

# CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>PREFACIO</b>   | xxiii     |
| <b>CAPÍTULO 1 LAS HERRAMIENTAS DE LA QUÍMICA</b>  | <b>3</b>  |
| 1.1 La Química hoy  | 4         |
| 1.2 La ciencia y sus métodos  | 5         |
| El estudio de la Química  | 6         |
| 1.3 Algunas definiciones básicas  | 7         |
| Materia 7 • Masa y peso 7 • Sustancias y mezclas 7 • Propiedades físicas y químicas 8 • Átomos y moléculas 9 • Elementos y compuestos 9         |           |
| 1.4 Los elementos químicos y la tabla periódica   | 10        |
| 1.5 Los tres estados de la materia  | 12        |
| 1.6 Medición  | 13        |
| 1.7 Unidades de medición  | 14        |
| Unidades SI 14 • Unidades SI derivadas 15 • Escalas de temperatura 19   |           |
| 1.8 Manejo de números   | 20        |
| Notación científica 20 • Análisis de cifras significativas 22   |           |
| 1.9 Método del factor unitario para resolver problemas  | 26        |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: EL MÉTODO CIENTÍFICO Y LA EXTINCIÓN DE LOS DINOSAURIOS</b>   | <b>29</b> |
| Resumen   | 30        |
| Palabras clave  | 31        |
| Ejercicios  | 31        |
| <b>CAPÍTULO 2 ÁTOMOS, MOLÉCULAS E IONES</b>   | <b>37</b> |
| 2.1 Teoría atómica: de las primeras ideas a John Dalton   | 38        |
| 2.2 Estructura del átomo  | 39        |
| El electrón 39 • Rayos X y radiactividad 40 • El protón y el núcleo 41 • El neutrón 43  |           |
| 2.3 Relaciones de masa de los átomos  | 43        |
| Número atómico, número de masa e isótopos 43 • Masas atómicas 45 • Masa atómica promedio 46 • Masa molar de un elemento y número de Avogadro 46 |           |
| 2.4 Moléculas: átomos en combinación  | 50        |
| Moléculas y fórmulas químicas 50 • Fórmula molecular 50 • Fórmula empírica 52 • Masa molecular 53   |           |
| 2.5 Iones y compuestos iónicos  | 54        |
| 2.6 Composición porcentual en masa de los compuestos  | 56        |
| Determinación experimental de fórmulas empíricas 59 • Determinación de fórmulas moleculares 60  |           |



|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2.7 | Leyes de la combinación química                                       | 62 |
| 2.8 | Determinación experimental de masas atómicas y moleculares            | 64 |
| 2.9 | Nomenclatura de compuestos inorgánicos                                | 65 |
|     | Compuestos iónicos 66 • Compuestos moleculares 69 • Ácidos y bases 71 |    |
|     | • Hidratos 74 • Compuestos inorgánicos comunes 75                     |    |

**LA QUÍMICA EN ACCIÓN: ALÓTROPOS** 75

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Resumen                              | 76 |
| Química aplicada, ejemplo: la potasa | 78 |
| Palabras clave                       | 79 |
| Ejercicios                           | 80 |



**CAPÍTULO 3 REACCIONES QUÍMICAS I: ECUACIONES QUÍMICAS Y REACCIONES EN DISOLUCIÓN ACUOSA** 87

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 3.1 | Ecuaciones químicas  | 88 |
|     | Escritura de ecuaciones químicas 88 • Balanceo de ecuaciones químicas 90 |    |
| 3.2 | Propiedades de las disoluciones acuosas                                  | 94 |
|     | Electrólitos y no electrólitos   | 94 |
| 3.3 | Reacciones de precipitación  | 96 |

**LA QUÍMICA EN ACCIÓN: UNA REACCIÓN DE PRECIPITACIÓN INDESEABLE** 100

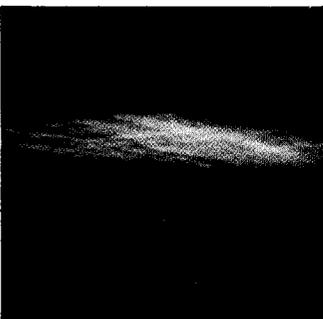
|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 3.4 | Reacciones ácido-base  | 100 |
|     | Propiedades generales de ácidos y bases 100 • Definiciones de ácidos y bases 101 • Neutralización ácido-base 103 |     |
| 3.5 | Reacciones de oxidación-reducción  | 104 |

**LA QUÍMICA EN ACCIÓN: RESCATE DE LAS GRABACIONES DEL CHALLENGER** 105

|     |   |     |
|-----|---|-----|
|     | Número de oxidación 106 • Tipos de reacciones redox 109 |     |
| 3.6 | Balanceo de ecuaciones de óxido-reducción               | 115 |

**LA QUÍMICA EN ACCIÓN: FOTOGRAFÍA EN BLANCO Y NEGRO** 118

|  |     |
|--|-----|
| Resumen                                      | 120 |
| Ejemplo de Química aplicada: ácido fosfórico | 120 |
| Palabras clave                               | 122 |
| Ejercicios                                   | 122 |



**CAPÍTULO 4 REACCIONES QUÍMICAS II: RELACIONES PONDERALES** 129

|     |                                     |     |
|-----|-------------------------------------|-----|
| 4.1 | Cantidades de reactivos y productos | 130 |
| 4.2 | Reactivo limitante                  | 134 |
| 4.3 | Rendimientos de las reacciones      | 137 |

**LA QUÍMICA EN ACCIÓN: LOS FERTILIZANTES QUÍMICOS** 139

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 4.4 | Concentración y dilución de disoluciones  | 140 |
|     | Concentración de disoluciones 140 • Dilución de soluciones (o disoluciones) 143 |     |
| 4.5 | Análisis gravimétrico   | 144 |
| 4.6 | Titulaciones ácido-base   | 147 |
| 4.7 | Titulaciones redox  | 150 |

