

# FÍSICA MODERNA



# FÍSICA MODERNA

Orígenes Clásicos y Fundamentos Cuánticos

Traducción de la 2<sup>da</sup> edición

*Francisco Caruso*

Coordinación de Física de Altas Energías  
Centro Brasileño de Pesquisas Físicas

*Vitor Oguri*

Instituto de Física Armando Dias Tavares  
Universidad del Estado de Río de Janeiro

Traducción de:

*Carlos Alberto Morgan Cruz*

*Antonio Rivasplata*

Departamento Académico de Física  
Universidad Nacional de Trujillo, Peru

Revisión de:

*Jorge Eduardo Cieza Montalvo*

Instituto de Física Armando Dias Tavares  
Universidad del Estado de Río de Janeiro

Copyright © 2024 Francisco Caruso & Vitor Oguri  
1ª Edição

Direção editorial: Victor Pereira Marinho e José Roberto Marinho

Capa: Fabrício Ribeiro e Francisco Caruso  
Projeto gráfico e diagramação: Francisco Caruso

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

---

Caruso, Francisco  
Física moderna: orígenes clásicos y fundamentos cuánticos / Francisco Caruso, Vitor Oguri;  
traducción de Carlos Alberto Morgan Cruz, Antonio Rivasplata; revisión de Jorge Eduardo  
Cieza Montalvo. – 2. ed. – São Paulo: LF Editorial, 2024.

Título original: Física moderna.  
ISBN 978-65-5563-494-5

1. Física - Estudo e ensino I. Oguri, Vitor. II. Montalvo, Jorge Eduardo Cieza. III. Título.

24-228155

CDD-530.07

---

Índices para catálogo sistemático:  
1. Física: Estudo e ensino 530.07

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra poderá ser reproduzida  
sejam quais forem os meios empregados sem a permissão da Editora.  
Aos infratores aplicam-se as sanções previstas nos artigos 102, 104, 106 e 107  
da Lei N° 9.610, de 19 de fevereiro de 1998



EDITORIAL

Editora Livraria da Física  
[www.livrariadafisica.com.br](http://www.livrariadafisica.com.br)  
(11) 3815-8688 | Loja do Instituto de Física da USP  
(11) 3936-3413 | Editora

*A Alberto Santoro,*  
con amistad;

*Nina & Stella,* con  
amor;

*Armando Tavares,*  
con nostalgia;

*Felipe Silveira,* con  
esperanza.



*Enseñando, los hombres aprenden.*  
Séneca

*La Naturaleza es partes sin un todo.  
Esto es tal vez, el tal misterio del que  
hablan.*

Alberto Caeiro

*Incluso si se entiende que el significado de un concepto jamás será definido con precisión absoluta, algunos conceptos son parte integrante de los métodos de la ciencia, por el hecho de representar, por lo menos por algún tiempo, el resultado final del desarrollo del pensamiento humano desde un pasado bastane remoto; ellos incluso pueden haber sido heredados y son, cualquiera que sea el caso, instrumentos indispensables en la ejecución del trabajo científico en nuestro tiempo.*

Werner Heisenberg

*Creo que ideas como certeza absoluta, precisión absoluta, verdad final, etc. son ficciones de la imaginación que no deberían ser admitidas en ningún campo de la ciencia. De otro lado, toda afirmación probabilística es correcta o errada según el punto de vista de la teoría sobre la cual se basa. Esa fluencia de pensamiento me parece ser el mayor presente que la ciencia moderna nos dio. Porque, creer en la existencia de una verdad única y creer ser su autor, estas si son las causas de todo el mal que hay en el mundo.*

Max Born



# Prólogo a la edición en castellano

Si te invitan a escribir el prólogo de un libro, antes de aceptar te preguntas cuán fácil o cuán difícil será explicitar elogios a su contenido. Cómo será de fácil hacerlo en este caso de la *Física Moderna* de Francisco Caruso y Vitor Oguri, que no tardé nada en aceptar la invitación. Más aún, probablemente en mi subconsciente estaba esperando tener la posibilidad de hacerlo.

