



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Constructo para la evaluación de la cooperación en dilemas sociales de gran escala

Jorge Andrick Parra Valencia

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Escuela de Sistemas

Medellín, Colombia

2010

Constructo para la evaluación de la cooperación en dilemas sociales de gran escala

Jorge Andrick Parra Valencia

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Doctor en Ingeniería Área Sistemas

Director:
Ph.D., Isaac Dynner Rezonzew

Línea de Investigación:
Investigación de Operaciones
Grupo de Investigación:
Sistemas e Informática

Facultad de Minas
Escuela de Sistemas
Medellín, Colombia
2010

Dedicatoria

A mi Madre.

A Lilia Nayibe y María Alejandra.

A mi Familia.

A mis Amigos.

A mis Profesores.

Agradecimientos

Al Profesor Isaac Dyner Rezonzew, Ph.D., Director de esta Tesis Doctoral. Sus virtudes como Investigador y Tutor, su conocimiento y su ejemplo de vida han sido de gran valor para mí. Gracias a su compromiso y acompañamiento, mi formación doctoral ha sido una experiencia invaluable.

A los Profesores y Estudiantes del Grupo de Investigación en Sistemas e Informática de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, por sus aportes y críticas a este trabajo. Los seminarios realizados fueron una escuela de formación de alto nivel para el Autor.

A los Profesores Erling Moxnes, Ph.D., Birgit Kopainsky, Ph.D., Pal Davidsen, and David Wheat, Ph.D. de la Universidad de Bergen, por las interesantes conversaciones sostenidas con el Autor durante la pasantía de investigación realizada en la primavera de 2009 en esa Casa de Estudios.

A Marisol Osorio Valencia y a Eliecer Pineda Ballesteros por la confianza depositada en el autor. Sin su apoyo no hubiese sido posible ni este trabajo, ni el nivel de formación alcanzado.

A Colciencias, por el crédito condonable otorgado (1959-2006).

A la Universidad Autónoma de Bucaramanga, por el soporte ofrecido.

A Consuelo Valencia Hernández. Sin su aporte este trabajo no hubiese sido posible.

A todos aquellos que colaboraron directa o indirectamente en la realización de esta investigación.

Resumen

Los dilemas sociales son conflictos entre la racionalidad individual y el bienestar general. La literatura explica cómo evaluar mecanismos de cooperación efectiva utilizados en promover la cooperación en dilemas sociales de pequeña escala, pero no da cuenta de un constructo que permita evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. Esta tesis describe un constructo diseñado para evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala, que integra tres mecanismos de cooperación: basado en confianza, por percepción de daño y por norma. Para el diseño del constructo de evaluación y su aplicación en la evaluación de la efectividad de mecanismos se desarrollaron modelos en Dinámica de Sistemas sobre casos: históricos, en proceso e hipotéticos. Los resultados sugieren que el esquema explica cómo es que los mecanismos promueven la cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. En todos los casos la complejidad dinámica afecta el desempeño de los mecanismos de cooperación. La tesis finalmente señala cómo los mecanismos de cooperación pueden mejorar su efectividad en condiciones de complejidad dinámica.

Palabras clave: Cooperación Efectiva, Dilemas Sociales, Situaciones de Gran Escala, Complejidad Dinámica, Dinámica de Sistemas.

Abstract

Social dilemmas are conflicts between individual rationality and general welfare. The Literature explains how to evaluate effectiveness of cooperation based on trust mechanism in small-scale social dilemmas, but how to evaluate effectiveness of cooperation mechanisms in large-scale situations remain unknown until this thesis. We design a construct to test cooperation mechanisms used to promote in large-scale social dilemmas that involve resource depletion. The proposed construct integrates cooperation mechanisms like trust, perception of damage and cooperation as norm. Results suggest that the designed artifact explains how mechanisms promote cooperative behavior in large-scale social dilemmas that involve resource depletion. In these cases dynamic complexity affects cooperation. The research finally indicates how cooperation mechanisms can be effective to promote cooperation in the context of dynamic complexity in large-scale social resource situations.

Keywords: Effective Cooperation, Social Dilemmas, Mechanisms, Large-Scale Situations, Dynamic Complexity, System Dynamics.

Contenido

Agradecimientos	vii
Resumen	ix
1. Introducción	2
2. Antecedentes	10
2.1. Dilemas sociales	10
2.2. Teoría No Cooperativa de Dilemas Sociales	13
2.3. Teoría Cooperativa para Dilemas Sociales de Pequeña Escala	19
2.4. Reciprocidad, reputación y confianza	20
2.5. Dilemas Sociales de Gran Escala	24
2.6. Discusión	29
3. Pregunta, Objetivos, Hipótesis y Criterios	30
3.1. Pregunta de Investigación	30
3.2. Criterios de Efectividad para Mecanismos de Cooperación	35
3.3. Objetivo General	36
3.4. Objetivos Específicos	36
3.5. Hipótesis general	37
3.6. Argumentos que se ofrecen como soporte para la hipótesis general	37
3.7. Criterios para Selección de Caso	39
3.8. Argumentos para asumir las crisis de electricidad como dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.	42
3.9. Criterios metodológicos	43
3.10. Criterios para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala	45
3.11. Criterios Evaluación y Vigencia de la Hipótesis Dinámica y la Hipótesis General	47
3.12. Criterios de evaluación y vigencia de la hipótesis	47
3.13. Discusión	48
4. Métodos y Constructo de Evaluación de la Efectividad de la Cooperación en el Estudio de Dilemas Sociales de Gran Escala	50
4.1. Criterios de selección de herramienta	51

4.2.	Herramientas revisadas	56
4.2.1.	Econometría	56
4.2.2.	Modelamiento basado en agentes	58
4.2.3.	Autómatas celulares	61
4.2.4.	Economía experimental	63
4.2.5.	Teoría de juegos	65
4.3.	Dinámica de Sistemas	67
4.3.1.	Metodología	68
4.3.2.	Validación de Modelos en Dinámica de Sistemas	70
4.3.3.	Evaluación cumplimiento de criterios de método para la Dinámica de Sistemas	71
4.4.	Uso de Dinámica de Sistemas para Enfrentar el Problema de Investigación .	73
4.5.	Diseño general de la investigación	73
4.6.	Constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso de gran escala expresado como hipótesis dinámica	80
4.6.1.	Tentación de Desertar	84
4.6.2.	Mecanismo de Cooperación basado en Confianza	84
4.6.3.	La Cooperación y la Expectativa de Daño	85
4.6.4.	La cooperación y el aprendizaje social	85
4.7.	Discusión	85
5.	Casos Históricos: Crisis de Electricidad Colombia 1992 y California 2001	87
5.1.	Crisis de Electricidad de Colombia 1992	87
5.1.1.	Revisión cumplimiento de condiciones de caso para la Crisis de Colom- bia 1992	89
5.1.2.	Mecanismos de cooperación en crisis de electricidad Colombia 1992 .	94
5.1.3.	Evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación la crisis de electricidad de Colombia 1992	94
5.2.	Crisis de Electricidad de California 2001	109
5.2.1.	Revisión cumplimiento de condiciones de caso Crisis California 2001 .	113
5.2.2.	Mecanismos de cooperación crisis de electricidad California 2001 . . .	115
5.2.3.	Evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en la crisis de electricidad de California 2001	115
5.3.	Resultados Pruebas Estadísticas.	127
5.4.	Simulaciones Comparadas	128
5.5.	Análisis de Sensibilidad Comparado	133
5.5.1.	Tiempo Ajuste Retardo Casos Crisis Electricidad	133
5.5.2.	Vida Media Tentación Desertar	135
5.5.3.	Vida Media Cooperación de Largo Plazo	135
5.5.4.	Vida Media Confianza	138

5.6.	Ejercicios de Análisis de Sensibilidad Adicionales	140
5.7.	Discusión	146
6.	Caso en Evolución: Cooperación en la Reducción de la Concentración de CO_2	151
6.1.	Revisión cumplimiento de condiciones de caso.	155
6.2.	Mecanismos de cooperación para la crisis de emisiones de CO_2	157
6.3.	Evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en la crisis del CO_2	157
6.3.1.	Hipótesis dinámica	158
6.3.2.	Estructura general del modelo	160
6.3.3.	Alcance del modelo	160
6.3.4.	Resultados de Simulación	162
6.4.	Resultados Pruebas Estadísticas de Validación Modelo Reducción CO_2	164
6.5.	Análisis de Sensibilidad	168
6.5.1.	Vida media tentación de desertar	168
6.5.2.	Vida media Cooperación como Norma	170
6.5.3.	Vida media percepción de daño	172
6.5.4.	Vida media Confianza	174
6.5.5.	Tiempo de ajuste percepción cambio tendencia CO_2	176
6.6.	Análisis de Sensibilidad Adicionales	178
6.7.	Evaluación de la efectividad de mecanismos en la crisis CO_2	190
6.8.	Discusión	192
7.	Casos Teórico-hipotéticos: Mini-Prototipos de Extensión y Relajación del Constructo	196
7.1.	Evaluación Complementaria del Constructo mediante Relajación	196
7.2.	Un Caso en Provisión Cooperativa de Electricidad	197
7.2.1.	Constructo para la cooperación en la generación de electricidad	200
7.2.2.	Estructura general del modelo	200
7.2.3.	Alcance del Modelo	203
7.2.4.	Simulación	204
7.2.5.	Análisis de Sensibilidad	210
7.2.6.	Evaluación de la efectividad del mecanismo para el caso en provisión cooperativa de electricidad	210
7.3.	Un Caso en Congestión en una Red	213
7.3.1.	Evaluación criterios de caso para la congestión en una red de computadores	213
7.3.2.	Constructo expresado como hipótesis dinámica	215
7.3.3.	Estructura general del modelo	217
7.3.4.	Alcance del Modelo	221
7.3.5.	Simulación	222

