

Técnicas espectroscópicas en química analítica

Volumen II. Espectrometría atómica,
de iones y electrones

PROYECTO EDITORIAL
BIBLIOTECA DE QUÍMICAS

Director:

Carlos Seoane Prado

Catedrático de Química Orgánica
Universidad Complutense de Madrid



Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con autorización de los titulares de la propiedad intelectual. La infracción de los

derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y sigs. Código Penal). El Centro Español de Derechos Reprográficos (www.cedro.org) vela por el respeto de los citados derechos.

Técnicas espectroscópicas en química analítica

Volumen II. Espectrometría atómica, de iones y electrones

Coordinadores:

Ángel Ríos Castro

Catedrático de Química Analítica
Departamento de Química Analítica y Tecnología de Alimentos
Universidad de Castilla-La Mancha (Ciudad Real)

María Cruz Moreno Bondi

Catedrática de Química Analítica
Departamento de Química Analítica
Universidad Complutense de Madrid

Bartolomé M. Simonet Suau

Profesor Titular de Química Analítica
Departamento de Química Analítica
Universidad de Córdoba



© Ángel Ríos Castro
María Cruz Moreno Bondi
Bartolomé M. Simonet Suau (coords.)

© EDITORIAL SÍNTESIS, S. A.
Vallehermoso, 34. 28015 Madrid
Teléfono: 91 593 20 98
<http://www.sintesis.com>

Depósito legal: M. 34.816-2012
ISBN: 978-84-995893-1-2
ISBN obra completa: 978-84-995893-2-9

Impreso en España - Printed in Spain

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o cualquier otro, sin la autorización previa por escrito de Editorial Síntesis, S. A.

Índice

RELACIÓN DE AUTORES	9
PRÓLOGO.....	11

BLOQUE I. ESPECTROSCOPIA DE FOTONES ATÓMICA

1. ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA	15
<i>Yolanda Madrid Albarrán y Teresa Pérez Pérez</i>	
Objetivos.....	15
Glosario de términos.....	15
1.1. Introducción.....	16
1.2. Clasificación de las técnicas de absorción atómica.....	22
1.3. Instrumentación básica	23
1.4. Técnicas de atomización atómica con llama	31
1.5. Técnica de atomización electrotérmica	39
1.6. Modalidades para la introducción de muestras en estado vapor.....	56
1.7. Comparación de las distintas técnicas de absorción atómica	64
1.8. Aplicaciones	69
Resumen de los conocimientos que se deben adquirir	78
Cuestiones y ejercicios	78
Seminarios	82
Trabajos prácticos sugeridos.....	83
Bibliografía recomendada.....	92
2. ESPECTROSCOPIA DE EMISIÓN ATÓMICA	95
<i>María A. Palacios Corvillo y María Milagros Gómez Gómez</i>	
Objetivos.....	95
Glosario de términos.....	95
2.1. Visión general de la espectroscopia de emisión atómica.....	96
2.2. Características de la emisión atómica.....	98
2.3. Clasificación y componentes de las técnicas de emisión atómica.....	105

2.4. Fotometría de la llama	105
2.5. Fluorescencia atómica	111
2.6. Técnicas de emisión con fuentes de arco, chispa o descargas luminiscentes	119
2.7. Espectroscopia de emisión atómica con plasmas	128
2.8. Estudio comparativo de las técnicas atómicas de emisión y de absorción	146
Resumen de los conocimientos que se deben adquirir	147
Cuestiones y ejercicios	147
Seminarios	149
Trabajos prácticos sugeridos.....	151
Bibliografía recomendada.....	159
3. ESPECTROSCOPIA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X	161
<i>Ángel Ríos Castro, Bartolomé M. Simonet Suau y Yolanda Moliner Martínez</i>	
Objetivos.....	161
Glosario de términos.....	161
3.1. Descubrimiento de los rayos X. Origen del análisis por fluorescencia de rayos X.....	161
3.2. Fundamentos básicos.....	162
3.3. Clasificación de las técnicas de rayos X.....	171
3.4. Instrumentación de laboratorio y equipos portátiles	172
3.5. Preparación de las muestras.....	180
3.6. Efecto matriz e interferencias	181
3.7. Aplicaciones	182
Resumen de los conocimientos que se deben adquirir	186
Cuestiones y ejercicios	186
Trabajos prácticos sugeridos.....	186
Bibliografía recomendada.....	187

BLOQUE II. ESPECTROMETRÍA DE IONES Y ELECTRONES

4. ESPECTROMETRÍA DE IONES I: ESPECTROMETRÍA DE MASAS ATÓMICA	191
<i>Alfredo Sanz Medel y María Montes Bayón</i>	
Objetivos.....	191
Glosario de términos.....	191
4.1. Fundamentos generales de la espectrometría de masas.....	193
4.2. Clasificación de las técnicas de masas atómicas: el ICP-MS.....	196
4.3. Instrumentación básica en ICP-MS	197
4.4. Tipos de analizadores empleados en espectrometría de masas atómica.....	206
4.5. Espectros de masas e interferencias espectrales en ICP-MS	210
4.6. Características analíticas del ICP-MS	215

