

# Índice

<b>1. Introducción</b> .....	17
1.1. Definiciones básicas .....	17
<b>BLOQUE I: FUNDAMENTOS DEL ESTUDIO DE LOS MATERIALES BIOLÓGICOS Y BIOMATERIALES. APLICACIÓN AL ESTUDIO DE LAS SEDAS</b> .....	23
<b>2. Procedimientos experimentales aplicados al estudio de la seda: obtención y caracterización de sus propiedades mecánicas</b> .....	25
2.1. Tipos de seda .....	25
2.2. Obtención de los hilos de seda .....	29
2.3. Caracterización mecánica de los hilos de seda .....	33
2.4. Propiedades mecánicas de la seda del gusano de seda .....	36
2.5. Propiedades mecánicas de la seda de araña: hilos MAS y víscido .....	45
<b>3. Principios generales de aminoácidos y proteínas. Composición de la seda</b> .....	49
3.1. Composición de la seda del gusano de seda .....	49
3.2. Composición de la seda de araña .....	55

<b>4. Conformación tridimensional de las proteínas I:</b>	
<b>regiones microcristalinas de la seda</b> .....	61
4.1. Caracterización de los microcristales en la seda del gusano de seda .....	61
4.2. Caracterización de los microcristales en la seda de araña .....	73
<b>5. Conformación tridimensional de las proteínas II:</b>	
<b>regiones amorfas de la seda</b> .....	77
5.1. Caracterización de las regiones amorfas de la seda .....	77
5.2. Gusano de seda .....	85
5.3. Seda de araña .....	88
<b>6. Análisis de la variabilidad en los materiales biológicos</b> .....	89
6.1. Importancia de la variabilidad en los materiales biológicos .....	89
6.2. Variabilidad en las propiedades mecánicas de la seda araña .....	91
6.3. Análisis estadístico de la variabilidad en las propiedades mecánicas del hilo de araña .....	92
<b>7. Modelización de las propiedades mecánicas de la seda</b> .....	99
7.1. Influencia de los puentes de hidrógeno en el módulo de elasticidad de la seda del gusano de seda .....	99
7.2. Modelización del comportamiento mecánico del hilo de araña supercontraído .....	102
7.3. Modelo molecular de la seda de araña (modelo de Termonia) .....	105
7.3.1. <i>Geometría del modelo</i> .....	105
7.3.2. <i>Curva tensión-deformación obtenida con el modelo molecular</i> .....	106
7.3.3. <i>Influencia de la geometría en el modelo molecular</i> .....	109
7.4. Modificación de las propiedades de la seda de araña mediante supercontracción controlada .....	111
<b>BLOQUE II: MICROESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE MATERIALES BIOLÓGICOS</b> .....	117
<b>8. Colágeno y elastina</b> .....	121
8.1. Colágeno .....	121
8.1.1. <i>Localización y composición del colágeno</i> .....	121

8.1.2. <i>Características geométricas</i> .....	121
8.1.3. <i>Propiedades mecánicas</i> .....	123
8.2. Elastina .....	124
8.2.1. <i>Localización, composición y propiedades mecánicas de la elastina</i> .....	124
8.2.2. <i>Geometría del giro <math>\beta</math></i> .....	126
<b>9. Fibras de polisacáridos</b> .....	127
9.1. Monosacáridos .....	127
9.2. Formación de polisacáridos: el enlace O-glicosídico .....	132
9.3. Comparación entre polisacáridos y proteínas. Tipos de polisacáridos .....	135
9.4. Fibras de polisacáridos .....	135
<b>10. Fibras celulares y musculares</b> .....	143
10.1. Microtúbulos .....	143
10.2. Fibras de actina .....	145
10.3. Fibras musculares .....	146
11.1. Adaptación de la langosta a su hábitat .....	153
<b>11. La membrana de la langosta</b> .....	153
11.2. Propiedades mecánicas de la membrana intersegmental .....	155
11.3. Consecuencias del comportamiento viscoelástico .....	160
<b>12. Geles. Mesoglea de la anémona</b> .....	163
12.1. Definición de gel .....	163
12.2. Componentes de los geles: glucosaminoglucanos .....	164
12.3. La mesoglea de la anémona .....	167
12.3.1. <i>Modo de vida de la anémona</i> .....	167
12.3.2. <i>Estructura y composición de la mesoglea</i> .....	167
12.3.3. <i>Propiedades mecánicas de la mesoglea</i> .....	168
12.4. Mucus .....	173
<b>13. Tejidos epitelial y conjuntivo. La piel</b> .....	177
13.1. El tejido epitelial .....	177

