

# Contenido

## Prefacio

### 1 Las propiedades de la materia y su medida 3

---

- 1.1 El alcance de la química 4
- 1.2 El método científico 5
- 1.3 Propiedades de la materia 6
- 1.4 Clasificación de la materia 7
- 1.5 Medida de la materia: unidades SI 9
- 1.6 La densidad, la composición porcentual y su utilización en la resolución de problemas 14
- 1.7 La incertidumbre en las medidas científicas 18
- 1.8 Cifras significativas 19

*Atención a El método científico en acción: poliagua 23*

*Resumen 23 Ejemplo de recapitulación 23 Términos clave 24*

*Cuestiones de repaso 24 Ejercicios 26 Ejercicios avanzados 28*

*Problemas de seminario 29*

### 2 Los átomos y la teoría atómica 31

---

- 2.1 Los primeros descubrimientos químicos y la teoría atómica 32
- 2.2 Los electrones y otros descubrimientos de la física atómica 34
- 2.3 El átomo nuclear 38
- 2.4 Los elementos químicos 40
- 2.5 Masas atómicas 44
- 2.6 Introducción a la tabla periódica 46
- 2.7 La constante de Avogadro y el concepto del mol 49
- 2.8 Utilización del concepto de mol en los cálculos 51

*Atención a Estado natural y abundancia de los elementos en la naturaleza 55*

*Resumen 56 Ejemplo de recapitulación 56 Términos clave 56*

*Cuestiones de repaso 57 Ejercicios 58 Ejercicios avanzados 60*

*Problemas de seminario 61*

### 3 Compuestos químicos 63

---

- 3.1 Tipos de compuestos químicos y sus fórmulas 64
- 3.2 El concepto de mol y los compuestos químicos 66
- 3.3 Composición de los compuestos químicos 69
- 3.4 Estados de oxidación: un instrumento útil para describir los compuestos químicos 76
- 3.5 Nomenclatura de los compuestos inorgánicos 78

*Atención a Los polímeros, sustancias macromoleculares 88*

*Resumen 87 Ejemplo de recapitulación 87 Términos clave 89*

*Cuestiones de repaso 89 Ejercicios 90 Ejercicios avanzados 92*

*Problemas de seminario 93*

### 4 Las reacciones químicas 95

---

- 4.1 Las reacciones químicas y la ecuación química 96
- 4.2 La ecuación química y la estequiometría 99
- 4.3 Reacciones químicas en disolución 105
- 4.4 Determinación del reactivo limitante 111
- 4.5 Otros aspectos prácticos de la estequiometría de la reacción 113

*Atención a La química industrial 118*

*Resumen 117 Ejemplo de recapitulación 118 Términos clave 118*

*Cuestiones de repaso 120 Ejercicios 121 Ejercicios avanzados 125*

*Problemas de seminario 126*

### 5 Introducción a las reacciones en disolución acuosa 127

---

- 5.1 Naturaleza de las disoluciones acuosas 128
- 5.2 Reacciones de precipitación 131
- 5.3 Reacciones ácido-base 134
- 5.4 Principios generales de la oxidación-reducción 138
- 5.5 Ajuste de las reacciones de oxidación-reducción 142
- 5.6 Agentes oxidantes y reductores 146
- 5.7 Estequiometría de las reacciones en disolución acuosa y valoraciones 148

*Atención a El tratamiento de aguas 152*

*Resumen 151 Ejemplo de recapitulación 151 Término clave 153*

*Ejercicios de repaso 153 Ejercicios 154 Ejercicios avanzados 157*

*Problemas de seminario 158*

### 6 Gases 161

---

- 6.1 Propiedades de los gases: presión de gas 162
- 6.2 Las leyes elementales de los gases 166
- 6.3 La ecuación de los gases ideales 172
- 6.4 Aplicaciones de la ecuación de los gases ideales 175
- 6.5 Los gases en las reacciones químicas 178