4.7. Aplicaciones ilustrativas escogidas.....	222
4.8. Consideraciones finales.....	226
Resumen de los conocimientos que se deben adquirir	227
Cuestiones y ejercicios	228
Seminarios	230
Trabajos prácticos sugeridos.....	231
Bibliografía recomendada.....	231
5. ESPECTROMETRÍA DE IONES II: ESPECTROMETRÍA DE MASAS MOLECULAR	233
<i>Miguel Valcárcel Cases y Bartolomé M. Simonet Suau</i>	
Objetivos.....	233
Glosario de términos.....	233
5.1. Espectros de masas moleculares.....	233
5.2. Componentes básicos de los espectrómetros moleculares.....	238
5.3. Fuentes de ionización	239
5.4. Analizadores de masas.....	248
5.5. Espectrómetros de masas acoplados.....	251
5.6. Espectrómetros de masas con aceleradores: ejemplos y aplicaciones	251
Resumen de los conocimientos que se deben adquirir	255
Cuestiones y ejercicios	255
Seminarios	256
Trabajos prácticos sugeridos.....	256
Bibliografía recomendada.....	260
6. ESPECTROSCOPIA ELECTRÓNICA	261
<i>M^a Rosario Pereiro García y Beatriz Fernández García</i>	
Objetivos.....	261
Glosario de términos.....	261
6.1. Aspectos teóricos de la espectroscopia electrónica. Modalidades.....	263
6.2. Instrumentación	271
6.3. Propiedades analíticas y campos de aplicación	281
6.4. Comparación con otras técnicas	298
Resumen de los conocimientos que se deben adquirir	307
Cuestiones y ejercicios	307
Seminarios	309
Trabajos prácticos sugeridos.....	310
Bibliografía recomendada.....	313

RELACIÓN DE AUTORES

Beatriz Fernández García

Universidad de Oviedo

M^a Rosario Pereiro García

Universidad de Oviedo

M^a Milagros Gómez Gómez

Universidad Complutense de Madrid

Teresa Pérez Pérez

Universidad Complutense de Madrid

Yolanda Madrid Albarrán

Universidad Complutense de Madrid

Ángel Ríos Castro

Universidad de Castilla-La Mancha

Yolanda Moliner Martínez

Universidad de Valencia

Alfredo Sanz Medel

Universidad de Oviedo

María Montes Bayón

Universidad de Oviedo

Bartolomé M. Simonet Suau

Universidad de Córdoba

María A. Palacios Corvillo

Universidad Complutense de Madrid

Miguel Valcárcel Cases

Universidad de Córdoba

Prólogo

La espectroscopia se ha convertido en una herramienta poderosísima y muy versátil para el análisis químico actual. La instrumentación correspondiente ya es habitual en laboratorios analíticos de cualquier naturaleza. Esta obra, dividida en dos volúmenes, tiene por objeto el estudio de las diferentes técnicas espectroscópicas o espectrométricas, a lo que genéricamente los coordinadores de la obra hemos denominado *espectroscopia analítica*. Una monografía general de esta naturaleza hay que concretarla a un nivel determinado de conocimientos para el lector. Desde este punto de vista, nuestro objetivo ha sido la formación en las enseñanzas de los actuales grados oficiales universitarios, si bien también algunos conocimientos más elevados pueden enmarcarse en estudios de máster. Por tanto, el carácter es fundamentalmente docente y pedagógico, al entroncar con las nuevas metodologías de aprendizaje para alumnos universitarios. Por este motivo, los capítulos incluyen, además de los conocimientos propios de la técnica en cuestión, la descripción de objetivos, un glosario de términos, un resumen de los conocimientos que se deben adquirir, una serie de cuestiones y ejercicios, propuestas de seminarios y trabajos prácticos, así como la bibliografía recomendada. Todo ello con la intención de facilitar la labor de enseñanza del profesor y de aprendizaje del alumno. El libro es, además, multiautor. Se ha procurado seleccionar profesores y docentes reconocidos por sus conocimientos en cada técnica, así como su currículum como docentes. Los coordinadores de esta obra quieren reconocer y agradecer el esfuerzo y la entrega que cada uno de los autores han dedicado en los diferentes capítulos.

Como es habitual en muchas áreas del conocimiento, también el campo de la espectroscopia/espectrometría puede agruparse y estructurarse de acuerdo a diferentes criterios. En este libro se ha optado por estructurar los contenidos en cuatro grandes bloques, repartidos en dos volúmenes:

Volumen I:

Aspectos básicos de la espectroscopia analítica.
Espectroscopia de fotones molecular.

Volumen II:

Espectroscopia de fotones atómica.

Espectrometría de iones y electrones.

En este segundo volumen, se han abordado todas las técnicas basadas en la interacción de la radiación con especies atómicas, diferenciando el tipo de interacción producida: absorción (capítulo 1), emisión (capítulo 2), y fluorescencia de rayos X (capítulo 3). Por último, en los tres capítulos restantes se han integrado las técnicas espectrométricas basadas en la medida de partículas, iones o electrones, en lugar de la medida de una radiación. La espectrometría de iones se divide en dos capítulos: espectrometría de masas atómica (capítulo 4) y espectrometría de masas molecular (capítulo 5). La espectroscopia electrónica se desarrolla en el capítulo 6.

Finalmente, los coordinadores quieren agradecer el apoyo que la Sociedad de Espectroscopia Aplicada ha prestado para que esta obra sea una realidad, así como el acuerdo alcanzado con Editorial Síntesis para su materialización.

*Ángel Ríos Castro
María Cruz Moreno Bondi
Bartolomé M. Simonet Suau
(Coordinadores)*