7.3.6. Análisis de sensibilidad	222
7.3.7. Evaluación efectividad mecanismo de cooperación para el caso de con- gestión de una red de computadoras	222
7.4. Caso Crisis del Ozono	226
7.4.1. Evaluación condiciones de caso	226
7.4.2. Constructo de evaluación	228
7.4.3. Simulación	228
7.4.4. Evaluación efectividad mecanismo de cooperación	228
7.5. Discusión	237
8. Discusión Final, Trabajo Futuro y Conclusiones	239
8.1. Cumplimiento de Objetivos	239
8.2. Discusión sobre la Hipótesis General	241
8.3. Aportes	241
8.4. Discusión sobre el Método	242
8.5. Aportes	242
8.6. Discusión sobre los Resultados de Simulación	243
8.7. Aportes	243
8.8. Trabajo Futuro	244
8.9. Oportunidades de Desarrollo Teórico.	244
8.10. Oportunidades de Desarrollo Metodológico.	245
8.11. Limitaciones	246
8.12. Conclusiones	246
Bibliografía	248

Lista de Figuras

1-1.	Versión dinámica del mecanismo de cooperación basado en confianza. . . .	4
1-2.	Representación dinámica del mecanismo de cooperación basado en confianza para dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.	6
1-3.	Representación básica del mecanismo de cooperación basado en confianza para dilemas sociales de gran escala.	7
1-4.	Esquema simplificado de la Cooperación como un proceso realimentado . .	8
4-1.	Elementos fundamentales de la metodología	81
4-2.	Constructo expresado como hipótesis dinámica	83
5-1.	Demanda de potencia máxima, capacidad neta y margen en Colombia 1991-1994 (UPME, 2010)	88
5-2.	Porcentaje de la demanda esperada y realizada en Colombia entre marzo y junio de 1992 (Presidencia de la República de Colombia, 1992)	90
5-3.	Racionamiento esperado en Colombia Junio 1992 Abril de 1993 en un escenario de hidrología extremadamente seca (Presidencia de la República de Colombia, 1992)	91
5-4.	Margen de Generación y Tarifa Media en Colombia 1991-1994 (Presidencia de la República de Colombia, 1992; UPME, 2010).	92
5-5.	Mecanismos de cooperación supuestos para la crisis de electricidad de Colombia 1992. Basado en los datos de (UPME, 2010).	95
5-6.	Indicación de los mecanismos percepción de daño y cooperación como norma y su efecto en la demanda de electricidad para la crisis de electricidad de Colombia 1992-1993	97
5-7.	Constructo expresado como hipótesis dinámica para la crisis de electricidad de Colombia 1992-1993 asumida como dilema social de recurso de gran escala.	99
5-8.	Estructura general modelo caso crisis de electricidad.	101
5-9.	Demanda de electricidad en Colombia 1992-1993 datos históricos (UPME, 2010) frente al comportamiento de simulación.	103
5-10.	Cooperación Relativa y Margen (Modelo vs Datos)	105
5-11.	Datos Margen y Precios Minoristas Ponderados para el Estado de California (California Energy Commission, 2010).	110

5-12. Datos de demanda máxima, capacidad y margen en el Estado de California (California Energy Commission, 2010).	112
5-13. Mecanismos de Cooperación en la Crisis de Electricidad de California basado en (California Energy Commission, 2010).	116
5-14. Datos y resultados de simulación para la demanda caso California 2001 . . .	119
5-15. Resultados de simulación para percepción y reconocimiento de amenaza de racionamientos para California 2001	120
5-16. Resultados de simulación para la confianza de cooperación para el caso de la Crisis de California 2001	121
5-17. Resultados de simulación tentación de desertar caso California 2001	122
5-18. Resultados de simulación para la cooperación de largo plazo caso California 2001	124
5-19. Margen para el caso California 2001.	125
5-20. Análisis de sensibilidad para la vida media de cooperación de largo plazo. Efectos de la complejidad dinámica en la gestión de la cooperación en el caso de la Crisis de electricidad de Colombia 1992	141
5-21. Análisis de Sensibilidad por variabilidad del tiempo de ajuste del retardo de información sobre la Demanda Caso Crisis California 2001.	145
6-1. Cantidad de CO_2 en la atmósfera medida en Manua Loa (Tans, 2010).	154
6-2. Hipótesis dinámica caso cooperación en la reducción de las emisiones de CO_2 en la atmósfera	159
6-3. Estructura simplificada modelo reducción de CO_2 mediante cooperación como dilema social de recurso de gran escala.	161
6-4. Simulación bajo un escenario de bajo nivel de aprendizaje de cooperación de largo plazo	163
6-5. Simulación bajo un escenario de alto nivel de aprendizaje de cooperación de largo plazo	165
6-6. Simulaciones para diferentes valores de vida media del reconocimiento de daño en el modelo de crisis de CO_2 . Con una vida media para el reconocimiento de daño de 33 años es posible regresar a niveles de concentración de CO_2 de 1958 hacia el año 2140.	166
6-7. Análisis de Sensibilidad del tiempo promedio de reconocimiento de la tendencia en la concentración de CO_2 en la atmósfera para la concentración de CO_2	179
6-8. Análisis de Sensibilidad del retardo para percibir la tendencia de cooperación para la Concentración de CO_2	183
6-9. Análisis de sensibilidad combinada de las variables tendencia en la concentración de CO_2 y retardo para percibir la tendencia de cooperación para la concentración de CO_2	187

7-1. Constructo de evaluación expresado como hipótesis dinámica caso provisión de un recurso común en generación cooperativa de electricidad por pequeños usuarios	201
7-2. Representación de la estructura del modelo para el caso provisión de un recurso común en generación cooperativa de electricidad por pequeños usuarios.	202
7-3. Resultado de simulación para la variable Confianza de cooperación con valores 0 y 10 iniciales para Confianza inicial.	205
7-4. Resultado de simulación para la variable Contribución con valores 0 y 10 para confianza inicial	207
7-5. Resultados de simulación para la variable tentación de desertar con valores 0 y 10 para confianza inicial	209
7-6. Análisis de sensibilidad para la confianza de cooperación.	211
7-7. Hipótesis dinámica para un modelo simplificado de dilema social en una red de computadores.	216
7-8. Diagrama de niveles y flujos para el caso de congestión sector ancho de banda	218
7-9. Diagrama de niveles y flujos para el caso de congestión sector confianza de cooperación	219
7-10. Representación de la estructura del modelo para el caso de congestión en una red de computadores.	220
7-11. Resultado de simulación para la variable Confianza de cooperación con valores 0 y 10 iniciales para Confianza inicial.	223
7-12. Resultado de simulación para la variable Contribución con valores 0 y 10 para confianza inicial	224
7-13. Versión Dinámica de un Mecanismo de Cooperación basado en Confianza para Dilemas Sociales de Gran Escala.	229
7-14. Modelo Agotamiento Ozono sin Mecanismo de Cooperación.	230
7-15. Datos vs Simulación Modelo Ozono sin Mecanismo.	231
7-16. Datos vs Simulación Modelo CFC-11 sin Mecanismo.	232
7-17. Un Mecanismo de Cooperación Basado en Confianza para la Crisis del Ozono Asumida como Dilema Social de Gran Escala.	233
7-18. Simulación Ozono con Baja Exigencia de Confianza.	234
7-19. Simulación Ozono con Alta Exigencia de Confianza.	235

Lista de Tablas

2-1.	Tipos de dilemas sociales de acuerdo al bien económico susceptible, su localización y manifestaciones basado en (Ostrom, 1990; Ostrom & Walker, 2005; Walker & Ostrom, 2007).	11
2-2.	Esquema de Clasificación de los bienes de la economía según el grado de sustractibilidad y de exclusión (Ostrom & Ostrom, 1977)	14
2-3.	Síntesis de la revisión comprensiva de la literatura para la teoría cooperativa y no cooperativa de dilemas sociales (Ostrom & Walker, 2005)	16
2-4.	Revisión selectiva ampliada de la literatura para las teorías de juegos cooperativa y no cooperativa.	18
2-5.	Caracterización de los dilemas sociales de pequeña y gran escala (Ostrom, 2000a; Markóczy, 2003)	28
3-1.	Requerimientos de caso para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala	40
3-2.	Resumen Criterios Metodológicos	44
3-3.	Resumen criterios de efectividad propuestos para evaluar mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala	46
3-4.	Resumen criterios generales de evaluación y vigencia de la hipótesis dinámica	47
3-5.	Resumen criterios evaluación y vigencia hipótesis general	48
4-1.	Especificaciones metodológicas con base en las características requeridas por la evaluación de la efectividad de Dilemas Sociales de Gran Escala	51
4-2.	Resumen de las características de evaluación para las herramientas	52
4-3.	Criterios Selección Herramientas de Modelamiento	55
4-4.	Revisión de criterios para la Econometría	57
4-5.	Revisión Cumplimiento Requerimientos Metodológicos para el Modelamiento Basado en Agentes	60
4-6.	Evaluación Requerimientos Metodológicos para Autómatas Celulares	62
4-7.	Revisión Requerimientos metodológicos para la Economía Experimental	64
4-8.	Revisión Requerimientos metodológicos para la Teoría de Juegos	66
4-9.	Evaluación de Requerimientos metodológicos para la Dinámica de Sistemas	71
4-10.	Relación características para la cooperación en dilemas sociales de recurso de pequeña y gran escala	74

4-11. Resumen criterios situaciones de dilema social de recurso agotable de gran escala.	75
4-12. Resumen criterios de efectividad propuestos para evaluar mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala	77
4-13. Plan de Investigación Desarrollado	79
5-1. Evaluación de condiciones para la crisis de electricidad de Colombia 1992 como dilema social de recurso agotable de gran escala.	93
5-2. Fronteras del Modelo Crisis de Electricidad Colombia 1992.	100
5-3. Acumulación de Experiencias Positivas de Cooperación explican el sostenimiento de la cooperación luego de terminado el racionamiento.	102
5-4. El mecanismo da cuenta de la reducción en la demanda antes del racionamiento, debido a el incremento en la percepción de daño por racionamiento y del sostenimiento de la reducción luego de terminado el racionamiento, como consecuencia de la adopción de la cooperación como norma, Modelo Caso Crisis de Electricidad Colombia 1992.	106
5-5. Evaluación Criterios de efectividad mecanismos aplicados a la crisis de Colombia 1992.	107
5-6. Pruebas Estadísticas para Demanda Datos contra simulación Caso Crisis de Electricidad Colombia 1992.	108
5-7. Evaluación de condiciones para la crisis de electricidad de California 2001 como dilema social de recurso agotable de gran escala.	114
5-8. Fronteras del Modelo para la crisis de electricidad de California en 2001. . .	117
5-9. Evaluación Criterios de efectividad mecanismos aplicados a la crisis de California 2001.	126
5-10. Pruebas Estadísticas para Demanda Datos contra Simulación Caso Crisis de Electricidad California 2001.	127
5-11. El mecanismo da cuenta de la Demanda y de la Cooperación relativa en los modelos diseñados para el caso de la crisis de electricidad de Colombia 1992 y de California 2001.	129
5-12. El comportamiento de la Confianza de Cooperación y del Reconocimiento de Amenaza de Racionamiento guardan consistencia con el mecanismo institucional diseñado.	130
5-13. El comportamiento de la Tentación de Desertar y la Cooperación de Largo plazo guardan consistencia con el esquema de evaluación de la efectividad de la cooperación diseñado.	132
5-14. Análisis de Sensibilidad Tiempo Ajuste Retardo Casos Crisis Electricidad . .	134
5-15. Análisis de Sensibilidad Vida Media Tentación Desertar	136
5-16. Análisis de Sensibilidad Vida Media Cooperación de Largo Plazo	137
5-17. Análisis de Sensibilidad Vida Media Confianza	139