- 6.6 Mezclas de gases 180
- 6.7 Teoría cinético-molecular de los gases 183
- 6.8 Propiedades de los gases en la teoría cinético-molecular 187
- 6.9 Gases no ideales (reales) 190

*Atención a La química de los sistemas de bolsa de aire 192*

*Resumen 193 Ejemplo de recapitulación 193 Términos clave 194*

*Cuestiones de repaso 194 Ejercicios 195 Ejercicios avanzados 198*

*Problemas de seminario 199*

## 7 Termoquímica 201

---

- 7.1 Términos básicos en termoquímica 202
- 7.2 Trabajo 203
- 7.3 Calor 204
- 7.4 Calores de reacción y calorimetría 208
- 7.5 La primera ley de la termodinámica 212
- 7.6 Calores de reacción:  $\Delta E$  y  $\Delta H$  214
- 7.7 Determinación indirecta de  $\Delta H$ : ley de Hess 216
- 7.8 Entalpías de formación estándar 219
- 7.9 Los combustibles como fuentes de energía 225

*Atención a Grasas, hidratos de carbono y almacenamiento de energía 229*

*Resumen 230 Ejemplo de recapitulación 230 Términos clave 231*

*Cuestiones de repaso 231 Ejercicios 233 Ejercicios avanzados 236*

*Problemas de seminario 237*

## 8 Gases atmosféricos e hidrógeno 239

---

- 8.1 La atmósfera 240
- 8.2 Nitrógeno 243
- 8.3 Oxígeno 250
- 8.4 Los gases nobles 253
- 8.5 Óxidos de carbono 255
- 8.6 Hidrógeno 260

*Atención a El ciclo de carbono 263*

*Resumen 264 Ejemplo de recapitulación 264 Términos clave 265*

*Cuestiones de repaso 265 Ejercicios 266 Ejercicios avanzados 267*

*Problemas de seminario 268*

## 9 Los electrones en los átomos 271

---

- 9.1 Radiación electromagnética 272
- 9.2 Espectros atómicos 276
- 9.3 Teoría cuántica 277
- 9.4 El átomo de Bohr 280
- 9.5 Dos ideas que condujeron a la nueva mecánica cuántica 284
- 9.6 Mecánica ondulatoria 286
- 9.7 Números cuánticos y orbitales de los electrones 289

- 9.8 El cuarto número cuántico. Espín del electrón 293
- 9.9 Átomos multielectrónicos 294
- 9.10 Configuraciones electrónicas 295
- 9.11 Configuraciones electrónicas y la tabla periódica 299

*Atención a Láseres de Helio-Neón 304*

*Resumen 306 Ejemplo de recapitulación 306 Términos clave 307*  
*Cuestiones de repaso 307 Ejercicios 308 Ejercicios avanzados 311*  
*Problemas de seminario 312*

## 10 La tabla periódica y algunas propiedades atómicas 315

---

- 10.1 Clasificación de los elementos. La ley periódica y la tabla periódica 316
- 10.2 Descripción de una tabla periódica moderna. Tabla periódica larga 319
- 10.3 Metales, no metales y sus iones 320
- 10.4 El tamaño de los átomos y los iones 323
- 10.5 Energía de ionización 327
- 10.6 Afinidad electrónica 331
- 10.7 Propiedades magnéticas 333
- 10.8 Propiedades periódicas de los elementos 334

*Atención a La ley periódica y el mercurio 339*

*Resumen 340 Ejemplo de recapitulación 340 Términos clave 341*  
*Cuestiones de repaso 341 Ejercicios 342 Ejercicios avanzados 343*

## 11 Enlace químico I. Conceptos básicos 345

---

- 11.1 Visión general de la teoría de Lewis 346
- 11.2 Introducción al enlace covalente 348
- 11.3 Enlaces covalentes polares 351
- 11.4 Escritura de las estructuras de Lewis 355
- 11.5 Resonancia 360
- 11.6 Excepciones a la regla del octeto 362
- 11.7 La forma de las moléculas 365
- 11.8 Energías de enlace 375