**LA QUÍMICA EN ACCIÓN: ANALIZADOR DE ALIENTO** 152

|  |     |
|--|-----|
| Resumen                                    | 154 |
| Ejemplo de Química aplicada: ácido nítrico | 154 |
| Palabras clave                             | 156 |
| Ejercicios                                 | 157 |

## CAPÍTULO 5 EL ESTADO GASEOSO 165

|  |     |
|--|-----|
| 5.1 Sustancias que existen como gases  | 166 |
| 5.2 Presión de un gas  | 167 |
| 5.3 Las leyes de los gases   | 170 |
| Relación presión-volumen: ley de Boyle 170 • Relación temperatura-volumen: ley de Charles y Gay Lussac 174 • La relación volumen-cantidad: ley de Avogadro 178 |     |
| 5.4 La ecuación del gas ideal  | 178 |
| Cálculos de densidad 182 • La masa molar de una sustancia gaseosa 183  |     |
| 5.5 Estequiometría con gases   | 185 |
| 5.6 Ley de Dalton de las presiones parciales   | 188 |
| 5.7 La teoría cinética molecular de los gases  | 192 |

### LA QUÍMICA EN ACCIÓN: BUCEO PROFUNDO Y LAS LEYES DE LOS GASES 193

|  |     |
|--|-----|
| Aplicación de las leyes de los gases 195 • Distribución de velocidades moleculares 196 • Trayectoria libre media 198 |     |
| 5.8 Ley de Graham de la difusión y efusión   | 198 |
| Difusión 198 • Efusión 200   |     |

### LA QUÍMICA EN ACCIÓN: SEPARACIÓN DE ISÓTOPOS POR EFUSIÓN GASEOSA 202

|   |     |
|---|-----|
| 5.9 Desviación del comportamiento ideal | 203 |
|---|-----|

|  |     |
|--|-----|
| Resumen  | 206 |
| Ejemplo de Química aplicada: cloruro de vinilo | 207 |
| Palabras clave                                 | 208 |
| Ejercicios                                     | 208 |

## CAPÍTULO 6 TERMOQUÍMICA 217

|  |     |
|--|-----|
| 6.1 Algunas definiciones                           | 218 |
| 6.2 Cambios energéticos en las reacciones químicas | 219 |
| 6.3 Entalpía                                       | 221 |

### LA QUÍMICA EN ACCIÓN: VELAS, MECHEROS Y SOPLETES 223

|   |     |
|---|-----|
| 6.4 Calorimetría  | 225 |
| Calor específico y capacidad calorífica 225 • Calorimetría a volumen constante 226 • Calorimetría a presión constante 228 |     |

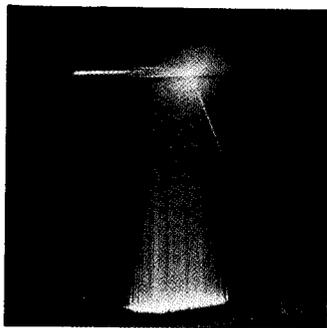
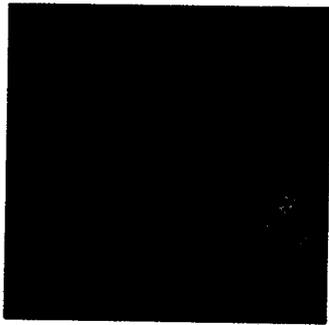
### LA QUÍMICA EN ACCIÓN: VALORES ENERGÉTICOS DE LOS ALIMENTOS Y OTRAS SUSTANCIAS 229

|  |     |
|--|-----|
| 6.5 Entalpía estándar de formación y de reacción | 231 |
| 6.6 Calor de solución y dilución                 | 236 |

### LA QUÍMICA EN ACCIÓN: AUTODEFENSA DEL ESCARABAJO BOMBARDERO 237

|   |     |
|---|-----|
| Calor de disolución 237 • Calor de dilución 240 |     |
| 6.7 La primera ley de la termodinámica          | 240 |

### LA QUÍMICA EN ACCIÓN: COMPRESAS INSTANTÁNEAS FRÍAS Y CALIENTES 241



La primera ley de la termodinámica 241 • Trabajo y calor 243 • Entalpía 246

Resumen 248

LA QUÍMICA EN ACCIÓN: FABRICACIÓN DE NIEVE E INFLADO DE UNA LLANTA 249

Ejemplo de Química aplicada: cal 250

Palabras clave 251

Ejercicios 251

**CAPÍTULO 7 LA TEORÍA CUÁNTICA Y LA ESTRUCTURA ELECTRÓNICA DE LOS ÁTOMOS 259**

7.1 De la Física clásica a la teoría cuántica 260

Propiedades de las ondas 260 • Radiación electromagnética 262 • Teoría cuántica de Planck 264

7.2 El efecto fotoeléctrico 265

7.3 Teoría de Bohr del átomo de hidrógeno 267

Espectros de emisión 267 • Espectro de emisión del átomo de hidrógeno 268

7.4 La naturaleza dual del electrón 271

LA QUÍMICA EN ACCIÓN: EMISIÓN ATÓMICA: ALUMBRADO PÚBLICO, LUCES FLUORESCENTES Y SEÑALES DE NEÓN 272

LA QUÍMICA EN ACCIÓN: LÁSER: LA ESPLÉNDIDA LUZ 273

LA QUÍMICA EN ACCIÓN: EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO 277

7.5 Mecánica cuántica 278

7.6 Aplicación de la ecuación de Schrödinger al átomo de hidrógeno 279

7.7 Números cuánticos 280

El número cuántico principal ( $n$ ) 280 • El número cuántico de momento angular ( $l$ ) 280 • El número cuántico magnético ( $m_l$ ) 281 • El número cuántico de espín-electrónico ( $m_s$ ) 281