5-18. Análisis de Sensibilidad por variabilidad del tiempo ajuste retardo de información sobre los mecanismos evaluados y la tentación de desertar para el Caso de la Crisis de Electricidad de California 2001.	142
5-19. Análisis de sensibilidad de la vida media de cooperación de largo plazo para la Cooperación relativa y su Percepción para el Caso de la Crisis de electricidad de Colombia 1992.	143
5-20. Análisis de Sensibilidad del efecto de la variabilidad del tiempo de ajuste de retardo sobre la Cooperación y la Tendencia de Cooperación Percibida Caso Crisis de Electricidad California 2001.	144
5-21. Resultados consolidados pruebas Theils para los modelos de la crisis de Colombia 1992 y California 2001.	148
5-22. Síntesis de evaluación de las estadísticas de Theil para los modelos de la crisis de Colombia 1992 y California 2001	149
6-1. Evaluación cumplimiento de condiciones de caso Crisis del CO_2	156
6-2. Fronteras del Modelo de reducción de CO_2 por cooperación como dilema social de recurso de gran escala.	160
6-3. Pruebas Estadísticas para Demanda Datos versus simulación Caso Cooperación Reducción de CO_2 en la atmósfera.	167
6-4. Análisis de Sensibilidad Vida Media Tentación de Desertar	169
6-5. Análisis de Sensibilidad Vida Media Aprendizaje Cooperación Norma Largo Plazo	171
6-6. Análisis de Sensibilidad Vida Media Percepción de Daño	173
6-7. Análisis de Sensibilidad Vida Media Confianza	175
6-8. Análisis de Sensibilidad Tiempo Ajuste Percepción Tendencia CO_2	177
6-9. Análisis de Sensibilidad del tiempo promedio de reconocimiento de la tendencia en la concentración de CO_2 para los mecanismos y la tentación de desertar.	180
6-10. Análisis de Sensibilidad del tiempo promedio de reconocimiento de la tendencia en la concentración de CO_2 para la Tendencia y la percepción de la variación CO_2	181
6-11. Análisis de Sensibilidad del retardo para percibir la tendencia de cooperación para los mecanismos de cooperación y la tentación de desertar.	184
6-12. Análisis de Sensibilidad del retardo para percibir la tendencia de cooperación para la tendencia y percepción de cambio de concentración CO_2	185
6-13. Análisis de sensibilidad combinada de las variables tendencia en la concentración de CO_2 y retardo para percibir la tendencia de cooperación para los mecanismos de cooperación y la tentación de desertar.	188

6-14.	Análisis de sensibilidad combinada de las variables tendencia en la concentración de CO_2 y retardo para percibir la tendencia de cooperación para la percepción y la tendencia de cambio de la Concentración de CO_2	189
6-15.	Evaluación Criterios de efectividad mecanismos aplicados a la crisis de emisiones CO_2	191
6-16.	Resumen de elementos de complejidad dinámica incluidos en los modelos de caso diseñados	193
6-17.	Resultados consolidados pruebas Theil para los modelos de Colombia 1992, California 2001 y Crisis CO_2	194
7-1.	Revisión condiciones de caso para la generación cooperativa de electricidad.	199
7-2.	Fronteras del Modelo Cooperación en la Generación de Electricidad	203
7-3.	Evaluación Criterios de efectividad propuestos para evaluar mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala	212
7-4.	Revisión cumplimiento criterios de caso para la congestión en Internet.	214
7-5.	Fronteras del Modelo Congestión en una Red de Computadores	221
7-6.	Evaluación Criterios de efectividad propuestos para evaluar mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala aplicados a la congestión en Internet.	225
7-7.	Revisión cumplimiento criterios de caso de la Crisis del Ozono.	227
7-8.	Evaluación Criterios de efectividad propuestos para evaluar mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala a la Crisis del Ozono.	236
8-1.	Revisión cumplimiento de los objetivos propuestos.	240

1 Introducción

Los *recursos comunes* han recibido una atención creciente por parte los científicos y académicos (Ostrom et al., 2002). En este tipo de recursos, si todos los individuos siguen su propio interés como medio para alcanzar el mayor bienestar posible (Smith, 1966), el resultado alcanzado es contra-intuitivo. En estas situaciones, la búsqueda del interés particular no conduce al bienestar general (Hardin, 1968). En estas situaciones el interés individual entra en conflicto con el interés público. Los dilemas sociales, como conflictos entre la racionalidad individual y el bienestar general (Kollock, 1998), pueden afectar la apropiación y la provisión de los recursos comunes (Ostrom, 1990), entendidos como facilidades compartidas agotables que son objeto de dilemas sociales si su apropiación supera el límite sostenible (Hardin, 1968).

Los dilemas sociales son conflictos que los grupos enfrentan frecuentemente (Kollock, 1998; Ostrom, 2000a). En este tipo de situaciones, si los individuos deciden apropiarse por encima del nivel sostenible, utilizando una racionalidad individualista consistente con los supuestos del modelo de elección racional neo-clásico, todos obtienen una reducción de la utilidad individual así como el deterioro del bienestar general (Ostrom, 2000a). Los dilemas sociales son problemáticos porque en estas situaciones existe al menos una alternativa en la que si todos los individuos cooperaran se alcanzaría un mejor resultado individual y colectivo (Kollock, 1998; Ostrom & Walker, 2005).

Los grupos de individuos enfrentan situaciones en las que la disponibilidad de los recursos comunes para el uso futuro depende de las reglas, normas y estrategias implícitas y explícitas que gobiernan el uso de dichos recursos en situaciones de dilema social (Ostrom et al., 1994; Ostrom, 2005). En estos dilemas, si la mayoría de los individuos deciden con base en los lineamientos del modelo de elección racional (Simon, 1979), el grupo puede terminar obteniendo un resultado muy inferior al óptimo social (Ostrom, 2000a). En este tipo de situaciones, los individuos y el recurso constituyen una situación de interdependencia en la que perseguir la maximización de la función de utilidad individual más allá del nivel de sostenibilidad del recurso produce la reducción de su disponibilidad y la reducción de la utilidad para cada los individuos y para el grupo (Hardin, 1968). Se ha sugerido que la disponibilidad de los recursos comunes tiene una alta dependencia con la capacidad que los grupos puedan desarrollar para superar los dilemas sociales (Ostrom et al., 1999; Ostrom, 2000b).

Un dilema social podría enfrentarse y superarse si los individuos limitaran su esfuerzo de apropiación hasta alcanzar la sostenibilidad del recurso, al confiar en que todos los individuos

del grupo limitarán a su vez la cantidad apropiada a un nivel suficiente como para mantener su uso sostenible (Ostrom, 1990). El dilema social se presenta gracias a que en los recursos comunes agotables, las unidades de recurso sustraídas o usadas por un individuo pueden no encontrarse disponibles para el uso y disfrute de los otros y a que puede ser costoso o imposible excluir a posibles apropiadores del recurso, configurando una situación de interdependencia en la que el nivel agregado de extracción supera el nivel máximo de sostenibilidad soportable por el recurso (Ostrom, 2000a; Schlager, 2002). En los dilemas sociales, todos los miembros de un grupo estarían mejor si decidieran cooperar. No obstante, un individuo puede decidir no cooperar si no confía en que los demás también reducirán su apropiación o si simplemente decide sacar provecho de la cooperación de los demás (Luce et al., 1958; Hardin, 1968; Olson, 1971).

La literatura sugiere tres formas en las que los grupos humanos pueden enfrentar los dilemas sociales: la asignación de derechos de propiedad privada (Smith, 1981), el control por un agente externo (Hardin, 1968) y la cooperación como auto-regulación (Ostrom, 2000a). En algunas situaciones puede ser muy costoso o incluso no viable enfrentar dilemas sociales mediante el diseño de instituciones basadas en la asignación de derechos de propiedad privada o en el control por parte de un agente externo (Ostrom, 1990). La cooperación frecuentemente aparece como la única opción viable en situaciones en donde las soluciones basadas en el estado (agente externo) y el mercado (derechos de propiedad privada) han tenido un éxito limitado o simplemente son inviables por la dificultad o el costo que implica aplicarlas (Ostrom, 1990).

La teoría acerca de la cooperación en recursos comunes ha crecido durante las últimas décadas (Ostrom et al., 2002). Dicha teoría se ha desarrollado alrededor de los dilemas sociales de pequeña escala, en donde la cooperación aparece si el número de individuos participantes es relativamente pequeño y poseen características relativamente homogéneas, existe comunicación cara a cara y la información acerca de las condiciones del recurso y el efecto acumulado de las acciones de los demás es conocido (Ostrom, 2000a). Gracias a la confianza y la reciprocidad, es posible que los individuos decidan cooperar (Ostrom & Walker, 2005). Una propuesta de versión dinámica de este mecanismo se presenta en la Figura 1-1 de la página 4. Los individuos cooperan si esperan que los demás cooperen en respuesta a sus acciones cooperativas (Axelrod & Hamilton, 1981; Ostrom & Walker, 2005). Es así como ha sido posible evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación en este tipo de situaciones (Ostrom et al., 1994; Castillo & Saisel, 2005). No obstante, la efectividad de la cooperación en dilemas sociales de gran escala no ha sido abordada en la literatura. Esta investigación reporta un esfuerzo por el diseño de un esquema que permita evaluar la efectividad de dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.