Como dice Borges en su Prólogo de Prólogos: “Que yo sepa, nadie ha formulado hasta ahora una teoría del prólogo. La omisión no debe afligirnos, ya que todos sabemos de qué se trata”. Sin embargo en este caso, espero que el lector continúe a fin de enterarse de qué se trata en este caso.

Río de Janeiro tiene una larga historia de aporte a la enseñanza y difusión de la Física Moderna en nuestras universidades ya que en 1959 apareció el libro *Introdução à Teoria Atômica da Matéria* de José Leite Lopes que fue nuestro texto por muchos años, acompañando, aclarando y poniendo al día al libro clásico (como menciona Henrique Fleming en el Prefacio de la Primera Edición al libro de Caruso y Oguri) *Atomic Physics* de Max Born. Ahora tenemos este magnífico *Física Moderna: Orígenes Clásicos y Fundamentos Cuánticos*, que ya lleva dos ediciones en portugués y que en esta nueva versión permitirá ser disfrutado por nuevos lectores, causando sin duda un impacto aún mayor en el medio científico-académico de habla castellana de América y de España, que aquel libro de Leite Lopes.

Ya Henrique Fleming y Victoria Elneceve Herscovitz, en los Prefacios a la primera y segunda ediciones de este *Física Moderna*, han explicitado los alcances, los hallazgos y los seguros éxitos del libro. Conocí la primera edición apenas aparecida y la recomendé de inmediato a la cátedra de Física Moderna en la Universidad Nacional de La Plata. La propuse no solamente como un texto más a tener muy en cuenta, sino también como obra de consulta, ya que allí se encontraban los aspectos históricos y también formales de la Física nueva, pero sobre todo las herramientas para la comprensión cabal de sus conceptos. Las más de 400 referencias bibliográficas que se detallan sólo al final del texto, sin contar las Fuentes primarias, otras referencias y sugerencias de lecturas del final de cada capítulo son de central importancia. Allí se incluyen textos previos, recomendaciones de lecturas para “ir más lejos”, trabajos originales de los hacedores de la Física Moderna, comentarios críticos y análisis filosóficos de los temas que hicieron cambiar a la humanidad su punto de vista sobre el mundo físico que la rodeaba. Todas estas incorporaciones lo hacen ciertamente autosuficiente. No debemos olvidar la enriquecedora inclusión de ejercicios de aplicación conceptual y formal, que recomendamos fuertemente sean realizados por el lector interesado en aprender.

Fleming dijo “Esto es lo que necesitamos” y lo suscribo. Herscovitz pidió liberar la segunda edición para que los lectores “puedan disfrutar del libro”, nada más claro como recomendación. No me queda más que agregar que los lectores en castellano tenemos la gran suerte de contar ahora con esta *Física Moderna* imprescindible.

Carlos García Canal  
*Universidad Nacional de La Plata*



# Prefacio a la segunda edición

La publicación de un libro de la calidad y envergadura de la Física Moderna causó, en 2006, un merecido impacto que todavía repercute. El privilegio de prefaciarse la presente edición motiva una segunda inmersión en el trabajo de Caruso y Oguri y el placer renovado de la lectura de un texto de características excepcionales. Desde las concepciones filosóficas de la Antigüedad sobre la naturaleza de la materia hasta la concepción sobre los constituyentes elementales, una trayectoria histórica rica y crítica, basada en las fuentes primarias de tal conocimiento, engloba conceptos, experimentaciones y desarrollos teóricos asociados que conduce a los tiempos de la modernidad en los que la Relatividad y la Física Cuántica tienen un papel fundamental. Considerada en varios momentos como una teoría hecha de utopías, la Mecánica Cuántica surge en estas páginas como posible, plausible y, finalmente, científicamente fundamentado para el desarrollo de la Física Moderna.

El libro de Caruso y Oguri proporciona todo esto y no abandona al lector que invade sus meandros fantásticos. Transcendiendo la perspectiva de un libro didáctico en el sentido estricto se torna, entre tanto, por excelencia, en un contexto más amplio. La obra se presta a distintas interpretaciones, atrayendo entre otros a quien simplemente ama la Física, auxiliando en la percepción de diversas facetas de cómo se hace Ciencia, desentrañando aspectos históricos, sirviendo a profesores como fuente e inspiración para configurar cursos de los más variados niveles y alumnos de varias carreras, incluso como fuente bibliográfica de las más ricas. No es de sorprender, pues, la acogida y el reconocimiento conquistados en su primera edición transformándola, en consecuencia, en motivo de gran demanda.