7.8 Orbitales atómicos 282

Las energías de los orbitales 285

7.9 Configuración electrónica 287

El principio de exclusión de Pauli 288 • Diamagnetismo y paramagnetismo 289 • El efecto de apantallamiento en átomos polieletrónicos 290 • Regla de Hund 290 • Reglas generales para asignar electrones a orbitales atómicos 292

7.10 El principio de construcción progresiva 294

Resumen 297

Palabras clave 299

Ejercicios 299

**CAPÍTULO 8 RELACIONES PERIÓDICAS ENTRE LOS ELEMENTOS 305**

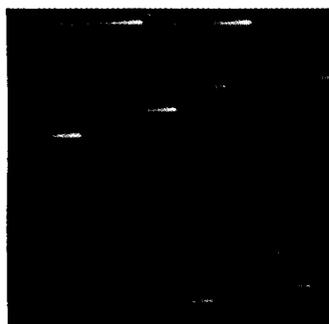
8.1 Desarrollo de la tabla periódica 306

8.2 Clasificación periódica de los elementos 309

Representación de los elementos libres en las ecuaciones químicas 312 • Configuraciones electrónicas de cationes y aniones 312

8.3 Variaciones periódicas de las propiedades físicas 313

LA QUÍMICA EN ACCIÓN: LA TABLA PERIÓDICA ACTUAL 314



| ELEMENTS     |              |
|--------------|--------------|
| Hydrogen 1   | Strontian 46 |
| Acetic 5     | Barytes 60   |
| Carbon 6     | Iron 50      |
| Oxygen 7     | Zinc 56      |
| Phosphorus 9 | Copper 56    |
| Sulphur 13   | Lead 90      |
| Magnesia 20  | Silver 190   |
| Linne 24     | Gold 190     |
| Soda 28      | Platina 190  |
| Potash 42    | Mercury 167  |

Carga nuclear efectiva 315 • Radio atómico 315 • Radio iónico 318 •  
Variación de propiedades físicas a lo largo de un periodo 320 •

**LA QUÍMICA EN ACCIÓN: EL TERCER ELEMENTO LÍQUIDO** 322

Predicción de propiedades físicas 323

8.4 Energía de ionización 323

Energías de ionización de átomos polieletrónicos 324

8.5 Afinidad electrónica 327

8.6 Variación de las propiedades químicas 329

Tendencias generales de las propiedades químicas 329 • Propiedades químicas de los grupos individuales 330 • Comparación de los elementos del grupo 1A y del 1B (1 y 2) 337 • Propiedades de los óxidos a lo largo de un periodo 337

**LA QUÍMICA EN ACCIÓN: DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS EN LA CORTEZA TERRESTRE Y EN SISTEMAS VIVOS** 340

Resumen 341

Palabras clave 342

Ejercicios 342

**CAPÍTULO 9 ENLACE QUÍMICO I: CONCEPTOS BÁSICOS** 349

9.1 Símbolos de puntos de Lewis 350

9.2 Elementos que forman compuestos iónicos 350  
Iones poliatómicos 353

9.3 La energía reticular de los compuestos iónicos 353  
El ciclo de Born-Haber para la determinación de energías reticulares 353  
• La energía reticular y las fórmulas de los compuestos iónicos 356

**LA QUÍMICA EN ACCIÓN: EL CLORURO DE SODIO: UN COMPUESTO IÓNICO COMÚN E IMPORTANTE** 357

9.4 El enlace covalente 358

Comparación entre las propiedades de los compuestos covalentes e iónicos 360

9.5 Electronegatividad 361

Electronegatividad y número de oxidación 364

9.6 Escritura de las estructuras de Lewis 364

9.7 Carga formal y estructura de Lewis 367

9.8 El concepto de resonancia 369

9.9 Excepciones a la regla del octeto 372

El octeto incompleto 372 • Moléculas con número impar de electrones 373 • El octeto expandido 373

9.10 Fuerza del enlace covalente 375

Energía de disociación del enlace y energía de enlace 375 • Uso de las energías de enlace en termoquímica 376

Resumen 379

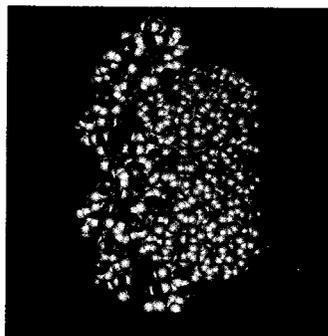
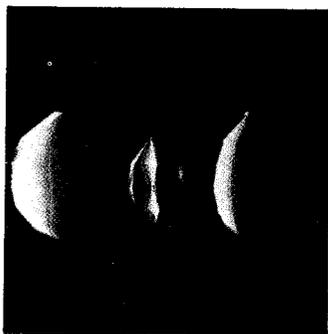
Ejemplo de Química aplicada: el dicloruro de etileno 380

