

EXTERNALIDADES DE RED  
EN LA ECONOMÍA DIGITAL

Introducción a la modelización de mercados de redes  
mediante la teoría de sistemas dinámicos



JOSÉ LUIS ARROYO BARRIGÜETE

**EXTERNALIDADES DE RED  
EN LA ECONOMÍA DIGITAL**

**Introducción a la modelización  
de mercados de redes mediante  
la teoría de sistemas dinámicos**

FUNDACIÓN RAFAEL DEL PINO

MARCIAL PONS, EDICIONES JURÍDICAS Y SOCIALES, S. A.  
MADRID 2007 BARCELONA

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del «Copyright», bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos.

© José Luis Arroyo Barrigüete

© Fundación Rafael del Pino

© MARCIAL PONS  
EDICIONES JURÍDICAS Y SOCIALES, S. A.

San Sotero, 6 - 28037 MADRID

☎ (91) 304 33 03

ISBN: 978-84-9768-380-7

Depósito legal: 2007

Diseño de la cubierta: Álvaro Reyero

Fotocomposición: JOSUR TRATAMIENTO DE TEXTOS, S. L.

Impresión: ELECÉ, INDUSTRIA GRÁFICA, S. L.

Polígono El Nogal

Río Tiétar, 24 - 28110 Algete (Madrid)

MADRID, 2007

*«La naturaleza interdisciplinar de los conceptos, modelos  
y principios aplicados a sistemas proporciona una posible  
aproximación hacia la unificación de la ciencia»*

*Ludwig Von BERTALANFFY  
Academy of Management Journal (1972)*

*A mis padres*



# ÍNDICE

	<u>Pág.</u>
<b>PRESENTACIÓN</b> .....	19
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
ESTRUCTURA DEL LIBRO .....	24
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>EXTERNALIDADES DE RED: CONCEPTOS BÁSICOS</b>	
1. INTRODUCCIÓN .....	27
2. REALIMENTACIÓN EN ECONOMÍA: CONCEPTOS GENERALES .....	28
3. QUÉ SON LAS EXTERNALIDADES DE RED .....	31
A) Consecuencias de la existencia de Externalidades de Red .....	32
4. TIPOS DE EXTERNALIDADES DE RED .....	37
5. CONCLUSIONES .....	40
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>EXTERNALIDADES DE RED: CONCEPTOS AVANZADOS</b>	
1. INTRODUCCIÓN .....	41
2. LA LEY DE METCALFE .....	42
3. LA CURVA DE DEMANDA DE UNA TECNOLOGÍA SUJETA A EFECTOS DE RED .....	45
A) El concepto de masa crítica de usuarios .....	48

	<u>Pág.</u>
4. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE UNA TECNOLOGÍA SUJETA A EFECTOS DE RED .....	49
5. FACTORES DETERMINANTES DEL ÉXITO DE UNA TECNOLOGÍA SUJETA A EFECTOS DE RED .....	51
A) Precio .....	51
B) Expectativas de éxito .....	52
C) Productos complementarios .....	55
D) Recapitulación: Factores clave para el éxito de una tecnología sujeta a Efectos de Red.....	56
6. ESTRATEGIAS EN MERCADOS SUJETOS A EFECTOS DE RED .....	57
A) Transición controlada.....	60
B) Apuesta por las prestaciones.....	61
C) Innovación controlada.....	61
D) Transición abierta .....	61
E) Discontinuidad .....	62
F) Innovación abierta.....	62
G) Selección de estrategias .....	62
7. EL PROBLEMA DE LA MODELIZACIÓN DE MERCADOS DE REDES .....	63
8. CONCLUSIONES.....	65