Pasada casi una década de la publicación original, los autores, conscientes de sus repercusiones y celosos por mantener su nivel de calidad, nos ofrecen una segunda edición. Manteniendo la estructura de la anterior, la nueva edición es, también, fruto de un trabajo minucioso donde el cuidado de los autores se revela tanto en el texto, la bibliografía y el índice, como en las figuras, tablas y ejercicios. Se destacan entre los contenidos que más actualizaciones presentan los referentes a las concepciones clásicas sobre la naturaleza de la luz, a la relatividad espacial, a la radioactividad, al modelo atómico de Bohr y a las aplicaciones de la ecuación Schrödinger, reflejándose en el aumento significativo en el número de ejercicios y figuras. Caruso y Oguri merecen estar satisfechos con los resultados obtenidos.

Misión cumplida por los autores, resta lanzar esta edición a los lectores para que puedan disfrutar el libro.

Victoria Elnecave Herscovitz  
*Instituto de Física UFRGS*



# Prefacio a la primera edición

Este es un libro para quien ama la Física, y no para quien quiera solo servirse de ella. Los profesores Francisco Caruso y Vitor Oguri, conocidos investigadores en el área de Física de las Partículas Elementales, aman la Física y dejan eso muy claro en el plano general de la obra, como en cada uno de sus detalles.

Insertado en el ilustre linaje de libros de Física Moderna cuya raíz es el clásico de Max Born, *Atomic Physics*, este bello y fundamental texto innova la literatura del área en varios aspectos, entre los cuales destaco la excelente idea de incluir y, de hecho, destacar, en la bibliografía, las fuentes primarias, esto es, aquellos trabajos, casi siempre artículos de revistas científicas, donde la Física muestra su verdadera cara, sin los retoques de los epígonos, y donde se aprende el *hacer* de los físicos o, en pocas palabras, lo que la Física realmente *es*.

También la parte más tradicional de la bibliografía es enriquecida por sugerencias de lectura, cortos textos que comentan las obras citadas y despiertan en el lector el interés por la obra y la tentación de leerla, algún día. Esto nos recuerda el notable libro de Herbert Goldstein, *Classical Mechanics*, cuya bibliografía comentada tanto amplió nuestros horizontes.

Otro aspecto digno de notar fue la preocupación de los autores en tornar el libro, tanto como sea posible, autosuficiente, adecuando el texto a la realidad de un país carente de bibliotecas.

Se revela, desde los primeros capítulos, que los autores son escritores talentosos. En una prosa clara, elegante y ligera, mas nunca superficial, en un portugués (lenguaje) impecable, abordan problemas difíciles, como la teoría termodinámica de la radiación en equilibrio, que inmortalizó a Max Planck e inauguró la Física Cuántica, y se tornan, no fáciles, pues fáciles no son, sino accesibles, porque son abordados racional y gradualmente.

Un libro serio y honesto, la obra de Caruso y Oguri no recurre a prestidigitaciones y no simplifica (en el mal sentido) su tema. El lector no encontrará aquí una Física *ad usum delphini*, sino la Física verdadera, tornada perfectamente accesible al lector dedicado.

Esto es lo que necesitamos.

Henrique Fleming  
*Professor Titular*  
*Universidade de São Paulo*



# Presentación

*Los libros no son hechos sólo con lo que se sabe  
ni con lo que se ve. Necesitamos de raíces más  
profundas.*

Gaston Bachelard

Este libro de texto es fruto de la experiencia en enseñanza de Física Moderna, acumulada ministrando las disciplinas de Estructura de la Materia y de Mecánica Cuántica, en el Instituto de Física de la Uerj, desde 1983, y algunas veces Mecánica Cuántica en el CBPF. Construído de modo que sea lo más autoconsistente posible, el libro aborda la evolución de las concepciones clásicas acerca de la naturaleza de la materia y de la luz, antes de presentar, con detalles, la crisis durante el cambio al siglo XX y la subsecuente construcción de la Física Cuántica, que introdujo nuevos y transformadores paradigmas en la Ciencia.