Palabras clave 382

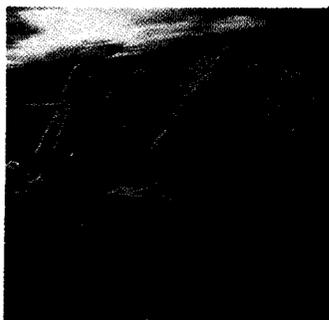
Ejercicios 383

**CAPÍTULO 10 ENLACE QUÍMICO II: GEOMETRÍA MOLECULAR Y ORBITALES MOLECULARES** 389

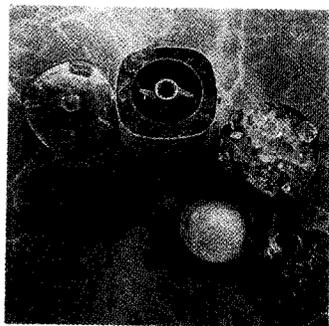
10.1 Geometría molecular 390

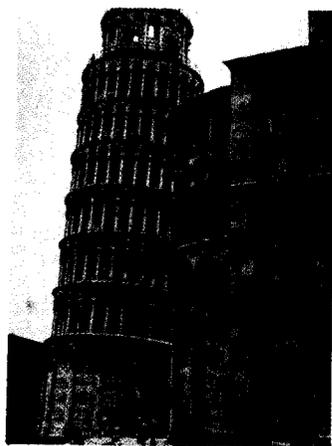


|  |            |
|--|------------|
| Moléculas en las que el átomo central no tiene pares libres 390 •  |            |
| Moléculas en las cuales el átomo central tiene uno o más pares libres 393  |            |
| • Geometría de moléculas con más de un átomo central 398 • Guía para explicar el modelo de RPECV 398   |            |
| 10.2 Momentos dipolo   | 400        |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: MODELOS MOLECULARES</b>   | <b>401</b> |
| 10.3 Teoría enlace valencia  | 405        |
| 10.4 Hibridación de orbitales atómicos   | 406        |
| Hibridación $sp$ 408 • Hibridación $sp^2$ 409 • Hibridación de orbitales $s$ , $p$ y $d$ 414   |            |
| 10.5 La hibridación en moléculas formadas por dobles y triples enlaces   | 416        |
| 10.6 Teoría del orbital molecular  | 419        |
| Orbitales moleculares de enlace y de antienlace 420  |            |
| 10.7 Configuraciones de orbitales moleculares  | 422        |
| Reglas que gobiernan las configuraciones electrónicas moleculares y la estabilidad 422 • Las moléculas de hidrógeno y de helio 423 • Moléculas diatómicas homonucleares de elementos del segundo periodo 425 • La molécula de litio ( $Li_2$ ) 427 • La molécula de carbono ( $C_2$ ) 427 • La molécula de oxígeno ( $O_2$ ) 427 |            |
| 10.8 Orbitales moleculares deslocalizados  | 429        |
| Las moléculas de benceno 429 • El ion carbonato 430  |            |
| Resumen  | 431        |
| Ejemplo de Química aplicada: kevlar  | 432        |
| Palabras clave   | 434        |
| Ejercicios   | 434        |
| <b>CAPÍTULO 11 LAS FUERZAS INTERMOLECULARES Y LOS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS</b>   | <b>441</b> |
| 11.1 La teoría cinético-molecular de líquidos y sólidos  | 442        |
| 11.2 Fuerzas intermoleculares  | 442        |
| Fuerzas dipolo-dipolo 443 • Fuerzas ion-dipolo 443 • Fuerzas de dispersión 444 • Fuerzas de van der Waals y radios de van der Waals 446 • El enlace de hidrógeno 446   |            |
| 11.3 El estado líquido   | 449        |
| Tensión superficial 449 • Viscosidad 450 • La estructura y propiedades del agua 451  |            |
| 11.4 Estructura cristalina   | 453        |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: ¿POR QUÉ LOS LAGOS SE CONGELAN DESDE LA SUPERFICIE HACIA EL FONDO?</b>  | <b>453</b> |
| Empaquetación de esferas 455 • Empaquetamiento compacto 457  |            |
| 11.5 Difracción de rayos X por medio de cristales  | 462        |
| 11.6 Tipos de cristales  | 464        |
| Cristales iónicos 464 • Cristales covalentes 466 • Cristales moleculares 467 • Cristales metálicos 467   |            |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: SUPERCONDUCTORES DE ALTA TEMPERATURA</b>  | <b>469</b> |
| 11.7 Sólidos amorfos   | 470        |



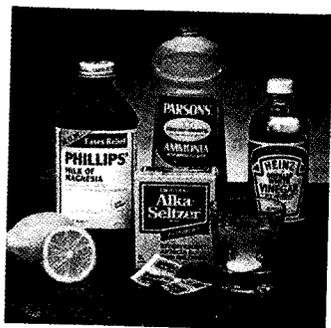
|  |     |
|--|-----|
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: FIBRAS ÓPTICAS</b>  | 471 |
| 11.8 Cambios de fase   | 472 |
| Equilibrio líquido-vapor 472 • Calor de evaporación y punto de ebullición 474  |     |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: EXTRACCIÓN CON UN FLUIDO SUPERCRÍTICO</b>   | 478 |
| Equilibrio sólido-líquido 480 • Equilibrio sólido-vapor 482  |     |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: CAFÉ LIOFILIZADO Y SIEMBRA DE NUBES</b>   | 484 |
| 11.9 Diagramas de fase   | 484 |
| Agua 485 • Dióxido de carbono 485  |     |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: COCIMIENTO DE UN HUEVO EN LA CIMA DE UNA MONTAÑA, OLLAS DE PRESIÓN Y PATINAJE SOBRE HIELO</b>   | 486 |
| Resumen  | 487 |
| Ejemplo de Química aplicada: el silicio  | 488 |
| Palabras clave   | 490 |
| Ejercicios   | 491 |
| <b>CAPÍTULO 12 PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS DISOLUCIONES</b>   | 499 |
| 12.1 Tipos de disoluciones   | 500 |
| 12.2 Una visión molecular del proceso de disolución  | 500 |
| 12.3 Disoluciones de líquidos en líquidos  | 502 |
| 12.4 Disoluciones de sólidos en líquidos   | 502 |
| Cristales iónicos 503 • Cristales covalentes 504 • Cristales moleculares 504 • Cristales metálicos 504   |     |
| 12.5 Unidades de concentración   | 505 |
| Tipos de unidades de concentración 505 • Comparación entre unidades de concentración 508   |     |
| 12.6 Efecto de la temperatura en la solubilidad  | 510 |
| La solubilidad de los sólidos y la temperatura 510 • Cristalización fraccionada 511 • La solubilidad de los gases y la temperatura 512   |     |
| 12.7 Efecto de la presión en la solubilidad de los gases   | 513 |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: LA BOTELLA DE REFRESCO, LOS "CALAMBRES" Y LA SOLUBILIDAD DE LOS GASES</b>   | 515 |
| 12.8 Propiedades coligativas de disoluciones no electrolíticas   | 515 |
| Disminución de la presión de vapor 516 • Elevación del punto de ebullición 519 • Depresión del punto de congelación 520 • Presión osmótica 522 • Uso de las propiedades coligativas en la determinación de la masa molar 524 |     |
| 12.9 Las propiedades coligativas de soluciones electrolíticas  | 526 |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: DESALACIÓN</b>  | 529 |
| Resumen  | 530 |
| Ejemplo de Química aplicada: el benceno  | 531 |
| Palabras clave   | 533 |
| Ejercicios   | 533 |





