

PRÓLOGO.....	15
PRÓLOGO DE EDUARDO BATTANER.....	21

INTRODUCCIÓN

LA CONSCIENCIA DEL TIEMPO.....	26
DEL PASADO CERRADO AL FUTURO ABIERTO.....	29
EL TIEMPO FÍSICO.....	31
Tiempo asimétrico.....	32
Tiempo incierto.....	34
Tiempo relativo y azaroso.....	35
TIEMPO PSÍQUICO Y TIEMPO FÍSICO.....	36

Capítulo 1

LA SAETA DEL TIEMPO

LA TÉCNICA PRECEDIÓ A LA CIENCIA.....	39
La primera invención de Watt.....	39
La máquina de vapor.....	41
Funcionamiento básico de las máquinas térmicas.....	42
EL SALTO DE TEMPERATURAS.....	43
No es fácil aprovechar el calor.....	44
La máquina.....	44
El tiempo adelante.....	45
CALOR Y TRABAJO POR DOQUIER.....	47
Calor.....	47
Trabajo.....	48
La equivalencia calor-trabajo.....	49
¿Es el calor realmente equivalente al trabajo?.....	49
LA ENERGÍA NACE Y SE CONSERVA.....	49
Energía.....	50
La energía se conserva.....	52
El motor perpetuo de primera especie.....	53
RENDIMIENTO DEL MOTOR TÉRMICO.....	55

Intercambios de energía en las máquinas térmicas	55
A vueltas con el aprovechamiento del calor	56
Rendimiento	57
EL RENDIMIENTO PRÁCTICO Y EL TEÓRICO	58
La Ciencia y la Ingeniería.	60
El motor perpetuo de segunda especie	61
UN PROCESO MENTAL MUY RENTABLE	64
El extraño y retorcido proceso reversible	65
Reversibilidad	66
A vueltas con el proceso reversible.	68
No sucede nada: equilibrio.	68
Algo sucede: cadena de estados	69
¿ESTADOS DE EQUILIBRIO O PROCESOS?	71
El Universo reversible o el pasado recuperable	71
Los procesos reales son irreversibles	73
Cómo se nos muestra la naturaleza	74
EL PRESENTE: UN INSTANTE Y UNA TENDENCIA	75
LA ENTROPÍA NACE Y CRECE	79
La extraña construcción de la termodinámica	80
¿Qué es y para qué sirve la entropía?	81
Sistemas no aislados	82
LA SAETA DEL TIEMPO.	83
La entropía no cambia	84
La entropía sí cambia	85
La máquina térmica, otra vez	88
ENTROPÍA Y TIEMPO	89
La entropía del Universo.	90
La energía se conserva y la entropía aumenta	91
Degradación de la energía	91
El problema de la energía es el problema de la entropía.	92
La degradación del medio ambiente	93
Energías renovables.	94
El disparado y disparatado consumo de energía.	95
EL TIEMPO ESCONDIDO	96
Pero, después de todo esto, ¿qué es la entropía?	97

Capítulo 2

EL AZAR IRREDUCIBLE

HASTA DONDE ALCANZA LA VISTA	99
Objetividad de las observaciones	100
Vislumbrando la frontera	101
El carácter de las teorías físicas.	102
El Universo determinado y previsible de Laplace.	103
El cenit de la mecánica clásica	103
El diablo de Laplace	104
El Universo como un reloj	105
Los bordes de la ciencia	105
Explicación y predicción.	106
El futuro premeditado	107
DETERMINADO E IMPREVISIBLE: EL CAOS	108
El diablo de Laplace puede fallar	109
El diablo de Laplace cojea	111
El efecto mariposa	114
Tan sencillo y tan complejo: el péndulo doble	115
Tan complicado y tan simple: el ordenador	116
Tan complicado y tan complejo: El tiempo atmosférico.	117
Bifurcaciones	120
Complejidad.	121
EL AZAR FINALISTA DE LA MECÁNICA CUÁNTICA	124
La luz y la vieja teoría cuántica	124
Ondas	125
Ondas periódicas.	127
El espectro de la radiación térmica	127
El final de la controversia y el comienzo de la física moderna.	132
El átomo y la primera teoría cuántica.	133
Modelos atómicos sucesivos	135
El azar intrínseco	138
Experimentación y teorización.	139
La dualidad completa	141
Interferencias con ondas	142
Interferencias con partículas	144
El átomo ondulatorio.	144
La incertidumbre irreducible.	145