Siguiendo una perspectiva histórica, procuramos, sobre todo, dar insumos capaces de despertar el interés y el espíritu crítico del lector, permitiendo que él comprenda bien el origen de la Física Moderna y la dinámica de la investigación científica, por entender que esa característica crítica esencial del pensamiento científico ha sido sistemáticamente dejada de lado en otros libros universitarios. Esperamos, de esa forma, construir un diálogo con el lector en el cual buscamos expresarnos de modo aún más claro, pues, como nos enseña Schopenhauer, con el texto escrito no se escucha las preguntas del interlocutor.

Nos gustaría resaltar que los experimentos, las hipótesis y los modelos presentados en el texto no son todos histórica y lógicamente necesarios para la construcción, elaboración y presentación de las teorías fundamentales de la Física Moderna en un texto didáctico. Sin embargo, incluso las grandes síntesis en la Ciencia, alcanzadas, en algunos casos raros, por uno u otro investigador, resultan, en último análisis, de un trabajo colectivo sistemático de investigación, de proposición de nuevas ideas y nuevos conceptos, de nuevos experimentos, a lo largo de toda la historia de la cultura. Por otro lado, concordamos con Werner Heisenberg, cuando él afirma en el prefacio de su libro *Física y Filosofía* que *tal vez la mejor manera de abordar los problemas de la Física Moderna sea a través de una descripción histórica del desarrollo de la teoría cuántica*. Mas, claro, los caminos son variados. Optamos por poner énfasis a la evolución de las ideas y de los conceptos básicos recurrentes en la discusión de la esencia de la materia y de la luz a lo largo de la historia y, como no podría dejar de ser, tal elección refleja la formación de los autores y la visión que tienen de la enseñanza y de la ciencia.

Creemos que es un trabajo pionero, capaz de atender la expectativa de la comunidad de físicos de disponer de un libro texto diferente, en una de las áreas más fascinantes de la Física. Algunas de las preocupaciones de los autores pueden ser aquí destacadas, en el sentido de mostrar la originalidad y la relevancia del libro. En primer lugar, cabe enfatizar el cuidado con la consulta y la referencia constante a las fuentes primarias, siempre que sea posible, procurando, de esa forma, evidenciar la belleza y la dinámica de la investigación científica, permitiendo que el lector interesado disponga de todas las informaciones para localizar, con facilidad, los textos seminales. Al final de cada capítulo, el lector encontrará una lista de referencias bibliográficas comentadas, separadas en “fuentes primarias” y “otros artículos y sugerencias de lectura”, lo cual posibilita una profundización mayor sobre cualquier asunto tratado, además de un número expresivo de ejercicios. Otra característica del libro es la tentativa de rescatar con él la reflexión crítica del lector sobre el objeto de su lectura. Para eso, los autores recurren, con frecuencia, los comentarios epistemológicos y las reflexiones y citas de los científicos que hicieron la historia de la Mecánica Cuántica. Otro aspecto que puede ser destacado es la preocupación por deducir prácticamente todas las fórmulas que son utilizadas normalmente, y no considerar, como la mayoría, que el alumno “ya vio eso o aquello en otra disciplina”. De esa forma, procuramos construir un libro que dispense al alumno de recurrir a otros, en sus estudios (como libros de Mecánica, Teoría Cinética de los Gases, Electromagnetismo y Física Matemática). Por último, se puede decir que el libro es actual, en la

medida en que se ha tenido en consideración una vasta bibliografía moderna sobre su tema (incluyendo libros y artículos), bibliografía que es ofrecida al lector al final de cada capítulo, en el caso de los artículos, y las demás referencias al final del libro, en orden alfabético según apellidos de los autores.