|   |            |
|---|------------|
| <b>CAPÍTULO 13 CINÉTICA QUÍMICA</b>   | <b>541</b> |
| 13.1 La velocidad de una reacción   | 542        |
| Velocidades de reacción y estequiometría 346  |            |
| 13.2 Las leyes de velocidad   | 548        |
| Determinación experimental de la ley de velocidad 349   |            |
| 13.3 Relación entre las concentraciones de los reactivos y el tiempo  | 552        |
| Reacciones de primer orden 552 • Reacciones de segundo orden 558  |            |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: DETERMINACIÓN DE LA EDAD DEL SUDARIO DE TURÍN</b>  | <b>561</b> |
| 13.4 Dependencia de las constantes de velocidad respecto a la energía de activación y a la temperatura  | 562        |
| La teoría de las colisiones en cinética química 562 • La ecuación de Arrhenius 564  |            |
| 13.5 Mecanismos de reacción   | 568        |
| Leyes de velocidad y etapas elementales 569 • Fundamento experimental de los mecanismos de reacción 572   |            |
| 13.6 Catálisis  | 573        |
| Catálisis heterogénea 574 • Catálisis homogénea 578 • Catálisis enzimática 579  |            |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: DESINTEGRACIÓN DE OZONO EN LA ESTRATOSFERA</b>   | <b>581</b> |
| Resumen   | 583        |
| Ejemplo de Química aplicada: el polietileno   | 584        |
| Palabras clave  | 586        |
| Ejercicios  | 586        |
| <b>CAPÍTULO 14 EQUILIBRIO QUÍMICO</b>   | <b>593</b> |
| 14.1 El concepto de equilibrio  | 594        |
| 14.2 Equilibrio químico   | 594        |
| La magnitud de la constante de equilibrio 496   |            |
| 14.3 Formas de expresar las constantes de equilibrio  | 597        |
| Equilibrios homogéneos 597 • Equilibrios heterogéneos 601 • Equilibrios múltiples 604 • La forma de $K$ y la ecuación de equilibrio 605 • Resumen de las reglas para formular las expresiones de las constantes de equilibrio 607                     |            |
| 14.4 Relación entre cinética química y equilibrio químico   | 607        |
| 14.5 ¿Qué información proporciona la constante de equilibrio?   | 609        |
| Predicción de la dirección de una reacción 609 • Cálculo de las concentraciones de equilibrio 610   |            |
| 14.6 Factores que afectan el equilibrio químico   | 615        |
| Principio de Le Chatelier 615 • Cambios en concentraciones 615 • Cambios en el volumen y la presión 617 • Cambios en la temperatura 619 • El efecto de un catalizador 620 • Resumen de los factores que pueden afectar la posición del equilibrio 621 |            |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: EL PROCESO HABER</b>   | <b>622</b> |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: LA VIDA A ELEVADAS ALTITUDES Y LA PRODUCCIÓN DE HEMOGLOBINA</b>  | <b>623</b> |
| Resumen   | 624        |

|   |     |
|---|-----|
| Ejemplo de Química aplicada: el hidrógeno | 625 |
| Palabras clave                            | 626 |
| Ejercicios                                | 627 |



## CAPÍTULO 15 ÁCIDOS Y BASES: PROPIEDADES GENERALES 635

|   |     |
|---|-----|
| 15.1 Ácidos y bases de Brønsted   | 636 |
| Par conjugado ácido-base 636 • El protón hidratado 637  |     |
| 15.2 La autoionización del agua y la escala de pH   | 638 |
| El producto iónico del agua 638 • El pH, una medida de la acidez 639  |     |
| 15.3 Fuerza de ácidos y bases   | 642 |
| El efecto nivelador 645   |     |
| 15.4 La estructura molecular y la fuerza de los ácidos  | 646 |
| Ácidos binarios 646 • Ácidos ternarios 647  |     |
| 15.5 Algunas reacciones ácido-base típicas  | 649 |
| Reacciones de ácidos fuertes con bases fuertes 650 • Reacciones de ácidos débiles con bases fuertes 650 • Reacciones de ácidos fuertes con bases débiles 650 • Reacciones de ácidos débiles con bases débiles 651 • Óxidos ácidos, básicos y anfóteros 651 • Hidróxidos básicos y anfóteros 653 |     |
| 15.6 Ácidos y bases de Lewis  | 653 |

|   |     |
|---|-----|
| LA QUÍMICA EN ACCIÓN: LOS ANTIÁCIDOS Y EL BALANCE DEL pH EN EL ESTÓMAGO | 654 |
|---|-----|

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| LA QUÍMICA EN ACCIÓN: LA LLUVIA ÁCIDA | 657 |
|---------------------------------------|-----|