El promover y hacer sostenible la cooperación es un problema de gestión condicionado por la complejidad dinámica. La complejidad dinámica caracteriza las situaciones en las que las relaciones de causa y efecto son sutiles, por lo que los efectos de las intervenciones en el tiempo no son obvios, puesto que en este tipo de sistemas, la causa y el efecto se encuentran

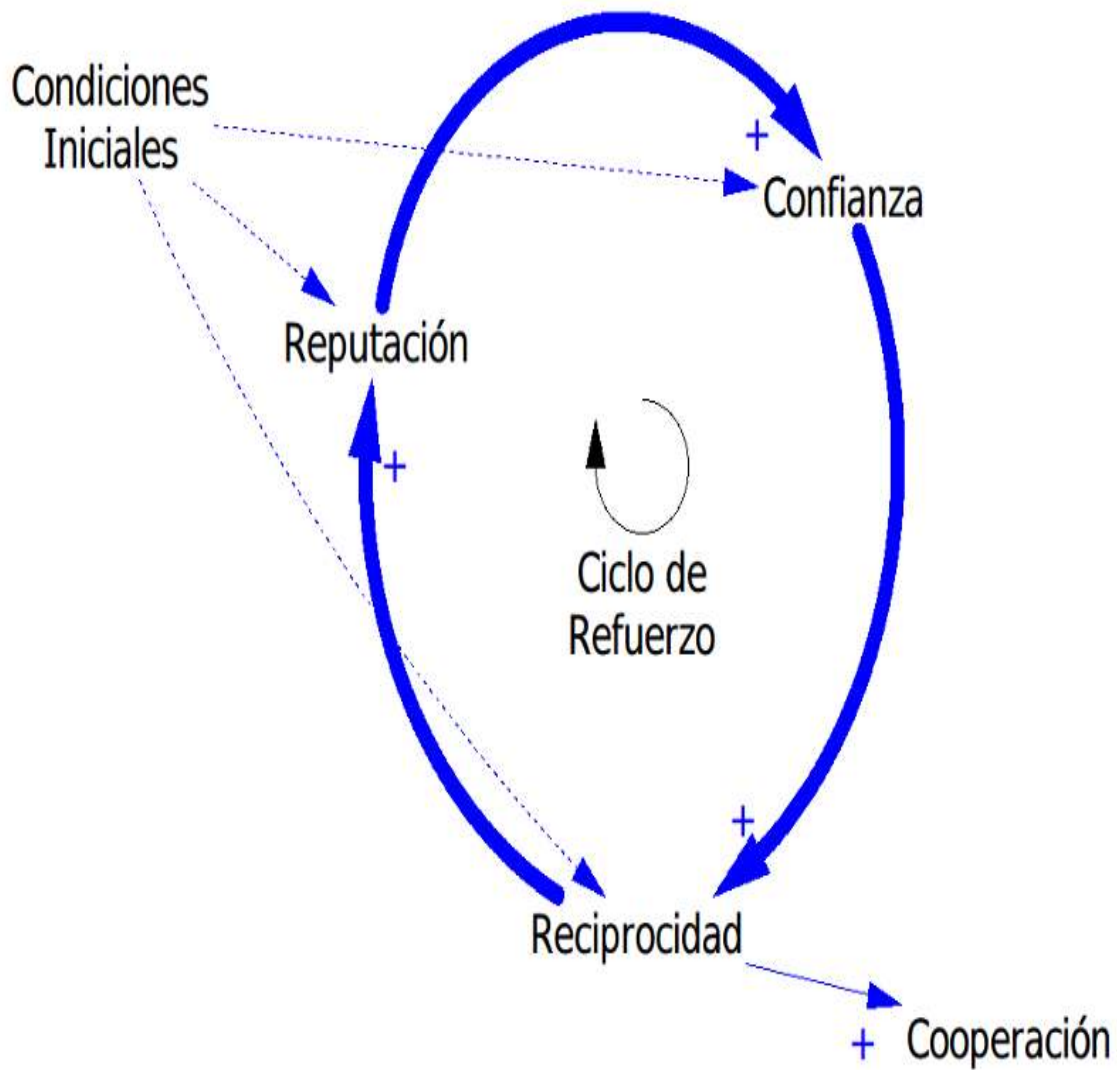


Figura 1-1: Versión dinámica del mecanismo de cooperación basado en confianza.

distantes en el tiempo. El promover y hacer sostenible la cooperación, supone el diseño de mecanismos efectivos de cooperación que hagan frente a la complejidad dinámica que caracteriza a los dilemas sociales de gran escala.

Se ha ilustrado cómo la realimentación de información es requerida para decidir cooperar en dilemas sociales. La reducción de la cantidad y calidad de información sobre el estado del recurso común y la cooperación del grupo reduce la posibilidad de establecer la confianza requerida para decidir cooperar. Los individuos, en el proceso de decisión sobre la cantidad de cooperación, pueden tener que enfrentar las dificultades que supone la complejidad dinámica. En los dilemas de pequeña escala, la complejidad dinámica no es problemática puesto la información sobre los efectos que tienen las acciones del grupo sobre el estado del recurso se hace disponible con retardos con tiempos de ajuste de no más de 5 minutos. Este no es el caso en los dilemas sociales de gran escala, en donde la información sobre el estado del recurso y sobre la cooperación de grupo es retardada por horas, días e incluso años. La versión para dilemas de gran escala del ciclo de cooperación basado en confianza se ilustra en la Figura 1-2 de la página 6.

No se ha encontrado en la literatura una evaluación de la efectividad de la gestión de mecanismos de cooperación aplicables en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala que considere el efecto que los elementos de complejidad dinámica podrían tener sobre su efectividad. Se ha argumentado sobre las dificultades que ofrece para la gestión las situaciones caracterizadas por su complejidad dinámica. Los dilemas sociales de gran escala ofrecen situaciones dinámicamente complejas. Para enfrentar esta problemática, Se propone evaluar el impacto sobre la efectividad de mecanismos de cooperación aplicables a dilemas sociales de gran escala, destacando las implicaciones que sobre la gestión de la cooperación para enfrentar dilemas sociales de gran escala tiene la complejidad dinámica. Los mecanismos de cooperación a evaluar tienen por objetivo enfrentar las dificultades que supone la cooperación basada en confianza en dilemas de gran escala. El mecanismo de cooperación basado en confianza en su versión dinámica básica es presentado en la Figura 1-3 de la página 7.

Esta tesis ofrece una contribución en este sentido. La investigación explora el diseño de un constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos para la cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. El constructo diseñado supone una integración de mecanismos de cooperación efectivos para propiciar y sostener la cooperación. El diseño del constructo y su aplicación en la evaluación de la efectividad de mecanismos se logró siguiendo los lineamientos metodológicos de la Dinámica de Sistemas (Forrester, 1961; Sterman, 2000), metodología con la que se representó la cooperación como un proceso de dinámico y realimentado (Véase Figura 1-4 de la página 8). Al asumir la cooperación como un proceso dinámico y realimentado, el efecto de la complejidad dinámica sobre el nivel de cooperación puede ser representado y estudiado (Sterman, 1989). La complejidad dinámica puede hacer más difícil que los grupos obtengan información sobre el estado del recurso y sobre la cooperación del grupo, debido a el tiempo de ajuste de los retardos de información que afectan la percepción.

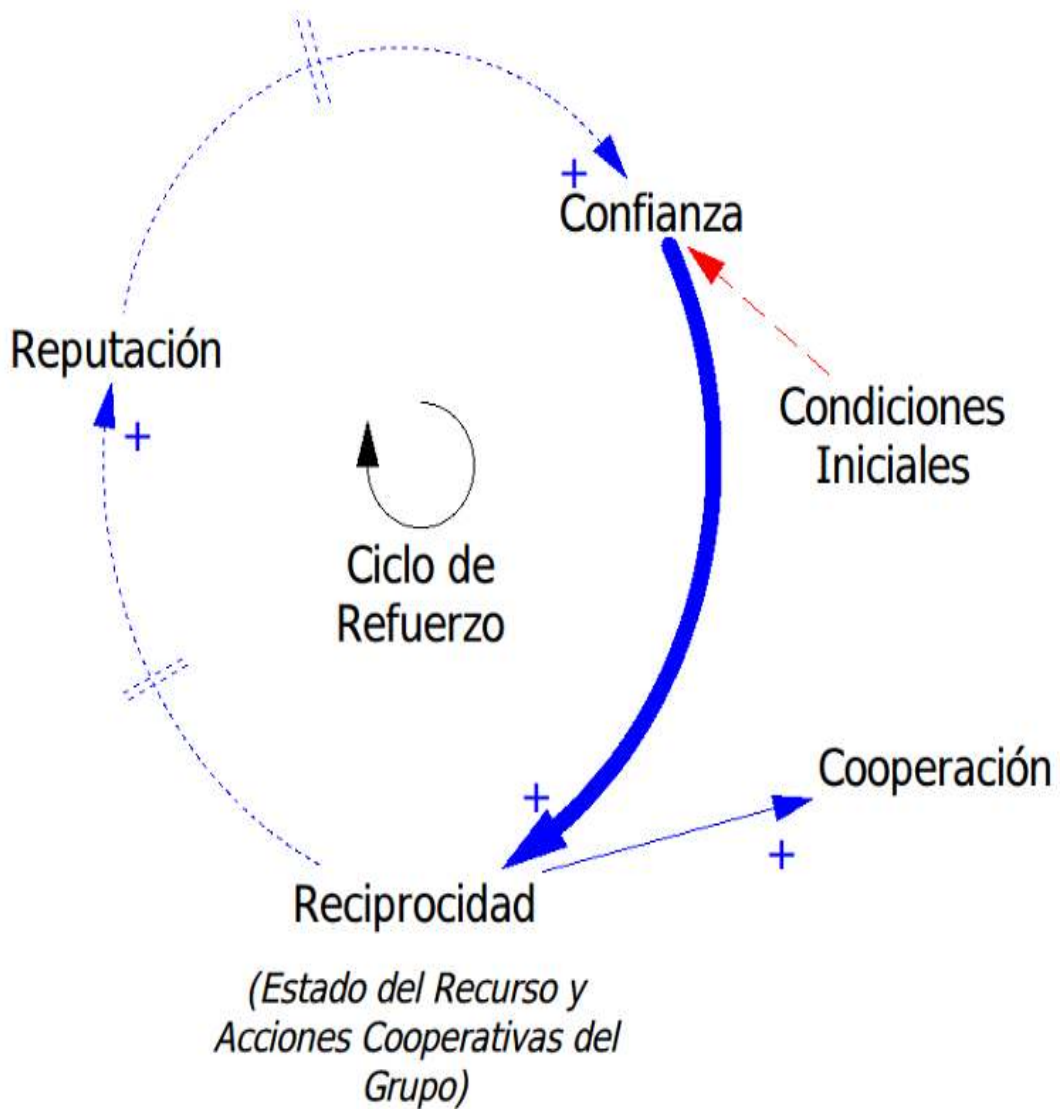


Figura 1-2: Representación dinámica del mecanismo de cooperación basado en confianza para dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.