En los nueve primeros capítulos, presentamos los principales resultados de la Física Clásica, que preceden al surgimiento de la Física Cuántica. En ellos abordamos los fundamentos clásicos de la naturaleza de la materia y de la luz, considerados indispensables para entender la crisis del sistema explicativo causal clásico, que tiene su inicio con el descubrimiento del electrón, con el estudio de la Radiación del Cuerpo Negro, del Movimiento Browniano, y de la Teoría de la Relatividad. Los cuatro capítulos introductorios lidian con la gradual consolidación de la visión atomista de la materia. Los dos siguientes abordan diferentes concepciones sobre la luz, hasta llegar a la Electrodinámica de Maxwell y a la contribución revolucionaria de Einstein, la Relatividad Especial. Los siguientes tres capítulos tratan específicamente de la desconstrucción del concepto del átomo como algo eterno y sin estructura. En ellos son abordadas las contribuciones provenientes de las investigaciones sobre la electrólisis, las descargas en gases y la radioactividad. Toda esa notable conquista científica aún prescindía de la constante de Planck.

En el Capítulo 10, presentamos el estudio de la radiación del cuerpo negro, que culmina con la introducción de la idea del *quantum* en la Física y sus primeras aplicaciones. Los trabajos de Planck y de Einstein, desarrollados entre 1900 y 1905, cambiaron para siempre la Física, dando inicio a lo que se convino en llamar *Física Moderna* o mejor *Física Cuántica*. Siguen dos capítulos con la descripción detallada de los modelos atómicos clásicos (Thomson, Nagaoka, Rutherford) y cuánticos (Bohr & Sommerfeld). El último grupo de capítulos aborda temas como la dualidad onda-partícula, las hipótesis de Louis de Broglie y la construcción de la Mecánica Cuántica (Heisenberg, Schrödinger, Born y Dirac), que, además del enfoque histórico, contiene una presentación exhaustiva de las principales formulaciones de esa nueva teoría para el microcosmos. Concluimos con una discusión de como el estado actual de la Física de las Partículas Elementales es una herencia de las concepciones atomísticas de la materia aquí presentadas.

Esperamos que el público objetivo del libro pueda ser bastante amplio, incluyendo estudiantes de graduación, maestrado profesionalmente y hasta maestrado en otras áreas afines. Alumnos de graduación de los cursos de bachillerato y licenciatura en Física, alumnos de graduación de Ingeniería que cursan la disciplina básica obligatoria de Física IV o disciplinas como la de Dispositivos Semiconductores, que contemplen una introducción a la Física Moderna en el ciclo profesional (Electrónica y Eléctrica). Puede también ser útil en cursos de Física Médica o de Medicina Nuclear, en los cuales comienza a haber una demanda mayor de libros sobre los fundamentos de la Física Moderna, cada vez más pertinente al estudio del instrumental y de los equipamientos usados en la Medicina. El libro también puede ser útil para profesores de enseñanza media y profesores universitarios de Física. Por fin, tal vez el libro también pueda interesar al lector culto.

Agradecemos a Francisca Valéria Fortaleza Vasconcelos por haber vencido nuestra inercia y digitado la primera versión en  $\text{\LaTeX}$  a partir del manuscrito. Al personal de la Biblioteca del CBPF, Fátima Bacelar Couto, Heloísa Ottoni, Sergio Velho, Marcelo da Silva Magalhães, José Santos de Souza, José Ramalho Nery y Maria Rosa Simplício, y a Maria Luisa Mesiano da Biblioteca CTC-D de la Uerj por el inestimable auxilio en la localización de varias referencias. Al personal de la LTC, por el profesionalismo, competencia y, en especial, a Ricardo Redisch, Carla Nery, Raquel Bouzan Barraca y Sandra Mara Albuquerque por la paciencia y gentil tolerancia con los autores en la fase de revisión final del libro. Agradecemos también a Erick Hoepfner (Uerj) por el excelente trabajo con las imágenes y la tapa del libro y por la constante preocupación con los *backups*. A todos los miembros de la Oficina de Educación a través de Historias en Tiras cómicas (Eduhq), por la posibilidad de utilizar algunas de sus tiritas y, en especial, a los alumnos-artistas Luisa Daou, Nilton de Freitas, Ivson Aguiar da Silva, Gustavo dos Santos Amaral y Wallace Jonas de Andrade Marques, nuestro gran agradecimiento.

