

---

# Índice

---

<b>1</b>	<b>Conceptos y principios básicos</b>	<b>13</b>
1.1.	Introducción . . . . .	13
1.2.	Densidad de estados y ecuación de Liouville . . . . .	15
1.2.1.	El caso clásico . . . . .	15
1.2.2.	Interpretación de la probabilidad . . . . .	19
1.2.3.	Observables . . . . .	21
1.2.4.	El caso cuántico . . . . .	22
1.3.	Ergodicidad y evolución al equilibrio . . . . .	26
1.3.1.	La hipótesis ergódica . . . . .	26
1.3.2.	Ejemplo de sistema con flujo ergódico . . . . .	28
1.3.3.	Evolución hacia densidad de probabilidad uniforme . . . . .	30
1.3.4.	Decaimiento al equilibrio termodinámico . . . . .	32
1.3.5.	Evolución temporal de la entropía de Gibbs . . . . .	35
1.4.	Resumen de conceptos básicos . . . . .	37
1.5.	Densidades de probabilidad reducidas . . . . .	38
	Ejercicios . . . . .	42
<b>2</b>	<b>Movimiento browniano y ecuación de Fokker-Planck</b>	<b>45</b>
2.1.	Ecuación de Langevin . . . . .	47
2.1.1.	Propiedades estadísticas de $v(t)$ . . . . .	49
2.1.2.	Desplazamiento cuadrático medio . . . . .	50
2.1.3.	Relación de Einstein . . . . .	52
2.2.	Fuerza externa y ecuación de Fokker-Planck . . . . .	54
2.2.1.	La ecuación de Langevin con una fuerza externa . . . . .	54
2.2.2.	Deducción de la ecuación de Fokker-Planck . . . . .	55
2.2.3.	Soluciones de equilibrio . . . . .	58

2.2.4.	Ecuación de Kramers . . . . .	58
2.3.	Ecuación maestra . . . . .	59
	Ejercicios . . . . .	60
<b>3</b>	<b>Información en las fluctuaciones</b> . . . . .	<b>65</b>
3.1.	Densidad de probabilidad de fluctuaciones de equilibrio . . . . .	67
3.2.	Fuerzas y corrientes — régimen lineal . . . . .	69
3.3.	Simetría de la matriz de correlación . . . . .	72
3.4.	Teorema de Wiener-Khinchin . . . . .	74
3.5.	Relaciones de Onsager . . . . .	75
3.5.1.	Corriente de calor y corriente de partículas en espacio continuo . . . . .	77
3.5.2.	Termoelectricidad . . . . .	83
3.6.	La teoría de respuesta lineal . . . . .	87
3.6.1.	Teorema de fluctuación-disipación . . . . .	89
3.6.2.	Fórmula de Green-Kubo . . . . .	93
3.6.3.	Dependencia espacial — el caso de la difusión . . . . .	96
3.6.4.	Relaciones de Kramers-Kronig . . . . .	98
3.6.5.	Disipación de energía . . . . .	101
3.6.6.	Versión cuántica del teorema de fluctuación-disipación . . . . .	102
3.7.	Relaciones de trabajo de no equilibrio . . . . .	107
3.7.1.	Teorema de fluctuación de Crooks . . . . .	108
3.7.2.	Igualdad de Jarzynski . . . . .	110
3.7.3.	Teorema de fluctuación, casos transitorio y estacionario . . . . .	111
	Ejercicios . . . . .	113
<b>4</b>	<b>Ecuaciones hidrodinámicas</b> . . . . .	<b>121</b>
4.1.	Ecuación de balance general . . . . .	122
4.2.	Balance de masa . . . . .	126
4.3.	Balance de momento . . . . .	127
4.4.	Balance de energía y de entropía . . . . .	130
4.4.1.	Equilibrio térmico local . . . . .	131
4.4.2.	Fuente de entropía . . . . .	132
4.5.	Coefficientes de transporte . . . . .	136
4.6.	Ecuaciones hidrodinámicas . . . . .	139
4.7.	Comportamiento cerca del equilibrio . . . . .	141
4.7.1.	Ecuación de onda en fluido ideal . . . . .	142
4.7.2.	Decaimiento irreversible en fluido no ideal . . . . .	144
4.8.	Sistema multicomponente . . . . .	146
4.9.	Producción de entropía en la ecuación de Fokker-Planck . . . . .	148
	Ejercicios . . . . .	152

<b>5</b>	<b>Teoría cinética de transporte en gases</b> . . . . .	<b>157</b>
5.1.	Distribución de velocidades en equilibrio local . . . . .	158
5.2.	Camino libre medio . . . . .	160
5.3.	Frecuencia de colisión . . . . .	161
5.4.	Coefficientes de transporte . . . . .	164
5.4.1.	Coefficiente de autodifusión . . . . .	165
5.4.2.	Viscosidad . . . . .	166
5.4.3.	Conductividad térmica . . . . .	167
5.4.4.	Relaciones entre coeficientes de transporte . . . . .	167
5.5.	Sección eficaz . . . . .	168
5.6.	Tasa de reacción . . . . .	172
	Ejercicios . . . . .	174
<b>6</b>	<b>Ecuación de Boltzmann</b> . . . . .	<b>179</b>
6.1.	Deducción de la ecuación de Boltzmann . . . . .	181
6.2.	Teorema $H$ . . . . .	186
6.2.1.	Balance detallado . . . . .	187
6.2.2.	Relación entre $H$ y la entropía . . . . .	188
6.3.	La paradoja de la irreversibilidad . . . . .	190
6.3.1.	Interpretación estadística de la segunda ley . . . . .	194
6.3.2.	Disparidad de escalas . . . . .	194
6.3.3.	Condiciones iniciales . . . . .	196
6.4.	Coefficientes de transporte . . . . .	198
6.4.1.	Ecuaciones linealizadas de Boltzmann y de Lorentz-Boltzmann . . . . .	199
6.4.2.	Operadores de colisión . . . . .	201
6.4.3.	Ecuaciones hidrodinámicas linealizadas . . . . .	204
6.4.4.	Autovalores de los operadores de colisión perturbados . . . . .	209
6.4.5.	Conexión con la fórmula de Green-Kubo . . . . .	214
6.4.6.	Evaluación de los coeficientes de transporte . . . . .	215
	Ejercicios . . . . .	219
<b>7</b>	<b>Inestabilidades y formación de estructuras</b> . . . . .	<b>225</b>
7.1.	Ejemplo de sistema lejos del equilibrio: convección . . . . .	227
7.1.1.	Transiciones de fase de equilibrio y de no equilibrio . . . . .	230
7.2.	Análisis de estabilidad lineal y estados no lineales básicos . . . . .	231
7.3.	Modelo de Schlögl . . . . .	235
7.4.	Bifurcaciones . . . . .	237
7.5.	Estructuras de Turing . . . . .	243
7.6.	Reacción de Belousov-Zhabotinsky . . . . .	246
7.6.1.	Brusselator . . . . .	247

7.7. Convección — estabilidad lineal . . . . .	249
Ejercicios . . . . .	255
<b>Respuestas a algunos ejercicios</b>	<b>259</b>
<b>Referencias</b>	<b>267</b>
<b>Índice alfabético</b>	<b>275</b>