

# Índice General

<b>Agradecimientos</b>	<b>v</b>
<b>Resumen</b>	<b>vi</b>
<b>Summary</b>	<b>viii</b>
<b>Prefacio</b>	<b>x</b>
<b>1 Computación natural</b>	<b>1</b>
1.1 Estructura y funciones de la célula . . . . .	4
1.2 Diferencias entre la realidad bioquímica y el modelo formal . . .	7
<b>2 Sistemas de membranas con objetos</b>	<b>9</b>
2.1 El modelo de célula formal . . . . .	9
2.2 Definición de P sistema o sistema de membranas con objetos .	12
2.2.1 Elementos de los P sistemas: Definición formal . . . . .	13
2.2.2 Definición de P sistema . . . . .	18
2.3 Resultados de universalidad para P sistemas con objetos . . .	34
2.3.1 La Capacidad de las extensiones básicas . . . . .	36
2.3.2 Más extensiones . . . . .	39
2.4 Otros puntos de consideración sobre computación con mem- branas . . . . .	46
2.4.1 Computación por comunicación . . . . .	47
2.4.2 Sistemas de membranas con objetos estructurados: Ca- denas . . . . .	54
2.4.3 Redes de membranas . . . . .	56
<b>3 Dinámica de los P sistemas de transición</b>	<b>57</b>
3.1 Caracterización de la estructura estática de los P sistemas de transición . . . . .	58
3.1.1 Multiconjuntos . . . . .	59
3.1.2 Reglas de evolución . . . . .	60

3.1.3	Regiones . . . . .	62
3.1.4	Estructura estática de un P sistema de transición . . . . .	63
3.2	Descripción dinámica de los P sistemas de transición . . . . .	66
3.2.1	Estructura algebraica de las reglas de evolución . . . . .	67
3.2.2	Variedades lineales generadas por conjuntos de reglas de evolución: Dependencia e independencia lineal. . . . .	69
3.2.3	Relación de inclusión entre reglas de evolución . . . . .	72
3.2.4	Otras funciones sobre reglas de evolución . . . . .	74
3.2.5	Paralelismo local en regiones . . . . .	75
3.2.6	Proceso de evolución en P sistemas de transición . . . . .	79
3.3	Evolución no determinista de un P sistema de transición . . . . .	80
<b>4</b>	<b>Simulación de P sistemas de transición</b>	<b>85</b>
4.1	Estructuras de datos para la representación de P sistemas de transición . . . . .	86
4.1.1	Representaciones con referencias independientes . . . . .	87
4.1.2	Representación en estructura de árbol de etiquetas . . . . .	88
4.1.3	Representación como árbol de regiones . . . . .	90
4.2	Un algoritmo recursivo para describir la evolución en los P sistemas de transición . . . . .	90
4.2.1	Tratamiento del paralelismo en dispositivos secuenciales . . . . .	91
4.2.2	El algoritmo . . . . .	92
4.3	Implantación del algoritmo: Simulación en Haskell . . . . .	97
4.3.1	Arquitectura del software de simulación de P sistemas de transición . . . . .	98
4.4	Estructura del fichero de entrada . . . . .	107
4.4.1	Un caso de uso . . . . .	110
4.4.2	Ejecuciones en el simulador . . . . .	113
<b>5</b>	<b>Biolenguaje para P sistemas de transición</b>	<b>117</b>
5.1	Programación de P sistemas de transición: Biolenguaje para P sistemas de transición . . . . .	120
<b>6</b>	<b>Procesadores de membranas</b>	<b>123</b>
6.1	Procesador de membranas: Sus modos operativos . . . . .	124
6.1.1	P sistemas de transición como dispositivos computacionales . . . . .	125
6.1.2	Procesadores de membranas y sus modos operativos . . . . .	126
6.2	Arrays de conectividad . . . . .	128
6.2.1	Operaciones sobre los arrays de conectividad . . . . .	130

6.2.2	El Problema de la comunicación y su solución: La operación $\sigma$ . . . . .	133
6.2.3	Ejemplo . . . . .	134
6.2.4	Software de prueba de ejemplos . . . . .	139
6.3	Representación de los datos e instrucciones en procesadores de membranas . . . . .	150
6.3.1	Estructuras de datos para la representación de multi-conjuntos en procesadores de membranas . . . . .	151
6.3.2	Reglas de evolución: Instrucciones máquina para los procesadores de membranas . . . . .	152
<b>7</b>	<b>Conclusiones y trabajo futuro</b>	<b>161</b>
7.1	Conclusiones . . . . .	161
7.2	Trabajo futuro . . . . .	164
	<b>Bibliografía</b>	<b>165</b>