*Atención a Los fulleneros 379*

*Resumen 380 Ejemplo de recapitulación 381 Términos clave 381*  
*Cuestiones de repaso 381 Ejercicios 382 Ejercicios avanzados 385*  
*Problemas de seminario 386*

## 12 Enlace químico II. Aspectos adicionales 387

---

- 12.1 Objetivo de una teoría de enlace 388
- 12.2 Introducción al método de enlace de valencia 389
- 12.3 Hibridación de orbitales atómicos 391
- 12.4 Enlaces covalentes múltiples 397
- 12.5 Teoría de orbitales moleculares 401

- 12.6 Electrones deslocalizados. El enlace en la molécula de benceno 407  
12.7 El enlace en los metales 409

*Atención a Los semiconductores 412*

*Resumen 413 Ejemplo de recapitulación 414 Términos clave 414*  
*Cuestiones de repaso 414 Ejercicios 415 Ejercicios avanzados 417*

## **13 Líquidos, sólidos y fuerzas intermoleculares 419**

---

- 13.1 Fuerzas intermoleculares y algunas propiedades de los líquidos 420  
13.2 Vaporización de los líquidos. Presión de vapor 422  
13.3 Algunas propiedades de los sólidos 430  
13.4 Diagrama de fase 431  
13.5 Fuerzas de Van der Waals 436  
13.6 Enlace de hidrógeno 440  
13.7 Los enlaces químicos como fuerzas intermoleculares 443  
13.8 Estructuras cristalinas 446  
13.9 Cambios de energía en la formación de cristales iónicos 455

*Atención a Cristales líquidos 458*

*Resumen 459 Ejemplo de recapitulación 459 Términos clave 460*  
*Cuestiones de repaso 460 Ejercicios 461 Ejercicios avanzados 465*  
*Problemas de seminario 466*

## **14 Las disoluciones y sus propiedades físicas 469**

---

- 14.1 Tipos de disoluciones. Términos utilizados 470  
14.2 Concentración de una disolución 470  
14.3 Fuerzas intermoleculares y procesos de disolución 474  
14.4 Formación de la disolución y equilibrio 478  
14.5 Solubilidades de los gases 481  
14.6 Presiones de vapor de las disoluciones 483  
14.7 Presión osmótica 487  
14.8 Descenso del punto de congelación y elevación del punto de ebullición de las disoluciones de no electrolitos 490  
14.9 Disoluciones de electrolitos 493

*Atención a Mezclas coloidales 496*

*Resumen 497 Ejemplo de recapitulación 497 Términos clave 497*  
*Cuestiones de repaso 497 Ejercicios 498 Ejercicios avanzados 502*  
*Problemas de seminario 503*

## **15 Cinética química 505**

---

- 15.1 La velocidad de una reacción química 506  
15.2 Medida de velocidades de reacción 507  
15.3 Dependencia de las velocidades de reacción con la concentración. Ecuación de velocidad 510  
15.4 Reacciones de orden cero 514  
15.5 Reacciones de primer orden 515

- 15.6 Reacciones de segundo orden 520
- 15.7 Resumen de la cinética de reacción 522
- 15.8 Modelos teóricos de la cinética química 522
- 15.9 Dependencia de las velocidades de reacción con la temperatura 525
- 15.10 Mecanismos de reacción 528
- 15.11 Catálisis 531

*Atención a Combustión y explosiones 534*

*Resumen 535 Ejemplo de recapitulación 536 Términos clave 536*  
*Cuestiones de repaso 536 Ejercicios 538 Ejercicios avanzados 541*  
*Problemas de seminario 542*