13.2. Tejidos con función estructural: el tejido conjuntivo .....	178
13.3. Piel .....	183
<b>14. Madera .....</b>	<b>187</b>
14.1. Estructura de la madera .....	188
14.1.1. Estructura macroscópica .....	188
14.1.2. Estructura mesoscópica .....	189
14.1.3. Estructura microscópica y composición .....	190
14.2. Propiedades mecánicas de la madera: módulo de elasticidad y resistencia mecánica .....	191
14.3. Comportamiento frente a fractura .....	194
<b>15. Cuernos de bóvidos .....</b>	<b>197</b>
15.1. $\alpha$ -Queratinas: Estructura y propiedades mecánicas .....	198
15.2. Modelización del cuerno .....	202
15.3. Comportamiento frente a fractura .....	204
<b>16. Hueso .....</b>	<b>207</b>
16.1. Organización del hueso .....	207
16.1.1. Constituyentes del hueso .....	207
16.1.2. Organización jerárquica del hueso .....	208
16.1.3. Creación y remodelación del hueso .....	208
16.2. Propiedades mecánicas del hueso .....	211
16.3. El hueso como material compuesto .....	214
<b>BLOQUE III: BIOCOMPATIBILIDAD Y BIOMATERIALES MÉDICOS .....</b>	<b>219</b>
<b>17. Interacciones entre sistemas biológicos y materiales:     biocompatibilidad .....</b>	<b>221</b>
17.1. Reacción del organismo a materiales exógenos: biocompatibilidad .....	221
17.2. Reacciones del organismo a los implantes .....	222
17.3. Mecanismos de respuesta de las células frente a factores externos .....	223
17.3.1. Principios generales de la comunicación celular .....	224
17.3.2. Influencia de la insulina en el metabolismo de la glucosa en células musculares .....	225

17.3.3. <i>Interacciones entre células y superficies</i> .....	226
17.4. Modulación del comportamiento de los macrófagos por los biomateriales .....	226
17.4.1. <i>Adhesión de los macrófagos al biomaterial</i> .....	227
17.4.2. <i>Regeneración de tejidos: adhesión de osteoblastos a una superficie</i> .....	230
<b>18. Biomateriales médicos</b> .....	235
18.1. Propiedades básicas de los biomateriales .....	235
18.2. Metales .....	236
18.3. Polímeros .....	237
18.4. Cerámicos .....	238
18.4.1. <i>Cerámicos estructurales</i> .....	238
18.4.2. <i>Hidroxiapatita</i> .....	238
18.4.3. <i>Vidrios bioactivos</i> .....	240
<b>19. Biofuncionalización</b> .....	243
19.1. Procedimientos físicos de biofuncionalización .....	244
19.2. Procedimientos químicos de biofuncionalización .....	245
19.3. Deposición de láminas delgadas biofuncionalizadas .....	247
19.3.1. <i>Deposición de capas delgadas funcionalizadas por el procedimiento de sol-gel</i> .....	247
19.3.2. <i>Deposición química en fase vapor activada térmicamente (TACVD) de capas biofuncionales</i> .....	248
19.4. Fundamentos de química de biomoléculas .....	249
19.4.1. <i>Reacciones en las que intervienen aminas</i> .....	249
19.4.2. <i>Reacciones en las que intervienen tioles</i> .....	250
19.4.3. <i>Reacciones en las que intervienen grupos carboxilo</i> .....	251
19.4.4. <i>Agentes entrecruzantes</i> .....	252
19.5. <i>Biomateriales médicos de microestructura jerarquizada</i> .....	252
<b>BLOQUE IV: PRINCIPIOS DE BIOMIMÉTICA</b> .....	255
<b>20. Introducción a la Física Estadística: determinación de la ecuación constitutiva de un material</b> .....	259
20.1. Descripción termodinámica de los materiales .....	260
20.2. Cálculo de la energía libre de Helmholtz. Función de partición canónica .....	262