## CAPÍTULO IV

### INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DINÁMICOS

1. INTRODUCCIÓN .....	67
2. SISTEMAS DINÁMICOS: CONCEPTOS GENERALES .....	68
3. ATRACTORES .....	71
4. SISTEMAS CAÓTICOS .....	75
5. MÉTODOS DE RESOLUCIÓN NUMÉRICA DE ECUACIONES DIFERENCIALES ORDINARIAS .....	80
A) El Método de la Serie de Taylor.....	81
B) El Método de Euler.....	82
C) Los métodos de Runge-Kutta .....	82
a) Runge-Kutta de segundo orden ( $p = 2$ ) .....	83
b) Runge-Kutta de cuarto orden ( $p = 4$ ) .....	83
D) Otros métodos.....	84
6. CONCLUSIONES.....	85



CAPÍTULO V

MODELOS UNIDIMENSIONALES (DIFUSIÓN)

1. INTRODUCCIÓN .....	87
2. MODELOS DE DIFUSIÓN DE TIPO SIGMOIDAL: ELEMENTOS BÁSICOS .....	89
3. MODELOS DE DIFUSIÓN DE TIPO SIGMOIDAL: UNA REVISIÓN TEÓRICA .....	92
A) Modelo Gompertz .....	93
B) Modelo Gaussiano .....	96
C) Modelo Log-Normal .....	97
CH) Modelo Weibull .....	97
D) Modelo Log-Recíproco .....	98
E) Modelo Gamma .....	99
F) Modelo Beta .....	100
G) Modelo de Singh y Maddala.....	100
H) Modelo Adaptativo Polinómico .....	101
I) Modelo Logístico Básico.....	101
J) Modelo Logístico Local.....	103
K) Modelo Logístico de Chow.....	104
L) Modelo de Paloheimo y Dickie .....	105
M) Modelo de Bass .....	105
N) Modelo de Bass con deserciones .....	108
Ñ) Modelo de Bass con tres etapas.....	109
O) Modelo de Bass con efectos publicitarios .....	109
P) Modelo de Floyd.....	111
Q) Modelo de Sharif y Kabir .....	111
R) Modelo Stanford .....	112
S) Modelo de Jeuland.....	112
T) Modelo FLOG .....	113
U) Modelo NUI.....	114
V) Modelo NSRL.....	115
W) Modelo de Bertalanffy .....	115
X) Modelo de Birch .....	116
Y) Modelo de Michaelis-Mentel Generalizado.....	117
Z) Otros modelos.....	117
a) Modelo KKKI.....	117
b) Modelo de Harvey .....	118
c) Modelo de Nicholson .....	118
d) Modelo de De Cesare y Di Liddo .....	120
4. CLASIFICACIÓN Y SÍNTESIS DE MODELOS DE DIFUSIÓN ...	122
5. EXTENSIONES DE LOS MODELOS DE DIFUSIÓN .....	131
6. CONCLUSIONES.....	131

**CAPÍTULO VI**  
**MODELOS MULTIDIMENSIONALES**  
**(COMPETENCIA)**

1.	INTRODUCCIÓN.....	133
2.	MODELOS DE PREDADOR-PRESA.....	136
	A) Modelo Lotka-Volterra depredador-presa sin competencia intraespecífica.....	136
	B) Modelo Lotka-Volterra depredador-presa con competencia intraespecífica.....	138
	C) Modelos depredador-presa avanzados.....	139
3.	MODELOS DE COMPETENCIA INTERESPECÍFICA.....	140
	A) Modelo Lotka-Volterra de competencia interespecífica.....	140
	B) Modelo de Mahajan y Peterson.....	146
	C) Modelo de Altinkemer <i>et al.</i> .....	146
4.	MODELOS DE MUTUALISMO.....	147
	A) Lotka-Volterra de simbiosis sin competencia intraespecífica....	148
	B) Lotka-Volterra de simbiosis con competencia intraespecífica...	148
	C) Otros modelos.....	149
5.	MODELOS DE INFECCIÓN.....	150
	A) El modelo SI con transmisión dependiente de la densidad.....	150
	B) El modelo SIR.....	151
	C) El modelo SIR con transmisión dependiente de la densidad.....	153
	D) El modelo dependiente de la edad.....	153
6.	OTROS MODELOS.....	154
7.	CONCLUSIONES.....	155