¿Es falsa la mecánica clásica?	148
Conocer y medir	149
El gato de Schrödinger	150
Ciencia y Filosofía	151
El diablo, la mariposa y el gato.	153

Capítulo 3

LA SAETA INCIERTA DEL TIEMPO

EL FUTURO ALEATORIO	158
Probabilidades	158
La razón insuficiente.	160
REPETICIONES	162
Series típicas	163
ESTADÍSTICA.	164
La causalidad es una flecha del tiempo	165
Frecuencias	166
La estadística es una ciencia experimental	167
PROBABILIDAD E INCERTIDUMBRE	168
Inercia estadística	169
LA FÍSICA ESTADÍSTICA	171
LA TEORÍA CINÉTICA DE LOS GASES.	172
Las interpretaciones de la teoría cinética	173
MENOS HIPÓTESIS, MÁS PROBABILIDADES.	176
Microestados y macroestados	177
Microestados equiprobables.	180
PROBABILIDAD TERMODINÁMICA	181
Probabilidad termodinámica y evolución	182
Cuánto de probable es lo más probable	182
Macroestados y monedas al aire.	183
PROBABILIDAD Y EQUILIBRIO.	184
Hiperceldillas.	185
El determinismo probabilizado	186
Los primeros resultados de la mecánica estadística	186
VUELVE LA ENTROPÍA.	187
LA ECUACIÓN DE BOLTZMANN	188
El diablillo de Maxwell	194
Fluctuaciones.	195
UNA TEORÍA ACERCA DE OTRA TEORÍA	197

Pero, ¿dónde está la variable tiempo?	198
PROBABILIDAD Y DESORDEN	199
Orden y desorden en la vida común y en la naturaleza	200
ENTROPÍA Y DESORDEN.	202
ORDEN Y VIDA.	204
LA CLAVE DEL ARCO	207

Capítulo 4

INFORMACIÓN, CAUSALIDAD Y EXPANSIÓN DEL UNIVERSO

INCERTIDUMBRE	209
LA INCERTIDUMBRE SE PUEDE VALORAR	211
Cómo no medir la incertidumbre	211
INFORMACIÓN	214
La información cancela la incertidumbre	215
ENTROPÍA E INFORMACIÓN	216
El principio de máxima entropía.	217
Procesamiento de la información	218
La entropía física de la información	220
El soporte físico de la información	220
El coste termodinámico de la información	222
Computación reversible	223
El demonio de Maxwell refinado.	226
TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN.	227
Propagación ondulatoria	228
El sonido	228
Emisión y propagación sostenidas	229
La información viaja en ondas	232
Sólo informan las ondas aperiódicas	233
Ondas para un instante.	234
Pulsos de onda espaciales	238
Deterioro de la información.	238
Velocidad de propagación	238
Dispersión del paquete de ondas	239
Absorción y atenuación.	240
Irreversibilidad en el procesamiento y transmisión de la información	241
LA INFORMACIÓN NO ES INSTANTÁNEA.	242
La Teoría de la relatividad especial	243

¡Esa luz!	243
Principio de invariancia de la velocidad de la luz.	244
Principio de relatividad restringida: de Galileo Galilei a Albert Einstein	246
Ponte en mi lugar	248
El espacio y el tiempo no son lo que eran. La simultaneidad tampoco	250
¡Ese tiempo!.	252
Intervalo.	260
Otras consecuencias relativistas. La propagación de las interacciones	261
Tiempo y causalidad	263
El cono de luz	264
LA TEORÍA GENERAL DE LA RELATIVIDAD	267
Espacio, tiempo y gravitación	270
Los pasos largos del tiempo	272
LA OBSERVACIÓN DEL UNIVERSO	273
El desplazamiento al rojo	276
La expansión del Universo	277
El origen del tiempo	280
La flecha cósmica y relativista del tiempo	282
EPÍLOGO	285
RETORNO AL TIEMPO PSÍQUICO	287
COMPRENDIENDO LA COMPRENSIÓN	288
SE BUSCA LA LEY DEL TODO	290
LA ALEGORÍA DE LA CAVERNA (FRAGMENTO INICIAL)	291
ANEXO I. VARIACIONES DE ENTROPÍA	293
ANEXO II. SERIES ALEATORIAS Y MICROESTADOS	297
ANEXO III. INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN	303