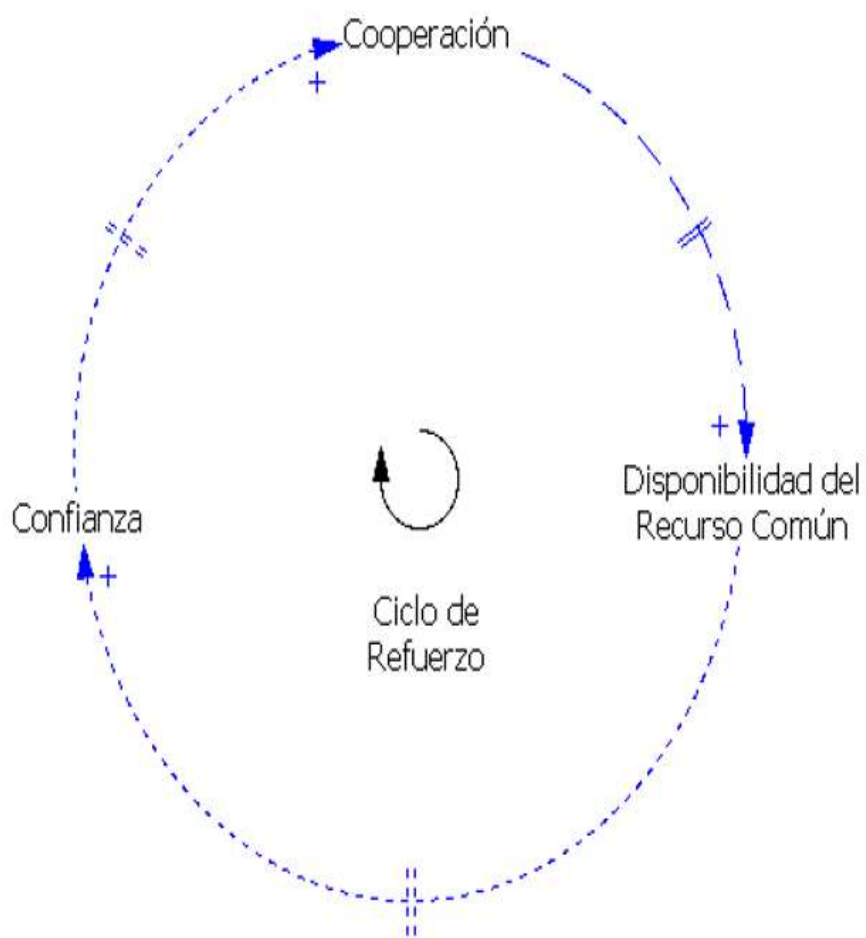


Figura 1-3: Representación básica del mecanismo de cooperación basado en confianza para dilemas sociales de gran escala.

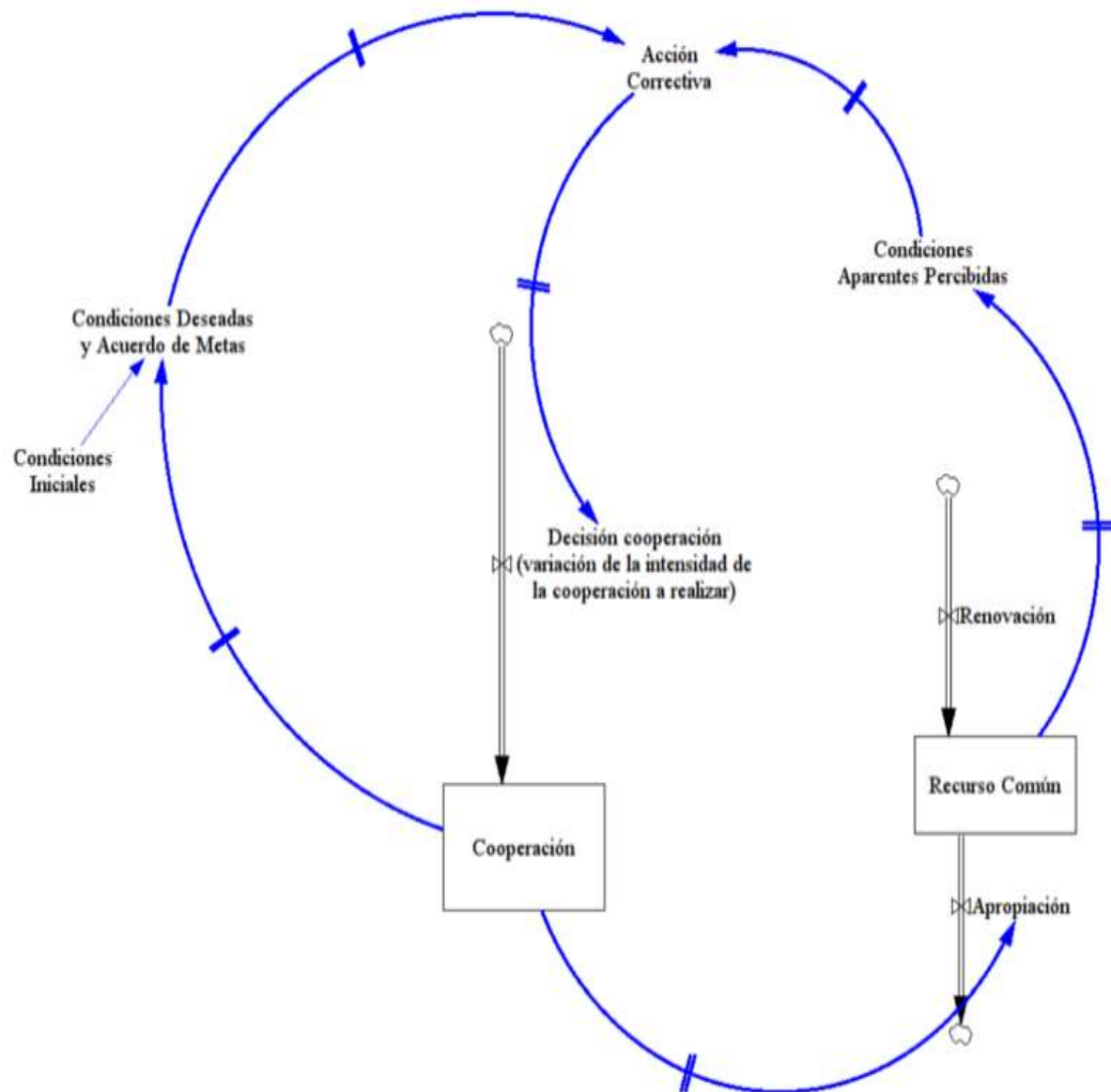


Figura 1-4: Esquema simplificado de la Cooperación como un proceso realimentado

Se modelaron casos históricos, un caso actualmente en evolución y casos hipotéticos. Como casos históricos se modelaron la crisis de electricidad de Colombia 1992 y la crisis de California 2001. Como caso en evolución se modeló una institución basada en cooperación para reducir la concentración de CO_2 en la atmósfera. Finalmente, como casos teóricos-hipotéticos se modelaron tres mini-prototipos: un caso en congestión en redes, un caso en generación de electricidad entre usuarios auto-generadores y un caso sobre la crisis del Ozono.

El constructo de evaluación de la cooperación fue evaluado mediante los modelos desarrollados. Las pruebas aplicadas a los modelos buscaron refutar el constructo diseñado (Popper, 2002). Luego de las pruebas realizadas, el constructo continúa vigente.

Los resultados de investigación se pueden sintetizar así:

- El constructo diseñado da cuenta del funcionamiento de mecanismos de cooperación utilizados en la promoción y sostenimiento de la cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.
- El constructo diseñado permite la evaluación de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.
- El mecanismo de cooperación por confianza, caracterizado por la dependencia a sus condiciones iniciales, puede integrarse a mecanismos de cooperación por percepción de daño y de cooperación como norma, para mejorar su efectividad en la promoción y sostenimiento de la cooperación en el largo plazo en dilemas sociales de gran escala.
- La complejidad dinámica afecta la cooperación. Los mecanismos de cooperación pueden enfrentar los efectos de la complejidad dinámica sobre el deterioro de la confianza de cooperación.

La tesis se organiza de la siguiente manera. Inicialmente se hace una presentación de los antecedentes, en donde se argumenta la pertinencia de abordar el estudio de la efectividad de los mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. A continuación se presentan la pregunta, los objetivos, la hipótesis y los criterios asumidos por la investigación. Luego se hace una presentación del método y del constructo diseñado. Posteriormente se presentan los cinco modelos desarrollados para evaluar el constructo diseñado, que se organizan en tres categorías: casos históricos, caso en desarrollo y casos teórico-hipotéticos. Finalmente se ofrece una discusión final, las conclusiones y algunas oportunidades de trabajo futuro.

2 Antecedentes

Este capítulo ofrece los antecedentes sobre la cooperación en dilemas sociales. Inicialmente se presentan los dilemas sociales como área de conocimiento. Luego se presentan los supuestos de la teoría no cooperativa de dilemas sociales. Posteriormente se presenta la teoría de cooperación para dilemas sociales de pequeña escala. Seguidamente se presentan los dilemas sociales de gran escala. En este capítulo ilustra cómo los mecanismos basados en la teoría de cooperación de pequeña escala han demostrado su efectividad en situaciones de laboratorio y de campo bajo condiciones específicas. Se argumenta sobre cómo las diferencias entre las condiciones de los dilemas sociales de pequeña y de gran escala suponen una oportunidad de investigación.