**CAPÍTULO VII**  
**ALGUNOS EJEMPLOS**

1.	INTRODUCCIÓN.....	157
2.	MODELO BASE.....	158
	A) Generalización del modelo Gompertz.....	158
	B) Generalización del modelo logístico: ecuaciones de Lotka-Volterra.....	162
3.	EJEMPLO 1: ALGUNAS MEJORAS AL MODELO DE LOTKA-VOLTERRA.....	163
	A) Incorporación de los efectos de la congestión.....	166
	B) Evolución sigmoideal.....	167
	C) Tendencia a la adopción de un único estándar.....	169
	D) Sensibilidad a las condiciones iniciales.....	170
	E) Efectos de la congestión.....	172
	F) Conclusiones del modelo.....	174

	<u>Pág.</u>
4. EJEMPLO 2: EFECTO DE LOS PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS .....	174
A) Característica 1 .....	176
B) Característica 2 .....	177
C) Característica 3 .....	178
D) Característica 4 .....	180
E) Conclusiones del modelo .....	181
5. CONCLUSIONES.....	182

CAPÍTULO VIII

**CONCLUSIONES**

1. IMPLICACIONES ACADÉMICAS Y DIRECTIVAS .....	184
A) Implicaciones directivas.....	184
B) Implicaciones académicas.....	184
2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	185
A) Marco teórico.....	185
B) Desarrollo de modelos explicativos/predictivos.....	186
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	187
<b>ANEXOS</b> .....	209

ANEXO 1

**TRABAJANDO CON «R»**

1. UTILIZANDO LOS MODELOS DE DIFUSIÓN EN LA PRÁCTICA .....	210
--	-----

ANEXO 2

**ALGUNOS EJEMPLOS**

1. MENSAJERÍA INSTANTÁNEA .....	217
2. SISTEMAS OPERATIVOS.....	218
A) Windows y Linux.....	219
3. TECNOLOGÍAS DE VÍDEO.....	220
A) Betamax vs. VHS.....	220
4. EL FAX.....	222



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1: Esquema del libro .....	25
Figura 2.1: Esquema de un Sistema con Realimentación Negativa.....	28
Figura 2.2: Esquema de un Sistema con Realimentación Positiva.....	30
Figura 2.3: Sistema con feedforward y feedforward con feedback.....	31
Figura 2.4: Realimentación positiva en los mercados de redes.....	34
Figura 2.5: Home de neurona.com .....	38
Figura 2.6: Home de linkedin.com .....	38
Figura 3.1: Curva de demanda de una tecnología sujeta a Efectos de Red .....	45
Figura 3.2: Construcción de la curva de demanda de una tecnología sujeta a Efectos de Red .....	46
Figura 3.3: Diferentes curvas de demanda de una tecnología sujeta a Efectos de Red .....	48
Figura 3.4: Masa crítica de usuarios .....	49
Figura 3.5: Difusión de una tecnología sujeta a Realimentación Positiva .....	50
Figura 3.6: Interdependencia entre fabricantes y proveedores de productos complementarios.....	56
Figura 3.7: Factores clave del éxito de una tecnología sujeta a Efectos de Red .....	56
Figura 3.8: Estrategias en mercados con Efectos de Red.....	57
Figura 3.9: Proceso de selección de estrategias .....	63
Figura 3.10: Estrategias en mercados con Efectos de Red: Dificultad Vs Beneficios potenciales.....	64
Figura 4.1: Ejemplo de punto fijo .....	72
Figura 4.2: Ejemplo de atractor periódico.....	72
Figura 4.3: Atractor Cuasi Periódico o Toro .....	73
Figura 4.4: Atractor extraño de Rössler.....	75