## **16 Principios del equilibrio químico 545**

---

- 16.1 Condiciones de equilibrio dinámico 546
- 16.2 Expresión de la constante de equilibrio 547
- 16.3 Relaciones entre las constantes de equilibrio 550
- 16.4 Significado del valor numérico de una constante de equilibrio 555
- 16.5 El cociente de reacción,  $Q$ . Predicción del sentido de una reacción neta 556
- 16.6 Modificación de las condiciones de equilibrio. Principio de Le Châtelier 559
- 16.7 Cálculos de equilibrios. Ejemplos ilustrativos 564

*Atención a El ciclo del nitrógeno 571*

*Resumen 572 Ejemplo de recapitulación 573 Términos clave 573*  
*Cuestiones de repaso 573 Ejercicios 575 Ejercicios avanzados 578*  
*Problemas de seminario 579*

## **17 Ácidos y bases 581**

---

- 17.1 Breve revisión de la teoría de Arrhenius 582
- 17.2 Teoría de ácidos y bases de Brønsted-Lowry 583
- 17.3 La autoionización del agua y la escala de pH 586
- 17.4 Ácidos fuertes y bases fuertes 589
- 17.5 Ácidos débiles y bases débiles 590
- 17.6 Ácidos polipróticos 598
- 17.7 Iones como ácidos y como bases 602
- 17.8 Estructura molecular y comportamiento ácido-base 606
- 17.9 Ácidos y bases de Lewis 610

*Atención a La lluvia ácida 612*

*Resumen 613 Ejemplo de recapitulación 613 Términos clave 614*  
*Cuestiones de repaso 614 Ejercicios 615 Ejercicios avanzados 617*  
*Problemas de seminario 618*

## **18 Otros aspectos de los equilibrios ácido-base 621**

---

- 18.1 Efecto del ion común en los equilibrios ácido-base 622
- 18.2 Disoluciones reguladoras 625
- 18.3 Indicadores ácido-base 634
- 18.4 Reacciones de neutralización y curvas de valoración 634

- 18.5** Disoluciones de sales de ácidos polipróticos 643  
**18.6** Resumen de los cálculos de equilibrios ácido-base 644

*Atención a Disoluciones reguladoras en la sangre 645*  
*Resumen 646 Ejemplo de recapitulación 647 Términos clave 647*  
*Cuestiones de repaso 647 Ejercicios 648 Ejercicios avanzados 651*  
*Problemas de seminario 653*

## **19 Solubilidad y equilibrios de iones complejos 655**

---

- 19.1** Constante de producto de solubilidad,  $K_{sp}$  656  
**19.2** Relación entre la solubilidad y  $K_{sp}$  657  
**19.3** Efecto del ion común en los equilibrios de solubilidad 659  
**19.4** Limitaciones del concepto de  $K_{sp}$  661  
**19.5** Criterios para la precipitación y precipitación completa 662  
**19.6** Precipitación fraccionada 665  
**19.7** Solubilidad y pH 667  
**19.8** Introducción a los iones complejos y compuestos de coordinación 669  
**19.9** Equilibrios que implican iones complejos 670  
**19.10** Análisis cualitativo de cationes 675

*Atención a Caparazones, dientes y fósiles 679*  
*Resumen 680 Ejemplo de recapitulación 680 Términos clave 681*  
*Cuestiones de repaso 681 Ejercicios 682 Ejercicios avanzados 685*  
*Problemas de seminario 686*

## **20 Cambio espontáneo. Entropía y energía libre 689**

---

- 20.1** Espontaneidad. Significado del cambio espontáneo 690  
**20.2** Espontaneidad y desorden. Concepto de entropía 691  
**20.3** Criterios para el cambio espontáneo. La segunda ley de la termodinámica 695  
**20.4** Evaluación de la entropía y de las variaciones de entropía 699  
**20.5** Variación de energía libre estándar,  $\Delta G^\circ$  703  
**20.6** Variación de energía libre y equilibrio 704  
**20.7** Dependencia de  $\Delta G^\circ$  y  $K_{eq}$  con la temperatura 710  
**20.8** Reacciones acopladas 713

