del nodo central.....	370
	17.7.2 Hardware del nodo remoto.....	371
	17.8 Software de los nodos central y remoto	373
	17.9 Interfaz gráfica de la red de sensores	374
	17.10 Comunicación entre los nodos de la red de sensores	375
	17.10.1 Red cableada	376
	17.10.2 Red inalámbrica	378
	17.11 Aplicaciones de los sistemas de medida distribuidos.....	381
	17.12 Bibliografía recomendada.....	386
Capítulo 18:	Sensores de Temperatura y Campo Eléctrico en Hipertermia Oncológica - - -	387
	18.1 Hipertermia oncológica.....	387
	18.2 Principios biológicos a nivel celular y fisiológico.....	389
	18.2.1 Efectos a nivel celular, metabólico y molecular	389
	18.2.2 Efectos fisiológicos.....	390
	18.3 Sensor de campo eléctrico.....	395
	18.3.1 Detector	398
	18.3.2 Línea de transmisión resistiva	399
	18.4 Sensores de temperatura: introducción.....	402
	18.4.1 Sensores invasivos	405
	18.5 Bibliografía recomendada.....	413
Capítulo 19:	Diagnóstico de CVA Isquémicos Asistido por Redes Neuronales Mediante la Exploración por CT - - - - -	415
	19.1 Introducción.....	416
	19.2 Metodología	416
	19.2.1 Redes neuronales RBF.....	417
	19.3 Conjunto de datos	418
	19.4 Parte experimental.....	420
	19.5 Resultados y discusión.....	420

19.6	Conclusiones y trabajos futuros.....	423
19.7	Bibliografía recomendada.....	423
Capítulo 20: Aplicación de los Algoritmos Genéticos en Diseño y Estimación Paramétrica de Sistemas Sensores Ultrasónicos - - - - - 425		
20.1	Generalidades.....	426
20.1.1	Analogía biológica de los algoritmos genéticos	427
20.2	Estructura del algoritmo genético usada en el diseño de sensores ultrasónicos.....	428
20.3	Aplicaciones de los algoritmos genéticos en el área de los ultrasonidos.....	432
20.3.1	Necesidad de la estimación de parámetros constructivos en sensores ultrasónicos.....	432
20.3.2	Conveniencia del empleo de los AGs en el contexto de la estimación paramétrica	433
20.4	Implementaciones del procedimiento de estimación para transductores ultrasónicos piezoeléctricos de banda ancha	435
20.5	Resultados de estimación aplicando el procedimiento basado en AGs para dos transductores ultrasónicos de banda ancha	438
20.5.1	Resultados para la primera implementación: con respuestas simuladas de un transductor de alta frecuencia. Análisis de viabilidad del procedimiento.....	438
20.5.2	Resultados con la segunda implementación: aplicación a un transductor piezocerámico práctico. Validación con mediciones experimentales	440
20.6	Bibliografía recomendada.....	443
Capítulo 21: Métodos de Soft Computing para la Estimación no Invasiva de la Temperatura en Medios Multicapa Empleando Ultrasonido Retrodisperso - - - - - 445		
21.1	Introducción.....	446
21.2	Disposición experimental y adquisición de datos	447
21.3	Procesamiento de datos.....	450
21.4	Entrenamiento y selección de la estructura de RBFNN	451
21.5	Resultados y discusión.....	455
21.6	Conclusiones	459
21.7	Bibliografía recomendada.....	460
Capítulo 22: Sistemas Sensores Ultrasónicos para Detección e Imagen. Control Electrónico y Simulación Circuital - - - - - 463		
22.1	Presentación del capítulo.....	464
22.2	Generalidades. Implicaciones tecnológicas	464
22.3	Esquemas ultrasónicos generales para detección e imagen.....	465
22.4	Control de sensores ultrasónicos para las aplicaciones de imagen. Principales requerimientos	467
22.4.1	Excitación pulsada de Arrays de sensores ultrasónicos en alta frecuencia	468

22.4.2	Circuitos excitadores mono-canal para transductores de imagen ultrasónica	469
22.4.3	Circuitos para recepción de señales de banda ancha en sensores ultrasónicos.....	471
22.5	Excitador eficiente con impulsos AT de sensores para imagen ultrasónica	472
22.6	Modelización circuital para simular la excitación impulsional en alta tensión de los sensores piezoeléctricos. Tratamiento de aspectos no lineales.....	474
22.6.1	Adaptación entre los sensores piezoeléctricos y la electrónica no lineal asociada.....	474
22.6.2	Aproximaciones propuestas para modelar las etapas de excitación pulsada.....	475
22.7	Implementaciones circuital para simular la respuesta transitoria de los sensores piezoeléctricos en sistemas pulso-eco. Adaptación de modelos	477
22.7.1	Resumen de bases teóricas para el análisis transitorio.....	477
22.7.2	Implementación circuital de Leach del modelo Mason-Redwood para vibración en modo “Espesor”.....	480
22.8	Representaciones en SPICE del circuito análogo de Leach para el sensor	481
22.9	Simulación circuital global de un emisor-receptor de pulsos ultrasónicos.....	485
22.9.1	Simulación circuital de pérdidas Internas en el sensor piezoeléctrico	486
22.10	Bibliografía recomendada.....	487
Capítulo 23:	Segmentación de Agrupamientos de Microcalcificaciones en las Imágenes de Rayos X para su Detección Temprana en Mama- - - - -	489
23.1	Introducción.....	490
23.1.1	Contexto médico.....	490
23.1.2	Trabajo previo	491
23.2	Algoritmo de la segmentación	492
23.2.1	Principio del algoritmo	492
23.2.2	Tratamiento de las imágenes de contraste realzado.....	492
23.2.3	Tratamiento de las imágenes suavizadas	494
23.2.4	Tratamiento de las imágenes binarias	494
23.2.5	Extracción de características y clasificación de los candidatos	494
23.3	Pruebas de la segmentación, resultados y discusión	496
23.3.1	Criterios de evaluación de los resultados y base de datos de imagen.....	496
23.3.2	Ajuste del parámetro del algoritmo	498
23.3.3	Resultados de la segmentación y discusión	498
23.4	Conclusión y discusión sobre la utilidad del algoritmo de la segmentación.....	502
23.5	Bibliografía recomendada.....	505

Capítulo 24: Lenguas Electrónicas Potenciométricas - - - - -	507
24.1 Introducción.....	507
24.1.1 La lengua electrónica, un sistema bio inspirado en el sentido del gusto.....	508
24.1.2 Lengua electrónica.....	509
24.2 Arreglo de sensores potenciométricos.....	510
24.2.1 Arreglos redundantes	511
24.2.2 Arreglos selectivos	511
24.2.3 Arreglos de selectividad cruzada.....	511
24.3 Procesamiento.....	511
24.3.1 Datos de entrenamiento	514
24.4 Aplicaciones	515
24.5 Bibliografía recomendada.....	516
Capítulo 25: Lenguas Electrónicas Voltamperométricas - - - - -	519
25.1 Introducción.....	519
25.1.1 Sistemas bioinspirados.....	520
25.2 Naturaleza de los sensores	521
25.2.1 Uso de un único sensor voltamperométrico	521
25.2.2 Uso de matrices de sensores voltamperométricos.....	521
25.3 Uso de biosensores.....	523
25.4 Estrategias de procesamiento	523
25.5 Aplicaciones representativas.....	524
25.6 Conclusiones	527
25.7 Bibliografía recomendada.....	527
Índice alfabético - - - - -	529