Nuestro sincero reconocimiento aquellos que hicieron críticas y dieron importantes contribuciones puntuales en diferentes capítulos: Maria José Bechara (IF/USP), Maria Lucia Bianconi (Instituto de Bioquímica de la UFRJ), Mauro Velho de Castro Faria (IB/Uerj), Mirian de Carvalho (UFRJ), Paulo Alves Porto (IQ/USP), Ilton Jornada y Joana Mara Santos (IQ/Uerj), Hélio da Motta Filho (CBPF), Jorge Barreto (UFRJ), Paulo Murilo de Carvalho (UFF), André Sznajder, Pedro von Ranke Perlingeiro, José Umberto Cinelli Lobo de Oliveira, y Nilson Antunes (IF/Uerj).

Versións preliminares del libro fueron utilizadas en diferentes ocasiones por colegas en el IF/Uerj, cuyos comentarios fueron útiles para que revisemos el texto. En este sentido, Marcia Begalli, José Roberto

Mahon, Arnaldo José Santiago y Fabio Antonio Seixas de Rezende dieron importantes contribuciones.

Agradecemos también a Maria Cristina de Oliveira Silveira y a Stella Maris Nunes Amadei, por el incansable auxilio en la revisión del texto, por las críticas y sugerencias que en mucho contribuyeron para su claridad y por el incentivo. Contribuyeron también en la revisión del texto, en diversos momentos: Ademar Monteiro dos Santos, Anderson Luiz Santana França, Carlos Cristóvão de Almeida, Cláudia Mello Belhassof, Marília Pinto de Oliveira, Marco Antonio Correa, Rafaela Ventura y Raquel Bouzan Barraca a quienes estamos muy agradecidos.

No tenemos palabras para agradecer a los amigos que se dispusieron a leer críticamente el contenido de todo el libro: Eugene Levin (Departamento de Física de Altas Energías de la Universidad de Tel Aviv), José Maria Filardo Bassalo (UFPA) y Alfredo Marques (CBPF). A ellos, nuestro más sincero reconocimiento. Sus comentarios enriquecieron mucho el texto y no hace falta decir que cualquier error que aún persista deba ser atribuido exclusivamente a los autores.

Por último, pero no menos importante, debemos mencionar el incentivo constante de muchos amigos, fundamental durante el largo período de preparación del libro, entre a quienes destacamos: Alfredo Marques, Ívano Damião Soares e Sérgio Joffily, do CBPF, José Maria Filardo Bassalo (UFPA), Bruto Max Pimentel Escobar (IFT/Unesp), Gil da Costa Marques (USP), Wanderley de Souza (Finep), Nobuo Oguri (*in memoriam*) y Maria de Lourdes Barbosa (*in memoriam*). Resta ahora Alberto Santoro (IF/Uerj), que fue siempre más que un incentivador. Nuestro asesor en períodos diferentes, esperamos que él vea reflejado en éstas páginas mucho del entusiasmo, de la dimensión ética y social de la Ciencia, y de la preocupación por la formación científica de los jóvenes que nos continua transmitiendo hasta hoy.

Francisco Caruso y Vitor Oguri

Rio de Janeiro, março de 2016.

### **Addendum:**

Con gran satisfacción vemos ahora ser publicada por la Librería de Física, la traducción de la segunda edición de nuestro libro *Física Moderna: Orígenes Clásicos y Fundamentos Cuánticos*, en la que se han realizado pequeños ajustes. Estamos muy agradecidos a los colegas Carlos Alberto Morgan Cruz y Antonio Isaías Rivasplata Mendoza, del Departamento Académico de Física de la Universidad Nacional de Trujillo, Perú, por su dedicado y paciente trabajo de traducción. A Jorge Eduardo Cieza Montalvo, más que un colega, un amigo, por coordinar todo el trabajo de traducción y por su revisión final. Esta edición no habría sido posible sin la generosa colaboración de los tres. A nuestro amigo Carlos García Canal, de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina, por su disposición de leer el libro y por el cariñoso prefacio. También agradecemos a Felipe Silveira por su ayuda para rehacer algunas figuras y tablas. Finalmente, nuestro agradecimiento a José Roberto Marinho, de LF Editorial, por hacer posible la publicación de esta traducción.