	<u>Pág.</u>
Figura 4.5: Sensibilidad a las condiciones iniciales en sistemas caóticos .....	76
Figura 4.6: Comportamiento de la ecuación de Mackey-Glass para distintos valores de uno de sus parámetros.....	79
Figura 5.1: Categorías de adoptantes para un proceso de difusión de tipo sigmooidal según Rogers (1962: 162).....	90
Figura 5.2: Distribución de frecuencias no acumuladas para un proceso de difusión según el modelo de Bass .....	91
Figura 5.3: Modelo Gompertz Básico .....	95
Figura 5.4: Comportamiento de distintos modelos de difusión.....	99
Figura 5.5: Velocidad de difusión de las ecuaciones logística y Gompertz .....	103
Figura 5.6: Distintos comportamientos de la ecuación de Nicholson ....	120
Figura 5.7: Relaciones entre los modelos estudiados (I).....	126
Figura 5.8: Relaciones entre los modelos estudiados (II) .....	127
Figura 5.9: Unificación de los modelos estudiados (I).....	128
Figura 5.10: Unificación de los modelos estudiados (II) .....	129
Figura 5.11: Unificación de los modelos estudiados (III) .....	130
Figura 6.1: Diferentes tipos de relación entre estándares tecnológicos...	134
Figura 6.2: Comportamiento de la ecuación de Lotka-Volterra depredador-presa sin competencia intraespecífica ( $a = 0.9$ , $b = 0.1$ , $c = 0.05$ , $d = 0.6$ ).....	137
Figura 6.3: Formulaciones alternativas para la respuesta de los depredadores a cambios en la densidad de presas .....	139
Figura 6.4: Modelo Lotka-Volterra de competencia interespecífica: escenario 1 .....	142
Figura 6.5: Modelo Lotka-Volterra de competencia interespecífica: escenario 2 .....	143
Figura 6.6: Modelo Lotka-Volterra de competencia interespecífica: escenario 3 .....	143
Figura 6.7: Modelo Lotka-Volterra de competencia interespecífica: escenario 4 .....	144
Figura 6.8: Comportamiento del sistema Lotka-Volterra de competencia interespecífica para cierta combinación de parámetros y 3 tecnologías .....	145
Figura 6.9: Esquema de un proceso SI con transmisión dependiente de la densidad .....	150
Figura 6.10: Evolución de un sistema SIR .....	152
Figura 6.11: Proceso SIR con transmisión dependiente de la densidad...	153
Figura 7.1: Evolución sigmooidal del modelo de competencia tipo Gompertz (I) .....	160
Figura 7.2: Evolución sigmooidal del modelo de competencia tipo Gompertz (II) .....	161
Figura 7.3: Evolución sigmooidal del modelo de competencia tipo Gompertz (III).....	161

	Pág.
Figura 7.4: Evolución sigmoïdal del modelo de Lotka-Volterra .....	163
Figura 7.5: Proceso de sustitución de un estándar instalado según las ecuaciones de Lotka-Volterra modificadas.....	165
Figura 7.6: Evolución sigmoïdal de las ecuaciones de Lotka-Volterra modificadas incorporando la Ley de Metcalfe Modificada.....	168
Figura 7.7: Equilibrio final del modelo para distintos valores de sus coeficientes $r_i$ .....	169
Figura 7.8: Equilibrio final del modelo para distintos valores de los coeficientes $r_i$ partiendo de condiciones iniciales diferentes: planteamiento teórico .....	170
Figura 7.9: Equilibrio final del modelo para distintos valores de los coeficientes $r_i$ partiendo de condiciones iniciales diferentes: predicción del modelo.....	171
Figura 7.10: Comparación del modelo de Lotka-Volterra modificado y el modelo propuesto .....	173
Figura 7.11: Evolución temporal del modelo para diferentes puntos de inicio de las externalidades de congestión .....	173
Figura 7.12: Evolución temporal de un estándar sujeto a efectos de red (condiciones 1a y 1b).....	176
Figura 7.13: Equilibrio final del modelo para distintos valores de sus coeficientes EP (condición 2a).....	177
Figura 7.14: Equilibrio final del modelo para distintos valores de sus coeficientes (condiciones 2b a 2e) .....	179
Figura 7.15: Equilibrio final del modelo para distintos valores de los coeficientes EP partiendo de condiciones iniciales diferentes (condición 3).....	180
Figura 7.16: Equilibrio final del modelo para distintos valores de los coeficientes EP en el caso de productos complementarios diferentes (condición 4a) .....	181
Figura ANEXO 1. 1: Home de r-project .....	209
Figura ANEXO 2. 1: Reproductores de vídeo del formato Betamax y VHS.....	221