20.3. Sistemas con grados de libertad independientes .....	263
20.4. Física Estadística Clásica .....	266
<b>21. Propiedades mecánicas de una cadena polimérica .....</b>	<b>271</b>
21.1. Descripción físico-estadística de una cadena polimérica lineal .....	271
21.2. Cadena libremente enlazada .....	274
21.3. Cadena polimérica formada por osciladores armónicos simples unidimensionales .....	277
21.4. Origen elastomérico del comportamiento mecánico de la seda de araña supercontraída .....	277
<b>22. Introducción al autoensamblaje: principios del ensamblaje molecular .....</b>	<b>281</b>
22.1. Un ejemplo de estructuras autoensambladas: la anemia falciforme .....	281
22.2. Principios del ensamblaje molecular .....	284
<b>23. Descripción físico-estadística de las macromoléculas .....</b>	<b>287</b>
23.1. Definición de macromolécula. Aproximación de Born-Oppenheimer .....	287
23.2. Función de partición de una molécula poliatómica .....	288
23.3. Funciones de partición de una molécula poliatómica .....	291
23.4. Revisión de la cadena libremente enlazada .....	292
<b>24. Termodinámica del autoensamblaje y jerarquización microestructural .....</b>	<b>295</b>
24.1. Termodinámica del autoensamblaje .....	295
24.2. Jerarquización microestructural .....	300
<b>25. Introducción a la genética molecular y a la ingeniería genética .....</b>	<b>301</b>
25.1. Transmisión de la herencia: genes .....	301
25.2. Composición de los ácidos nucleicos .....	302
25.3. Estructura del ADN: la doble hélice .....	304
25.4. Tipos y funciones de ácidos ribonucleicos .....	308
25.5. Ingeniería Genética .....	311

<b>EJERCICIO I: Representación de la estructura tridimensional de macromoléculas</b> .....	315
I.1. Introducción .....	315
I.2. Conformación de referencia .....	315
I.3. Construcción de la estructura tridimensional .....	316
I.4. Ejercicio de aplicación .....	318
<b>EJERCICIO II: Modelo microscópico del modulo de elasticidad de origen entálpico de una cadena polimérica</b> .....	321
II.1. Introducción .....	321
II.2. Definición de la conformación .....	321
II.3. Formulación del problema mecánico .....	322
II.4. Resolución del problema mecánico mediante el establecimiento del equilibrio de fuerzas .....	323
II.5. Resolución del problema mecánico directamente utilizando la función del potencial .....	323
II.6. Determinación del módulo de elasticidad .....	323
<b>EJERCICIO III: Ecuación constitutiva de un material controlado por elasticidad de tipo entrópico</b> .....	325
III.1. Introducción .....	325
III.2. Hipótesis del problema .....	325
III.3. Trabajo realizado por una cadena .....	326
III.4. Ecuación constitutiva obtenida en un ensayo de tracción .....	327
<b>Bibliografía</b> .....	329
<b>Índice alfabético</b> .....	337
<b>Apéndices</b>	
A.1. Tipos de interacciones entre átomos .....	39
A.2. Aminoácidos y proteínas .....	49
A.3. Secuencias de la familia de las fibroínas .....	56
A.3.1. <i>Secuencia del precursor de la cadena pesada de la fibroína (Bombyx mori)</i> .....	56
A.3.2. <i>Fragmento de la secuencia de la spidroína 1 (Argiope trifasciata)</i> .....	59

A.3.3. <i>Fragmento de la secuencia de la spidroína 2</i> (Argiope trifasciata) .....	59
A.4. Conformación tridimensional de las proteínas .....	61
A.5. Espectroscopía Raman de Proteínas .....	70
A.6. Espectroscopía de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) .....	77
A.6.1. <i>Principios básicos de la Resonancia Magnética Nuclear</i> .....	77
A.6.2. <i>Espectros de onda continua</i> .....	79
A.6.3. <i>Espectros de onda pulsada (RMN bidimensional)</i> .....	81
A.7. Análisis de la independencia estadística entre parámetros .....	96
A.8. El ensayo de relajación .....	157
A.9. Comportamiento viscoelástico frente a cargas cíclicas .....	169
A.10. Proteínas de adhesión celular .....	180
A.10.1. <i>Proteínas de adhesión intercelular</i> .....	180
A.10.2. <i>Proteínas de unión de la matriz extracelular:</i> <i>laminina y fibronectina</i> .....	181
A.10.3. <i>Proteínas de adhesión celular: Integrinas</i> .....	182
A.11. Activación de la cascada alternativa del complemento .....	227
A.12a. Propiedades termodinámicas del gas ideal monoatómico .....	265
A.12b. Propiedades termodinámicas del gas ideal monoatómico (cont.) .....	268