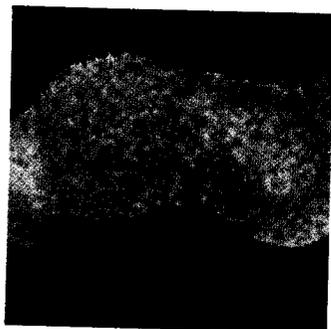
|   |     |
|---|-----|
| Resumen   | 660 |
| Ejemplo de Química aplicada: el ácido clorhídrico | 661 |
| Palabras clave                                    | 662 |
| Ejercicios  | 662 |

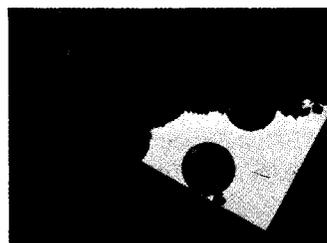
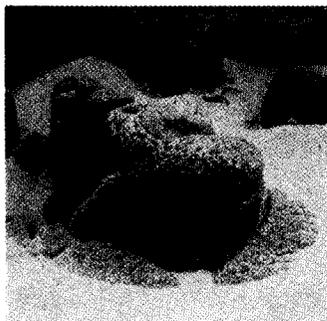
## CAPÍTULO 16 EQUILIBRIOS ÁCIDO-BASE 667

|   |     |
|---|-----|
| 16.1 Ácidos débiles y constantes de ionización ácida  | 668 |
| ¿Cuándo se puede ignorar la ionización del agua? 672 • Porcentaje de ionización 673   |     |
| 16.2 Bases débiles y constantes de ionización básica  | 676 |
| 16.3 La relación entre las constantes de ionización de pares conjugados ácido-base  | 678 |
| 16.4 Ácidos dipróticos y polipróticos   | 679 |
| 16.5 Propiedades ácido-base de las sales  | 683 |
| Sales que producen disoluciones neutras 683 • Sales que producen disoluciones básicas 684 • Sales que producen disoluciones ácidas 685 • Sales en las que se hidrolizan tanto el anión como el catión 689 |     |
| 16.6 El efecto del ion común  | 689 |
| 16.7 Disoluciones amortiguadoras  | 692 |
| Diagramas de distribución 696 • Preparación de una disolución amortiguadora con un pH específico 697  |     |

|   |     |
|---|-----|
| LA QUÍMICA EN ACCIÓN: MANTENIMIENTO DEL pH EN LA SANGRE | 699 |
|---|-----|

|   |     |
|---|-----|
| 16.8 Una visión más detallada de las titulaciones ácido-base  | 700 |
| Titulaciones de un ácido fuerte con una base fuerte 701 • Titulaciones de un ácido débil con una base fuerte 703 • Titulaciones de un ácido fuerte con una base débil 705 |     |
| 16.9 Indicadores ácido-base   | 707 |





|   |            |
|---|------------|
| Resumen   | 709        |
| Ejemplo de Química aplicada: el ácido cítrico   | 710        |
| Palabras clave  | 711        |
| Ejercicios  | 712        |
| <b>CAPÍTULO 17 EQUILIBRIOS DE SOLUBILIDAD</b>   | <b>717</b> |
| 17.1 La solubilidad y el producto de solubilidad  | 718        |
| El producto de solubilidad 718 • Los equilibrios de solubilidad de los sulfuros 720 • La solubilidad molar y la solubilidad 721 • Predicción de las reacciones de precipitación 724 |            |
| 17.2 Separación de iones por precipitación fraccionada  | 725        |
| 17.3 El efecto del ion común y la solubilidad   | 727        |
| 17.4 El pH y la solubilidad   | 729        |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: EL pH, SOLUBILIDAD Y CARIES DENTAL</b>   | <b>732</b> |
| 17.5 Los equilibrios de iones complejos y la solubilidad  | 733        |
| 17.6 Aplicación del principio del producto de solubilidad al análisis cualitativo   | 737        |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: LOS EQUILIBRIOS DE SOLUBILIDAD Y LA FORMACIÓN DE SUMIDEROS, ESTALAGMITAS Y ESTALACTITAS</b>  | <b>740</b> |
| Resumen   | 741        |
| Ejemplo de Química aplicada: ablandamiento de agua  | 742        |
| Palabras clave  | 743        |
| Ejercicios  | 743        |
| <b>CAPÍTULO 18 ENTROPÍA, ENERGÍA LIBRE Y EQUILIBRIO</b>   | <b>747</b> |
| 18.1 Procesos espontáneos y entropía  | 748        |
| Procesos espontáneos 748 • Entropía 749   |            |
| 18.2 La segunda ley de la termodinámica   | 753        |
| Cambios de entropía en el sistema 753 • Cambios de entropía en el entorno 755 • La tercera ley de la termodinámica y la entropía absoluta 756                                       |            |
| 18.3 La energía libre de Gibbs  | 757        |
| Cálculo de los cambios de energía libre 758 • Aplicaciones de la ecuación (18.7) 759  |            |
| 18.4 Energía libre y equilibrio químico   | 763        |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: LA TERMODINÁMICA DE UNA BANDA DE HULE</b>  | <b>767</b> |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: LA EFICIENCIA DE LOS MOTORES TÉRMICOS</b>  | <b>768</b> |
| Resumen   | 770        |
| Ejemplo de Química aplicada: la reacción de intercambio   | 770        |
| Palabras clave  | 772        |
| Ejercicios  | 772        |
| <b>CAPÍTULO 19 ELECTROQUÍMICA</b>   | <b>777</b> |
| 19.1 Revisión de reacciones redox   | 778        |
| 19.2 Celdas galvánicas  | 778        |
| 19.3 Potenciales estándar de electrodo  | 780        |
| 19.4 Espontaneidad de las reacciones redox  | 786        |
| 19.5 Efecto de la concentración en la FEM de la celda   | 790        |
| La ecuación de Nernst 790 • Celdas de concentración 793   |            |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 19.6 | Baterías  | 793 |
|      | La batería de pilas secas 794 • La batería de mercurio 794 • El acumulador de plomo 794 • Baterías de litio-estado sólido 795 • Celdas de combustión 796 • La batería de aluminio-aire 798      |     |
| 19.7 | Corrosión   | 799 |
| 19.8 | Electrólisis  | 803 |
|      | La electrólisis del cloruro de sodio fundido 803 • La electrólisis del agua 803 • Electrólisis de una disolución acuosa de cloruro de sodio 804 • Aspectos cuantitativos de la electrólisis 806 |     |