*Atención a Máquinas térmicas y contaminación térmica 714*  
*Resumen 716 Ejemplo de recapitulación 716 Términos clave 716*  
*Cuestiones de repaso 717 Ejercicios 718 Ejercicios avanzados 721*  
*Problemas de seminario 722*

## **21 Electroquímica 725**

---

- 21.1** Potenciales de electrodo y su medida 726  
**21.2** Potenciales estándar de electrodo 730  
**21.3**  $E_{cel}$  y los procesos espontáneos 734  
**21.4**  $E_{cel}$  en función de las concentraciones 738  
**21.5** Baterías: obtención de electricidad por medio de reacciones químicas 743

- 21.6 Corrosión: células voltaicas no deseadas 747
- 21.7 Electrólisis: producción de reacciones no espontáneas 748

*Atención a Procesos de electrólisis industriales 754*

*Resumen 755 Ejemplo de recapitulación 756 Términos clave 756*

*Cuestiones de repaso 756 Ejercicios 758 Ejercicios avanzados 761*

*Problemas de seminario 762*

## **22 Elementos de los grupos principales I. Metales 765**

---

- 22.1 Grupo 1A. Los metales alcalinos 765
- 22.2 Grupo 2A. Los metales alcalinotérreos 772
- 22.3 Iones en aguas naturales. Aguas duras 778
- 22.4 Metales del Grupo 3A: aluminio, galio, indio y talio 780
- 22.5 Metales del Grupo 4A: estaño y plomo 785

*Atención a Arseniuro de galio 788*

*Resumen 789 Ejemplo de recapitulación 789 Términos clave 789*

*Cuestiones de repaso 789 Ejercicios 790 Ejercicios avanzados 793*

## **23 Elementos de los grupos principales II. No metales 795**

---

- 23.1 Grupo 8A. Los gases nobles 796
- 23.2 Grupo 7A. Los halógenos 797
- 23.3 Grupo 6A. La familia de oxígeno 803
- 23.4 Grupo 5A. La familia de nitrógeno 809
- 23.5 No metales del Grupo 4A: carbono y silicio 815
- 23.6 El elemento no metálico del Grupo 3A: boro 821

*Atención a La fabricación de vidrio 823*

*Resumen 824 Ejemplo de recapitulación 824 Términos clave 825*

*Cuestiones de repaso 825 Ejercicios 826 Ejercicios avanzados 828*

*Problemas de seminario 828*

## **24 Elementos de transición 831**

---

- 24.1 Propiedades generales 832
- 24.2 Principios de metalurgia extractiva 836
- 24.3 Metalurgia de hierro y el acero 842
- 24.4 Elementos de la primera serie de transición, del escandio al níquel 844
- 24.5 Metales de acuñar: cobre, plata y oro 850
- 24.6 Grupo 2B: cinc, cadmio y mercurio 852
- 24.7 Lantánidos 854

*Atención a Superconductores de alta temperatura 855*

*Resumen 856 Ejemplo de recapitulación 857 Términos clave 857*

*Cuestiones de repaso 857 Ejercicios 858 Ejercicios avanzados 860*

*Problemas de seminario 861*

## 25 Iones complejos y compuestos de coordinación 863

---

- 25.1 Breve exposición de la teoría de Werner de los compuestos de coordinación 864
  - 25.2 Ligandos 865
  - 25.3 Nomenclatura 867
  - 25.4 Isometría 869
  - 25.5 El enlace en los iones complejos. Teoría del campo cristalino 873
  - 25.6 El color y los colores de los complejos 877
  - 25.7 Algunos aspectos de los equilibrios de los iones complejos 879
  - 25.8 Reacciones ácido-base de los iones complejos 881
  - 25.9 Algunas consideraciones cinéticas 882
  - 25.10 Aplicaciones de la química de coordinación 883
- Atención a Los colores de las gemas 886*  
*Resumen 887 Ejemplo de recapitulación 888 Términos clave 888*  
*Cuestiones de repaso 888 Ejercicios 889 Ejercicios avanzados 891*