2.1. Dilemas sociales

Los dilemas sociales son situaciones de interdependencia que ocurren alrededor de un recurso común o un bien público (Kollock, 1998) (Véase la Tabla **2-1** de la página 11). Los dilemas sociales han sido denominados de maneras diversas: intercambio social generalizado (Emerson, 1976), el problema del desertor (Grossman & Hart, 1980), el problema del evasor (*shirking*) (Alchian & Demsetz, 1972), trampas sociales (Platt, 1973), peligro moral (Holmstrom, 1982), el dilema del compromiso creíble (Williamson, 1983), el problema de los bienes públicos y colectivos (Samuelson, 1954; Olson, 1971) y la Tragedia del Terreno Común (Lloyd, 1833; Hardin, 1968).

Los dilemas sociales hacen referencia a situaciones en donde los individuos se enfrentan a las consecuencias de la búsqueda de su interés individual conforme con los supuestos del modelo de perfecta elección racional (Simon, 1979), en las que una decisión racional individual produce una irracionalidad colectiva (Schlager, 2002). En algunos tipos de bienes, como los bienes privados o los *tipo club*, la racionalidad individual permite lograr el mayor beneficio colectivo tal como ocurre a través de los mercados (Smith, 1966). No obstante, en los bienes en los que no es posible excluir a los posibles beneficiarios, como en los bienes públicos y los recursos comunes, la búsqueda del interés individual termina ofreciendo una situación de dilema social con múltiples conflictos (Liebrand et al., 1992). En este tipo de situaciones, los individuos no perciben adecuadamente la interdependencia y la complejidad, condición que deteriora el proceso de toma de decisiones (Stermann, 1989; Moxnes, 1998, 2000).

Los dilemas sociales ofrecen dos aspectos problemáticos: Primero, los individuos que enfrentan este tipo de situaciones normalmente desertan, es decir, deciden no cooperar. Segun-

Tipo de bien	Proceso en el que ocurre el dilema	Manifestaciones
Bien público	Provisión	Sub provisión
Recurso común	Apropiación	Congestión, contaminación, sobre utilización

Tabla 2-1: Tipos de dilemas sociales de acuerdo al bien económico susceptible, su localización y manifestaciones basado en (Ostrom, 1990; Ostrom & Walker, 2005; Walker & Ostrom, 2007).

do, los individuos deciden si contribuyen o no, y en qué medida lo hacen (Ostrom, 1990). Estos aspectos problemáticos del dilema social en los bienes comunes suponen toda una estructura de conflictos (Dietz et al., 2003). Se presentan conflictos en el nivel, la localización y la distribución de la apropiación (Schlager, 2002). Son recurrentes los conflictos relacionados con la sobre explotación o la explotación sub-óptima (Scott, 1955; Hardin, 1968; Gordon, 1991), la competencia por áreas de apropiación (Schlager, 2002), los tipos y usos de la tecnología (Wilson et al., 1994; Schlager, 2002) y la distribución inequitativa de lo apropiado (Aquino et al., 1992). Se presentan también conflictos en la provisión, construcción y mantenimiento de la productividad del recurso y en el mantenimiento de las instituciones que resuelven los conflictos anteriores, que se conocen como dilemas sociales de segundo orden (Ostrom, 1990, 2005). Así mismo, las recomendaciones políticas de intervención usualmente no ofrecen los resultados deseados, lo cual genera conflictos al interior de la comunidad y entre la comunidad y el estado (Ostrom, 1990, 2000a; Anderson, 1977; Tang, 1994). La Tabla 2-1 en la página 11 presenta los tipos de dilemas sociales y su localización, así como sus principales manifestaciones.

El término dilema social hace referencia a un gran número de situaciones en las cuales los individuos toman decisiones independientes en situaciones de interdependencia (Kollock, 1998). En un dilema social de n personas, un conjunto de participantes tienen que escoger entre contribuir o no contribuir con un objetivo común (Ostrom, 2000a). Mientras que la decisión consiste en elegir entre cooperar o no cooperar, frecuentemente la decisión supone decidir cuándo contribuir, más que si se contribuye o no se contribuye (Ostrom et al., 1994). Si el grupo coopera, los miembros obtienen el diferencial de la cooperación (Ostrom & Walker, 2005). Los individuos enfrentan una tentación de pasar del conjunto que contribuye al conjunto que no contribuye. La predicción de la teoría no cooperativa es que todos pasaran a no contribuir (Luce et al., 1958). Esta salida constituye un equilibrio tipo Pareto Inferior (Ostrom, 2000a). Debido a que el peor pago es un equilibrio de Nash, nadie está independientemente motivado para cambiar su elección, dadas las elecciones de los otros participantes (Davis, 1997). Esta situación constituye un dilema puesto que al menos existe una salida que produce una mayor ventaja para todos los participantes (Ostrom & Walker, 2005). La alternativa, un equilibrio tipo Pareto Superior, no será alcanzado si los participantes racionales realizan decisiones aisladas (Ostrom, 2000a). Para el dilema descrito, la predicción de la teoría no cooperativa es que la cooperación no aparece (Von Neumann et al., 1953). Se define así un conflicto entre la racionalidad individual y la colectiva. El problema de acción colectiva consiste en evitar que se produzca un equilibrio de tipo Pareto Inferior, transformando dicha salida hacia uno de tipo Pareto Superior (Ostrom & Walker, 2005). Los mecanismos de cooperación pretenden alcanzar el dividendo de la cooperación (Ostrom, 2000a).

Los dilemas sociales ocurren en situaciones de interdependencia en las que los individuos enfrentan incentivos de corto plazo que los llevan a escoger acciones individualistas, cuando podrían generar acuerdos para cooperar y obtener los mayores pagos tanto para los individuos como para el grupo (Kollock, 1998). Todas las estrategias de intervención de dilemas sociales suponen un mecanismo para ganar confianza (Ostrom & Walker, 2005). En los dilemas sociales, los recursos comunes sufren de congestión, contaminación y sobre explotación, mientras que los bienes públicos no reciben una provisión suficiente (Ostrom, 2000a) como se ilustra en la Tabla **2-1** de la página 11.

La Tabla **2-5** en la página 28 presenta la caracterización de los dilemas sociales de pequeña y de gran escala con base en Ostrom (2000a) y Markóczy (2003). Dicha caracterización define para cada tipo de recurso el contexto en donde ocurre, el tamaño del grupo de individuos, las características del grupo, la magnitud del retardo, la calidad de la realimentación de la información, el tipo de modelo de racionalidad, el número de encuentros y el tipo de comunicación que ofrece la situación.

Los grupos de individuos enfrentan el problema de generar la suficiente confianza que permita sostener acuerdos que contra resten la tentación de elegir acciones individualistas de corto plazo (Ostrom & Walker, 2005). Este problema es central para las Ciencias Sociales. La economía clásica invita a perseguir el interés individual para lograr el bienestar colectivo

(Smith, 1966). El perseguir dicho interés en situaciones de interdependencia produce dilemas sociales que afectan la disponibilidad de los recursos comunes (Ostrom, 2000a). La generación de la confianza requerida para sostener los acuerdos que permitan enfrentar y evitar los dilemas sociales ha recibido dos tipos de respuesta, que se diferencian tanto por los supuestos como por las recomendaciones políticas (Ostrom & Walker, 2005). La primera respuesta se denomina teoría no cooperativa de los dilemas sociales de recurso de pequeña escala (Luce et al., 1958; Olson, 1971; Hardin, 2009). Esta teoría incluye la teoría de juegos no cooperativa para un encuentro y los dilemas sociales repetidos finitos. La segunda se denomina teoría cooperativa de dilemas sociales de pequeña escala (Ostrom, 2000a).

A continuación se explicará con mayor detalle los supuestos de las teorías no cooperativa y cooperativa de dilemas sociales de pequeña escala.

2.2. Teoría No Cooperativa de Dilemas Sociales

Según la teoría de juegos no cooperativa, en los dilemas de un encuentro y en los dilemas repetidos finitos, los acuerdos, si aparecen, deben ser forzados por una autoridad externa (Luce et al., 1958; Olson, 1971; Hardin, 2009). Si todos los individuos tanto en dilemas de un encuentro como en dilemas repetidos finitos asumen una estrategia consistente con el modelo actualmente aceptado de elección racional (Von Neumann et al., 1953), todos los individuos recibirán un pago menor que el que pudieran recibir con al menos una alternativa (Ostrom, 2000a). Debido a que la opción de menor pago es un equilibrio, ningún individuo está motivado de manera independiente en cambiar su elección, dadas las elecciones de los demás participantes (Ostrom, 1990). Este tipo de situaciones se considera dilema social pues existe al menos una alternativa que podría producir un mejor pago para todos los participantes (Ostrom & Walker, 2005). El problema de acción colectiva (cooperación) consiste en buscar maneras para que el grupo construya la suficiente confianza para cooperar y alcanzar así la ganancia del dividendo por cooperación, que es la diferencia entre el resultado previsto por el modelo de elección racional y la salida Pareto Superior (Ostrom, 2000a). Los dilemas sociales pueden aparecer tanto en la provisión de bienes públicos como en la apropiación de recursos comunes de acceso abierto, como se ilustra en la Tabla **2-2** en la página 14. Los bienes de la economía se clasifican de acuerdo con la posibilidad de exclusión de los apropiadores y la sustractibilidad del bien como consecuencia de su uso (Ostrom & Ostrom, 1977).