**LA QUÍMICA EN ACCIÓN: MOLESTIAS CAUSADAS POR LAS OBTURACIONES DENTALES**

|  |  |     |
|--|--|-----|
|  | Resumen                                  | 809 |
|  | Ejemplo de Química aplicada: el magnesio | 810 |
|  | Palabras clave                           | 811 |
|  | Ejercicios                               | 811 |

**CAPÍTULO 20 METALURGÍA Y QUÍMICA DE LOS METALES** 819

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 20.1 | Los metales en la naturaleza  | 820 |
| 20.2 | Procesos metalúrgicos   | 821 |
|      | Preparación de la mena 821 • Producción de metales 822 • La metalurgia del hierro 823 • Manufactura del acero 824 • Purificación de metales 826 |     |
| 20.3 | El enlace en los metales y elementos semiconductores  | 828 |
|      | Conductores 829 • Semiconductores 830   |     |
| 20.4 | Periodicidad de las propiedades metálicas   | 831 |
| 20.5 | Los metales alcalinos   | 832 |
|      | Litio 833 • Sodio y potasio 834   |     |
| 20.6 | Los metales alcalinotérreos   | 837 |
|      | Berilio 838 • Magnesio 839 • Calcio 840 • Estroncio y bario 841   |     |
| 20.7 | Aluminio  | 841 |

**LA QUÍMICA EN ACCIÓN: RECICLADO DEL ALUMINIO** 844

|      |                        |     |
|------|------------------------|-----|
| 20.8 | Estaño y plomo         | 845 |
|      | Estaño 845 • Plomo 846 |     |

**LA QUÍMICA EN ACCIÓN: LA TOXICIDAD DEL PLOMO** 847

|      |                                  |     |
|------|----------------------------------|-----|
| 20.9 | Zinc, cadmio y mercurio          | 848 |
|      | Zinc y cadmio 849 • Mercurio 851 |     |

**LA QUÍMICA EN ACCIÓN: MÁS LOCO QUE UN SOMBRERERO** 852

|  |                |     |
|--|----------------|-----|
|  | Resumen        | 854 |
|  | Palabras clave | 855 |
|  | Ejercicios     | 855 |

**CAPÍTULO 21 ELEMENTOS NO METÁLICOS Y SUS COMPUESTOS** 861

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 21.1 | Propiedades generales de los elementos no metálicos | 862 |
| 21.2 | El hidrógeno  | 862 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
|      | Hidruros binarios 863 • Isótopos del hidrógeno 865 • Hidrogenación 866<br>• La economía del hidrógeno 866   |     |
| 21.3 | Boro  | 867 |
| 21.4 | Carbono y silicio   | 869 |
|      | Carbono 869   |     |
|      | <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: GAS SINTÉTICO A PARTIR DE CARBÓN</b>   | 873 |
|      | <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: EL DIÓXIDO DE CARBONO Y EL CLIMA</b>   | 875 |
|      | Silicio 877   |     |
| 21.5 | Nitrógeno y fósforo   | 880 |
|      | Nitrógeno 880   |     |
|      | <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: NEBLUMO FOTOQUÍMICO</b>  | 885 |
|      | Fósforo 886   |     |
| 21.6 | El oxígeno y el azufre  | 889 |
|      | Oxígeno 889 • Azufre 893  |     |
|      | <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: LOS VOLCANES</b>   | 897 |
| 21.7 | Los halógenos   | 898 |
|      | Preparación y propiedades generales de los halógenos 898 • Los<br>halogenuros de hidrógeno 902 • Oxoácidos de los halógenos 903 •<br>Compuestos interhalógenos 904 • Usos de los halógenos 904      |     |
| 21.8 | Los gases nobles  | 906 |
|      | Helio 907 • Neón y argón 908 • Kriptón y xenón 908 • Radón 909  |     |
|      | Resumen   | 910 |
|      | Palabras clave  | 911 |
|      | Ejercicios  | 911 |
|      | <b>CAPÍTULO 22 LA QUÍMICA DE LOS METALES DE TRANSICIÓN<br/>Y LOS COMPUESTOS DE COORDINACIÓN</b>   | 917 |
| 22.1 | Propiedades de los metales de transición  | 918 |
|      | Propiedades físicas generales 919 • Configuraciones electrónicas 920 •<br>Estados de oxidación 920 • Color 922 • Magnetismo 922 • Formación de<br>iones complejos 922 • Propiedades catalíticas 922 |     |
| 22.2 | Química de los metales de la primera serie de transición  | 922 |
|      | Escandio 923 • Titanio 923 • Vanadio 924 • Cromo 924 • Manganeso 926<br>• Hierro 927 • Cobalto 927 • Níquel 928 • Cobre 928   |     |
| 22.3 | Compuestos de coordinación  | 929 |
|      | Números de oxidación de los metales en los compuestos de coordinación<br>931 • Nomenclatura de los compuestos de coordinación 932   |     |
| 22.4 | Estereoquímica de los compuestos de coordinación  | 934 |
|      | Isómeros geométricos 934 • Isómeros ópticos 935   |     |
| 22.5 | El enlace en los compuestos de coordinación   | 938 |
|      | Teoría del campo cristalino 939   |     |
| 22.6 | Reacciones de los compuestos de coordinación  | 944 |
| 22.7 | Aplicaciones de los compuestos de coordinación  | 945 |
|      | Metalurgia 945 • Agentes quelantes terapéuticos 946 • Análisis químico<br>946 • Crecimiento de plantas 947 • Detergentes 947  |     |
|      | <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: LOS COMPUESTOS DE COORDINACIÓN EN LOS<br/>SISTEMAS VIVOS</b>   | 947 |



|                |     |
|----------------|-----|
| Resumen        | 950 |
| Palabras clave | 950 |
| Ejercicios     | 950 |