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1: Síntesis de modelos de difusión estudiados (I) .....	122
Tabla ANEXO 1. 1: Evolución del número de Host de Internet .....	211
Tabla ANEXO 1. 2: Contraste de hipótesis para el modelo Bass .....	213
Tabla ANEXO 1. 3: Comparación de los diferentes modelos según el ER.	214





## PRESENTACIÓN

La globalización de las modernas economías de mercado ha alterado de forma significativa las conductas empresariales y ha fomentado la utilización de las nuevas tecnologías. La competencia ha alcanzado una nueva dimensión y los mercados relevantes han ampliado su dimensión territorial. El mundo económico es más grande pero las distancias tienen una dimensión temporal menor. En este nuevo marco, las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones (TIC) revisten una importancia especial pues, al reducir de forma significativa el coste de obtención de la información y, en consecuencia, el coste de los procesos productivos, inciden directa o indirectamente en la competitividad empresarial. Poco a poco, las TIC van adquiriendo la característica de bienes básicos, tal como los definió P. SRAFFA.

Con este marco conceptual como referencia, José Luis ARROYO ha abordado un tema tan complejo como las Externalidades de Red. Es sabido que la existencia de redes ha tenido un impacto directo sobre el concepto de posición de dominio y su eventual abuso pues, con independencia de los beneficios que las redes compartidas por una gran proporción de usuarios puedan tener sobre los usuarios de las mismas, el eventual dominio de una red o de algunas redes con frecuencia es transitorio ya que resulta permanentemente amenazado por la posible irrupción en el mercado de una nueva red que pueda dejar sin opciones competitivas a los incumbentes menos eficientes.

El estudio de estas cuestiones no es sencillo y requiere conocimientos robustos y diversos. El autor las ha abordado con energía y con un sólido andamiaje teórico, alejándose de la tradición, tan cómoda pero, también, tan poco creativa. Los instrumentos habituales no han sido sufi-

cientes. Ha sido necesario aventurarse por los complejos vericuetos de las ciencias (la biología matemática, por ejemplo) para encontrar nuevos instrumentos de análisis que permitan adentrarse por el laberinto teórico de los Sistemas Dinámicos.

Al final, toda la estructura construida en las diversas secciones del libro permite abordar la apasionante cuestión de las interacciones competitivas y cooperativas, preludio de una modelización rica en matices y prometedora como referencia de un modo moderno de entender la actividad empresarial en un mundo nuevo. Como complemento necesario, la investigación discurre acompañada de una auténtica enciclopedia de referencias teóricas y modelos.

Todo ello hace que el trabajo realizado sea un claro ejemplo del tipo de investigación que debe realizarse en nuestras universidades: elegir un tema de actualidad y llevar a cabo una investigación valiente con aportaciones significativas.

Algo todavía escaso, que justifica la colaboración de la **Fundación Rafael del Pino** con el trabajo de José Luis ARROYO y pone de manifiesto que el camino iniciado por el investigador debe proseguir en busca de nuevos resultados.

Amadeo PETITBÒ

Director de la Fundación Rafael del Pino