Sustractibilidad

		Baja	Alta
		<i>Exclusión</i> Dificil	Bienes públicos
Sencilla	Bienes club	Bienes privados	

Tabla 2-2: Esquema de Clasificación de los bienes de la economía según el grado de sustractibilidad y de exclusión (Ostrom & Ostrom, 1977)

La teoría no cooperativa supone que los individuos utilizan el modelo de elección racional para orientar sus decisiones, tienen información completa y perfecta con respecto a la situación y poseen la potencia racional y de cálculo necesaria para encontrar la solución óptima (Simon, 1955; Ostrom, 2000a). La teoría no cooperativa sugiere que los individuos no serán capaces por sí mismos de salir del dilema social, por lo que requieren de un agente externo que supervise el cumplimiento de los acuerdos y que asegure la confianza necesaria para superar el dilema (Hardin, 1968; Ostrom & Walker, 2005). Se supone que los individuos no tienen ni la posibilidad ni la voluntad de comunicarse frente a frente para lograr acuerdos por sí mismos (Ostrom et al., 1994). En esta teoría no cooperativa no se espera que la cooperación pueda surgir como auto regulación entre los individuos del grupo. La teoría considera que un grupo de individuos que se encuentra en un juego con uno o más equilibrios Nash en una única interacción, produce menos que el pago óptimo posible para todos los involucrados (Pareto Inferior) (Ostrom, 2000a). Una mejor salida (Pareto Superior) puede lograrse si el grupo decide cooperar seleccionando estrategias diferentes a las del sub-juego no cooperativo (Ostrom, 2000a).

La Tabla **2-3** en la página 16 presenta una síntesis de la revisión selectiva de la literatura para la teoría cooperativa y no cooperativa de dilemas sociales en donde se describen características como el tipo de modelo de racionalidad, información y número de encuentros.

	Teoría No Cooperativa	Teoría Cooperativa
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perfecta racionalidad. ▪ Información perfecta. ▪ Un encuentro o encuentros finitos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Racionalidad limitada. ▪ Información retardada y distorsionada. ▪ Varios encuentros repetidos. ▪ Dependencia a las condiciones iniciales.
<i>Recomendaciones políticas</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Control por un agente externo. ▪ Asignación de derechos de propiedad privada. 	Cooperación.
<i>Referencias seleccionadas</i>	(Hardin, 1968; Luce et al., 1958; Olson, 1971; Ostrom, 2000a; Castillo & Saysel, 2005)	(Ostrom, 2000a; Ostrom & Walker, 2005)

Tabla 2-3: Síntesis de la revisión comprensiva de la literatura para la teoría cooperativa y no cooperativa de dilemas sociales (Ostrom & Walker, 2005)

En la literatura es posible distinguir tres obras fundamentales que sostienen esta concepción. La Tragedia del Terreno Común (Hardin, 1968), la Lógica de la Acción Colectiva (Olson, 1971) y el Dilema del Prisionero (Luce et al., 1958). Estas contribuciones asumen que los individuos se encuentran atrapados en una situación de la que no pueden salir por ellos mismos, por lo que terminarán sobre explotando el recurso. De acuerdo con dicha suposición, se ofrecen dos recomendaciones políticas para superar la situación. O bien se evita que los individuos compartan a los demás los efectos de la sobre explotación, estableciendo una configuración que los enfrente con las consecuencias de sus propias decisiones, como en el caso de la asignación de derechos de propiedad privada (Smith, 1981; Ostrom, 1990) o bien se aplica una regulación de forzoso cumplimiento por parte de una autoridad o agente externo que evite la sobre explotación limitando la cantidad apropiada (Hardin, 1968). En la teoría no cooperativa de los dilemas sociales de pequeña escala no se espera la aparición de la cooperación entre individuos que deciden bajo los supuestos del modelo de elección racional (Von Neumann et al., 1953; Ostrom, 1990).

La Tabla **2-4** en la página 18 sintetiza una revisión de la literatura selectiva para la teoría cooperativa y no cooperativa.

	Teoría de Juegos No Cooperativa (Sin comunicación)	Teoría de Juegos No cooperativa (con incertidumbre)	Teoría de Juegos Cooperativa (con comunicación, incertidumbre y acuerdos forzados)
Características del Juego	Teoría de juegos no cooperativa para un encuentro. Dilemas sociales repetidos finitos.	Juegos repetidos con número no conocido de repeticiones. Incertidumbre acerca de los tipos de jugadores	Incertidumbre acerca de la duración de la situación o la irracionalidad para responder cooperación con cooperación.
Acuerdos	Acuerdos, si son seguidos, deben ser forzados por autoridades externas.	Acuerdos, sin son seguidos, deben ser forzados por autoridades externas.	Los jugadores pueden comunicarse y hacer acuerdos enforzables.
Modelo de elección	Elección racional para el individuo. Conocimiento común sobre la estructura, los pagos y todas las combinaciones de estrategias. Las decisiones se tomas de manera independiente y a menudo simultáneamente. No existe actor externo presente para forzar los acuerdos.	Elección racional para el individuo. Conocimiento común sobre la estructura, los pagos y todas las combinaciones de estrategias. Las decisiones se tomas de manera independiente y a menudo simultáneamente.	Una teoría amplia del comportamiento humano (conocedores falibles (Clark & Karmiloff-Smith, 1993), racionalidad acotada, capacidad de aprendizaje de normas, comportamiento basado en normas)
Predicciones	Pareto-inferior (P- I)	Pareto-óptimo (P-O) o cercano (bajas tasas de descuento y posibilidad de castigo). (Un tipo irracional de jugador Reciprocador Cooperación Cooperación). Todo es predicho entre (P-O) y (P-I).	Cerca a Pareto-optimio (P-O). La comunicación mejora la cooperación aún sin realimentación acerca de la decisión tomada en cada encuentro.(también aplica para juegos de un encuentro y para juegos finitamente repetidos).
Referencias seleccionadas que soportan las predicciones	(Hardin, 1968; Olson, 1971; Luce et al., 1958)	(Fudenberg & Maskin, 1986; Abreu, 1988)	(Ostrom & Walker, 2005; Ostrom, 2000a)

Tabla 2-4: Revisión selectiva ampliada de la literatura para las teorías de juegos cooperativa y no cooperativa.

Si cada individuo, en un dilema social, selecciona estrategias basadas en el modelo predominante de elección racional, todos los individuos obtendrán pagos por un valor menor que en al menos una de las alternativas disponibles (Hardin, 1968). Como los valores de los pagos reducidos constituyen un equilibrio, ningún individuo está independientemente motivado para cambiar su elección (Ostrom, 2000a). El dilema se configura debido a que existe al menos una estrategia que podría producir mayores retornos para todos los participantes (Ostrom, 2001). Para obtener dicha salida, los individuos deben confiar los unos en los otros (Ostrom & Walker, 2005). Los individuos que toman decisiones de manera independiente, orientando sus decisiones con base en el modelo de elección racional, no alcanzarán un retorno tipo Pareto óptimo, según la predicción de la teoría de juegos no cooperativa (Ostrom & Walker, 2005).

2.3. Teoría Cooperativa para Dilemas Sociales de Pequeña Escala

Esta teoría explica por qué los niveles de cooperación varían y por qué las configuraciones situacionales incrementan o decrementan la cooperación en dilemas sociales de primer y segundo orden (Ostrom, 2000a) ¹. La pregunta por el por qué de la variación de la cooperación es importante no sólo para el entendimiento de la cooperación en sí misma, sino para el diseño de instituciones que faciliten o impidan que los individuos logren mayores niveles de utilidad en situaciones de dilema social (Ostrom, 2000a; Ostrom et al., 2002).

El núcleo central de las relaciones que ofrece la teoría de la decisión sobre la acción colectiva en recursos comunes para dilemas sociales de pequeña escala está constituido por un ciclo de realimentación que integra confianza, reciprocidad y reputación, que se constituye un mecanismo que da cuenta de la variación de la cooperación (Ostrom, 2000a).

En la teoría de cooperación para los dilemas sociales de pequeña escala se supone la posibilidad de la cooperación gracias a la comunicación cara a cara entre individuos que se encuentran en múltiples ocasiones alrededor del recurso (Ostrom et al., 1994). De esta forma los individuos construyen y conservan un registro o memoria del grado de cooperación alcanzado en los encuentros anteriores, a través de la reputación, con la que se establece a su vez la confianza necesaria para decidir cooperar (Ostrom, 2000a). Los principios de la elección racional de recursos comunes se constituyen en un marco de explicación inicial de la cooperación cuando existe la posibilidad de comunicación en múltiples encuentros alrededor de un recurso común (Ostrom, 2000a). El marco está conformado por un conjunto de variables situacionales y un núcleo de relaciones que articulan la reputación, la confianza

¹Los dilemas sociales de primer orden hacen referencia a los problemas de cooperación iniciales alrededor de la regulación de los recursos comunes y los bienes públicos. Los dilemas sociales de segundo orden hacen referencia a los problemas de cooperación que surgen en el mantenimiento de las instituciones que deben sostener y promover la cooperación que supera los dilemas sociales de primer orden (Ostrom, 1990)

y la cooperación en un ciclo de reciprocidad (Ostrom, 2000a), en donde se asume que los individuos aplican reglas relativamente sencillas que pueden ser descritas por principios de racionalidad limitada (Simon, 1955) y que procesan información distorsionada, retardada o a veces ni siquiera disponible, en una situación que ofrece un nivel de complejidad que supera su capacidad racional (Ostrom, 2000a). La reciprocidad, según Ostrom (2000a), implica cooperar con los que cooperan, rehusar cooperar con quienes no lo hacen y la posibilidad de aplicar castigos graduales a los infractores de los acuerdos. No obstante esta referencia a la posibilidad de aplicar castigos, la teoría no considera ni integra un mecanismo que explique el efecto de persuasión que tiene la percepción de daño por deterioro del recurso sobre las decisiones de los individuos en el control de la cantidad de esfuerzo de apropiación. (Ostrom, 2000a, 1990; Parra & Dynner, 2010b, 2008, 2007).

En la literatura sobre cooperación en comunes se argumenta a favor de la necesidad de incorporar modelos de elección racional que den cuenta de una mayor variedad de posibilidades de comportamiento (Ostrom, 2000a; Ostrom et al., 2002). Los modelos que suponen completa racionalidad deben ser vistos como casos limitados de una teoría de racionalidad limitada o incompleta (Simon, 1959). Se ha propuesto asumir que el comportamiento humano es complejo, que los seres humanos son aprendices falibles que buscan hacer lo mejor que pueden dentro de las limitaciones que les impone su situación y que son capaces de desarrollar y aprender heurísticas, normas y reglas para mejorar su desempeño (Simon, 1955, 1959, 1979; Ostrom, 2000a). La literatura ofrece evidencia que soporta los supuestos del modelo de racionalidad limitada en la descripción del comportamiento de individuos en situaciones de campo (Ostrom, 2000a; Ostrom & Walker, 1992).