## **CAPÍTULO 23 QUÍMICA NUCLEAR** 955

|  |     |
|--|-----|
| 23.1 La naturaleza de las reacciones nucleares   | 956 |
| 23.2 Estabilidad nuclear   | 957 |
| Energía de enlace nuclear 960  |     |
| 23.3 Radiactividad natural   | 963 |
| Cinética del decaimiento radiactivo 964 • Datación basada en el decaimiento radiactivo 965       |     |
| 23.4 Radiactividad artificial  | 966 |
| Trasmutación nuclear 966 • Los elementos transuránicos 968                                       |     |
| 23.5 Fisión nuclear  | 969 |
| La bomba atómica 971 • Reactores nucleares 971   |     |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: EL REACTOR DE FISIÓN DE LA NATURALEZA MISMA</b>                         | 975 |
| 23.6 Fusión nuclear  | 976 |
| Reactores de fusión 977 • La bomba de hidrógeno 978  |     |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: LA CONTROVERSIA EN TORNO A LA FUSIÓN FRÍA</b>                           | 979 |
| 23.7 Aplicaciones de los isótopos  | 980 |
| Determinación estructural 980 • Estudio de la fotosíntesis 981 • Los isótopos en la medicina 981 |     |
| 23.8 Efectos biológicos de la radiación  | 982 |
| <b>LA QUÍMICA EN ACCIÓN: LA RADIATIVIDAD EN EL TABACO</b>  | 984 |
| Resumen  | 985 |
| Ejemplo de Química aplicada: disposición de desechos nucleares                                   | 986 |
| Palabras clave   | 988 |
| Ejercicios   | 988 |

## **CAPÍTULO 24 QUÍMICA ORGÁNICA** 993

|  |      |
|--|------|
| 24.1 Hidrocarburos   | 994  |
| Alcanos 994 • Alquenos 1001 • Alquinos 1003 • Hidrocarburos aromáticos 1004  |      |
| 24.2 Grupos funcionales  | 1007 |
| Alcoholes 1007 • Éteres 1009 • Aldehídos y cetonas 1009 • Ácidos carboxílicos 1010 • Ésteres 1011 • Aminas 1012 • Resumen de los grupos funcionales 1012 |      |

### **LA QUÍMICA EN ACCIÓN: LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO** 1014

|   |      |
|---|------|
| Resumen                                     | 1017 |
| Ejemplo de Química aplicada: el isopropanol | 1017 |
| Palabras clave                              | 1018 |
| Ejercicios                                  | 1018 |

## **CAPÍTULO 25 POLÍMEROS ORGÁNICOS: SINTÉTICOS Y NATURALES** 1023

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| 25.1 Propiedades de los polímeros | 1024 |
|-----------------------------------|------|



|      |   |      |
|------|---|------|
| 25.2 | Polímeros orgánicos sintéticos  | 1024 |
|      | Reacciones de adición 1024 • Reacciones de condensación 1029  |      |
| 25.3 | Las proteínas   | 1030 |
|      | LA QUÍMICA EN ACCIÓN: LA ANEMIA DE CÉLULAS FALCIFORMES: UNA ENFERMEDAD MOLECULAR  | 1039 |
| 25.4 | Los ácidos nucleicos  | 1041 |
|      | Resumen   | 1043 |
|      | Ejemplo de Química aplicada: el nylon y la seda   | 1044 |
|      | Palabras clave  | 1045 |
|      | Ejercicios  | 1045 |
|      | <b>CAPÍTULO 26 QUÍMICA INDUSTRIAL</b>   | 1049 |
| 26.1 | La naturaleza y los alcances de la industria química  | 1050 |
|      | La escala de laboratorio frente a la escala industrial 1050   |      |
| 26.2 | Materias primas para la industria química   | 1051 |
|      | Aire 1051 • Agua de mar y sal de roca 1051 • Minerales 1051 • Carbón mineral 1052 • Gas natural y petróleo 1052 • Vegetación 1052   |      |
| 26.3 | Los cincuenta principales productos químicos industriales   | 1054 |
|      | Los siete productos básicos para la industria química orgánica 1056 • Productos de la industria química inorgánica 1057   |      |
| 26.4 | La industria química y el medio ambiente  | 1059 |
|      | Fuentes de energía 1059 • Extracción de materias primas 1060 • Procesos químicos 1060 • Disposición de los desechos sólidos 1061 • Riesgos potenciales de los productos químicos 1061 |      |
|      | Resumen   | 1063 |
|      | Ejercicios  | 1063 |
|      | <b>APÉNDICE 1 LOS ELEMENTOS Y LA DERIVACIÓN DE SUS NOMBRES Y SÍMBOLOS</b>   | A1   |
|      | <b>APÉNDICE 2 UNIDADES DE LA CONSTANTE DE LOS GASES</b>   | A6   |
|      | <b>APÉNDICE 3 DATOS TERMODINÁMICOS SELECTOS A UN ATM Y 25°C</b>   | A7   |
|      | <b>APÉNDICE 4 OPERACIONES MATEMÁTICAS</b>   | A13  |
|      | <b>GLOSARIO</b>   | A15  |
|      | <b>RESPUESTAS A LOS PROBLEMAS NUMÉRICOS PARES</b>   | A25  |
|      | <b>ÍNDICE</b>   | II   |
|      | <b>CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS</b>  | I15  |