## 26 Química nuclear 893

---

- 26.1 El fenómeno de la radiactividad 894
  - 26.2 Abundancia natural de los isótopos radiactivos 897
  - 26.3 Reacciones nucleares y radiactividad inducida artificialmente 898
  - 26.4 Elementos transuránidos 899
  - 26.5 Velocidad de desintegración radiactiva 900
  - 26.6 Energía implicada en las reacciones nucleares 904
  - 26.7 Estabilidad nuclear 907
  - 26.8 Fisión nuclear 909
  - 26.9 Fusión nuclear 912
  - 26.10 Efectos de la radiación sobre la materia 912
  - 26.11 Aplicaciones de los radiosiótopos 915
- Atención a Eliminación de residuos radiactivos 917*  
*Resumen 918 Ejemplo de recapitulación 919 Términos clave 919*  
*Cuestiones de repaso 919 Ejercicios 920 Ejercicios avanzados 922*

## 27 Química orgánica 925

---

- 27.1 Introducción a los compuestos orgánicos y sus estructuras 926
  - 27.2 Alcanos 932
  - 27.3 Alquenos y alquinos 935
  - 27.4 Hidrocarburos aromáticos 938
  - 27.5 Alcoholes, fenoles y éteres 942
  - 27.6 Aldehídos y cetonas 944
  - 27.7 Ácidos carboxílicos y sus derivados 945
  - 27.8 Aminas 947
  - 27.9 Compuestos heterocíclicos 947
  - 27.10 Reacciones de polimerización 948
- Atención a Colorantes naturales y sintéticos 951*  
*Resumen 952 Ejemplo de recapitulación 953 Términos clave 953*  
*Cuestiones de repaso 953 Ejercicios 954 Ejercicios avanzados 956*

## 28 Química de los seres vivos 959

---

- 28.1 Estructura química de la materia viva. Una visión panorámica 960
- 28.2 Lípidos 960
- 28.3 Hidratos de carbono 963
- 28.4 Proteínas 970
- 28.5 Ácidos nucleicos 977

*Atención a Síntesis de proteínas y el código genético* 980

*Resumen* 982 *Ejemplo de recapitulación* 982 *Términos clave* 982

*Cuestiones de repaso* 983 *Ejercicios* 983 *Ejercicios avanzados* 985

## Apéndices

---

### A Operaciones matemáticas 987

- A.1 Aritmética exponencial 987
- A.2 Logaritmos 989
- A.3 Operaciones algebraicas 990
- A.4 Gráficos 992
- A.5 Utilización de factores de conversión (análisis dimensional) 993

### B Algunos conceptos básicos de física 997

- B.1 Velocidad y aceleración 997
- B.2 Fuerza y trabajo 997
- B.3 Energía 998
- B.4 Magnetismo 999
- B.5 Electricidad estática 999
- B.6 Corriente eléctrica 1000
- B.7 Electromagnetismo 1000

### C Unidades SI 1001

- C.1 Unidades básicas SI 1001
- C.2 Prefijos SI 1001
- C.3 Unidades derivadas SI 1002
- C.4 Unidades que deben dejar de utilizarse 1002

### D Tablas de datos 1003

- D.1 Configuraciones electrónicas del estado fundamental 1003
- D.2 Propiedades termodinámicas de las sustancias a 298,15 K 1004
- D.3 Constantes de equilibrio 1011
- D.4 Potenciales estándar de electrodo (reducción) a 25 °C 1013

### Glosario 1017

**Respuestas de los ejemplos prácticos y de algunos ejercicios seleccionados 1027**

**Índice analítico 1049**