Caruso y Oguri

Río de Janeiro, 18 de septiembre de 2024.



# Sumário

Prólogo a la edición en castellano	ix
Prefacio de la segunda edición	xi
Prefacio de la primera edición	xiii
Presentación	xv
<b>1 La estructura de la materia: concepciones filosóficas en la Antigüedad</b>	<b>1</b>
1.1 Primeras especulaciones sobre la constitución de la materia . . . . .	1
1.2 Átomos y vacío: Leucipo, Demócrito y Epicuro . . . . .	7
1.3 Pitágoras, el idealismo de Platón y la geometrización de la Física . . . . .	9
1.3.1 La Escuela Pitagórica . . . . .	9
1.3.2 La geometrización de Platón . . . . .	10
1.3.3 La influencia de Platón en la Física . . . . .	11
1.4 Aristóteles y el antiatomismo . . . . .	14
1.5 Las propiedades de la materia y el vacío: ¿especulación o realidad? . . . . .	16
1.6 Fuentes primarias . . . . .	19
1.7 Otras referencias y lecturas sugeridas . . . . .	19
1.8 Ejercicios . . . . .	20
<b>2 Orígenes del atomismo científico: contribuciones de la Química</b>	<b>21</b>
2.1 Descartes contra el atomismo . . . . .	21
2.2 El atomismo de Galileo, Gassendi y Boyle . . . . .	23
2.3 La cosmovisión mecanicista y el átomo de Newton . . . . .	26
2.4 La combustión: lo flogisto y lo calórico . . . . .	28
2.5 El átomo químico . . . . .	29
2.5.1 El átomo de Dalton . . . . .	30

2.5.2	Las masas atómicas . . . . .	34
2.5.3	La hipótesis de Prout y los isótopos . . . . .	36
2.5.4	La hipótesis de Avogadro y el concepto de molécula . . . . .	37
2.5.5	Clasificación de los elementos químicos: de Lavoisier a Mendeleev . . . . .	41
2.6	El legado de Mendeleev . . . . .	48
2.7	Fuentes primarias . . . . .	52
2.8	Otras referencias y sugerencias de lectura . . . . .	54
2.9	Ejercicios . . . . .	56
<b>3</b>	<b>El atomismo en la Física: Triunfo del mecanicismo</b>	<b>57</b>
3.1	La Teoría Cinética de los Gases . . . . .	58
3.1.1	Postulados básicos . . . . .	59
3.1.2	El gas ideal . . . . .	59
3.1.3	La comprensión de la hipótesis de Avogadro . . . . .	64
3.1.4	La distribución de Maxwell-Boltzmann . . . . .	64
3.1.5	Calor específico de los gases . . . . .	72
3.2	Evidencias experimentales de las distribuciones moleculares . . . . .	74
3.2.1	Fórmula de Arrhenius . . . . .	75
3.2.2	Efusión de moléculas . . . . .	77
3.2.3	Primeros experimentos sobre las distribuciones moleculares . . . . .	78
3.2.4	Experimentos de la década de 1940 . . . . .	79
3.2.5	Experimento de Miller-Kush . . . . .	81
3.3	El concepto de sección eficaz . . . . .	83
3.3.1	El camino libre medio . . . . .	84
3.3.2	Ley de distribución de caminos libres . . . . .	87
3.3.3	La ecuación de la continuidad . . . . .	88
3.3.4	Definición experimental de la sección eficaz . . . . .	90
3.3.5	Definición probabilística de la sección eficaz . . . . .	91
3.4	Fuentes primarias . . . . .	94
3.5	Otras referencias y sugerencias de lectura . . . . .	94
3.6	Ejercicios . . . . .	95
<b>4</b>	<b>El movimiento browniano y la hipótesis molecular</b>	<b>99</b>
4.1	El movimiento aleatorio ratifica la visión corpuscular de la materia . . . . .	99