2.4. Reciprocidad, reputación y confianza

Al usar la reciprocidad, hay un incentivo para adquirir reputación por mantener las promesas y desempeñar acciones con costos en el corto plazo y beneficios en el largo plazo (Ostrom & Walker, 2005). Los individuos confían en quienes tratan de mantener reputación de cooperación. La confianza se asume como la expectativa de una persona acerca de las acciones de otras personas que afectan las decisiones de la primera persona (Ostrom & Walker, 2005). En el contexto de un dilema social, la confianza cuenta, ya que gracias a ella los individuos deciden cooperar puesto que esperan que sus acciones cooperativas serán correspondidas por acciones cooperativas (Axelrod & Hamilton, 1981). En el núcleo de la explicación del comportamiento en dilemas sociales se relaciona la confianza que los individuos tienen en los otros, la inversión que los otros hacen en reputación de confianza y la probabilidad de que los participantes usen normas de reciprocidad (Ostrom, 2000a). Este núcleo, representando como un ciclo de auto refuerzo está afectado por variables estructurales como las experiencias pasadas de los participantes (Castillo & Saysel, 2005).

Los individuos invierten en acciones cooperativas si cuentan con la suficiente confianza de que su cooperación será correspondida con cooperación (Axelrod & Hamilton, 1981; Oxendine

et al., 2003). En múltiples encuentros un grupo puede decidir confiar en los demás y seguir un simple acuerdo contingente que les permita realizar un esfuerzo conjunto (Ostrom et al., 1994). En un acuerdo contingente, los individuos acuerdan contribuir X cantidad de recursos a un esfuerzo común si al menos un número de Y individuos contribuyen. Los arreglos contingentes no requieren incluir a todos los que se benefician (Ostrom, 2000a).

La comunicación permite al grupo evaluar la confianza que pueden tener en la cooperación (Dawes et al., 1977; Ostrom & Walker, 2005). Cuando existe comunicación, los individuos deciden establecer acuerdos y cooperar con base en confianza (Ostrom & Walker, 1992). Cuando los individuos poseen características simétricas en los pagos, este acuerdo los lleva a niveles de contribución cercanos a la salida óptima (Pareto óptimo) (Ostrom et al., 1994). Cuando las características de los individuos no son simétricas, encontrar un acuerdo es más difícil (Ostrom et al., 1994).

La cooperación aparece y persiste en los experimentos de laboratorio, aún cuando existan incentivos para el comportamiento individualista de corto plazo (Ostrom, 2000a). Esta persistencia de la cooperación se explica mediante el concepto de reciprocidad (Henrich et al., 2001). Según la psicología evolucionista, los seres humanos pueden estar predispuestos por evolución para asumir intercambios sociales usando algoritmos mentales que les permiten identificar y castigar a los tramposos (Hoffman et al., 1998). La economía experimental identifica los factores ambientales e institucionales que promueven la cooperación aún cuando los individuos enfrenten incentivos para asumir un comportamiento individualista de corto plazo (Hoffman et al., 1998). A diferencia de la psicología evolucionista, los resultados experimentales sugieren que la confianza y la honestidad juegan un papel aún más importante que el castigo a quienes engañan (Fehr & Gächter, 1998). La psicología evolucionista supone que los seres humanos poseen habilidades para interpretar las intenciones de los demás, lo que facilita la reciprocidad (Barkow et al., 1992).

La teoría cooperativa para encuentros repetidos ofrece dos explicaciones a la cooperación basada en el propio interés: el equilibrio auto reforzado y la reputación (Ostrom & Walker, 2005). La explicación del equilibrio auto reforzado está basada en la idea de que los jugadores pueden castigar de manera creíble a los desertores no cooperadores (Hoffman et al., 1998). Los jugadores pueden decidir construir reputación de cooperación y buscar así intercambios sociales, con la esperanza de mayores ganancias en el largo plazo, a pesar de su costo en el corto plazo (Ostrom et al., 1994). Los experimentos ilustran que los sujetos cooperan en juegos con repeticiones. Esto se ha explicado asumiendo que las reputaciones son importantes en juegos de información incompleta (Ostrom et al., 1994). Si los jugadores tienen incertidumbre acerca del tipo de jugador asumido por los otros participantes, entonces emerge la posibilidad de que los jugadores imiten otros comportamientos (reciprocidad) y desarrollen reputación de cooperadores (Ostrom & Walker, 2005). En circunstancias en donde la cooperación es mutuamente beneficiosa, los jugadores tienen un incentivo para imitar el comportamiento cooperativo (Hoffman et al., 1998).

Se ha sugerido que los individuos infieren el tipo de persona con la que se encuentran por

primera vez en juegos de dilemas sociales a través de habilidades cognitivas desarrolladas durante la evolución, y gracias a las que se explica la predisposición de la gente para la reciprocidad (Barkow et al., 1992). Cumplidas las condiciones, los individuos pueden decidir responder con reciprocidad, gracias a que los individuos creen que las inversiones en reciprocidad tienen retornos más que proporcionales. Si la reciprocidad paga, la cultura y las normas desarrollaran las formas específicas que la reciprocidad toma en los grupos (Barkow et al., 1992).

Todos los seres humanos tienen la capacidad biológica para desarrollar la reciprocidad (Hoffman et al., 1998). La interacción repetida es una característica sobresaliente del intercambio social (Ostrom & Walker, 2005). Mucho antes que las sociedades humanas inventaran un medio generalmente aceptado de intercambio, varios mecanismos culturales proporcionaron adaptaciones sociales que permitieron retrasar los beneficios mutuos a obtener (Barkow et al., 1992). Aunque esto se refiere comúnmente al altruismo recíproco, en este contexto se le llama reciprocidad.

En el ámbito de la explicación de la variación de la cooperación, si los seres humanos se encuentran programados para aprender a lograr resultados cooperativos en intercambios sociales, se esperaría que los factores que facilitan la operación de los mecanismos naturales de reciprocidad incrementen la cooperación aún con la presencia de incentivos contrarios que inviten a asumir un comportamiento individualista (Ostrom & Walker, 2005). La cooperación se incrementa si es posible observar el comportamiento de otros aún si no existen mecanismos para forzar comportamientos específicos (Ostrom et al., 1994). En el modelo de Baron-Cohen (1997) de lectura de la intenciones de los otros, la dirección de los ojos, la atención compartida y los detectores de la intencionalidad son usados para identificar y ratificar los estados de voluntad de los otros.

La observación y el monitoreo activan uno o más de dichos mecanismos detectores (Hoffman et al., 1998). Si es posible para los individuos castigar directamente el engaño de otros individuos, la cooperación se incrementa aún más (Henrich, 2006). De manera similar, si los agentes pueden comunicarse con otros, ellos pueden definir una decisión de grupo como un problema de intercambio social y castigar los comportamientos no cooperativos, activando así inclinaciones naturales para cooperar e incrementar así las ganancias individuales (Axelrod, 1997). La comunicación incrementa la cooperación aún si no hay mecanismos efectivos de monitoreo y castigo de los no cooperadores (Ostrom et al., 1994). Un mecanismo de castigo como el Tit for Tat (Axelrod & Hamilton, 1981) tiene la ventaja de que puede sostener la cooperación (Hoffman et al., 1998). Dicha estrategia puede invadir una población de desertores si y sólo si se coopera con los cooperadores y se castiga a los desertores (Axelrod, 1997). La versión más exitosa del algoritmo Tit for Tat, asume la estrategia de cooperar primero y después imitar lo que hace el contrario (Axelrod, 1997). En situaciones de dilemas sociales de pequeña escala, el algoritmo del Tit for Tat puede sostener la cooperación basada en confianza. Desafortunadamente dicho algoritmo no es fácilmente extendible a dilemas sociales de recurso agotable de gran escala, debido a que no puede asumirse comunicación

cara a cara.

Las normas de reciprocidad comparten ingredientes comunes (Ostrom, 1990). Los individuos tienen a reaccionar con acciones positivas a las acciones positivas de los otros y con acciones negativas a las acciones negativas (Ostrom, 1990). Muchas acciones humanas pueden calificar como formas de reciprocidad. La reciprocidad es una norma social que se enseña en las sociedades (Ostrom, 1990). Las normas de reciprocidad que los individuos pueden aprender varían de cultura en cultura y a través de las diferentes situaciones que ellos enfrentan (Fehr & Gächter, 1998). Cuando muchos individuos usan la reciprocidad, hay un incentivo para adquirir una reputación de individuo que mantiene las promesas y desempeña acciones con costos en el corto plazo y beneficios en el largo plazo (Ostrom, 2000a). La confianza mutua puede posibilitar intercambios sociales productivos mutuos (Ostrom & Walker, 2005).

Una teoría consistente con la racionalidad limitada, el uso de normas de comportamiento soportada por habilidades cognitivas biológicas, supone que los seres humanos tienden a asumir las siguientes reglas (Ostrom, 1990; Ostrom & Walker, 2005):

1. Aprender de las interacciones con otros y de qué tan frecuentemente los otros usan normas como la reciprocidad.
2. Aprender a reconocer y recordar miembros confiables o no confiables.
3. Cooperar con individuos que se espera que responderán con reciprocidad en aquellas transacciones de riesgo en donde se espera que se generen beneficios.
4. Construir una reputación de ser confiable tratando de resistir la tentación de obtener beneficios de corto plazo, a expensas de perder oportunidades de beneficios mayores en el largo plazo.
5. Castigar a los tramposos o a quienes no ofrecieron reciprocidad en el pasado.
6. Usar un marco de tiempo que se extienda más allá del inmediato presente.

En un grupo es posible encontrar algunos individuos que usan las siguientes normas de reciprocidad cuando ellos enfrentan dilemas sociales con posibilidad de múltiples encuentros (Ostrom, 1990; Ostrom & Walker, 2005):

1. Siempre coopere primero. Detenga la cooperación si los otros no hacen reciprocidad y castigue a los no cooperadores si es posible.
2. Coopere inmediata y únicamente si usted juzga que los otros son confiables.
3. Una vez que la cooperación ha sido establecida por los otros, coopere. Pare de cooperar si los demás no lo hacen y castigue a los que no cooperen si es posible.

Además de las normas de reciprocidad, se pueden presentar al menos tres normas más (Ostrom, 1990; Ostrom & Walker, 2005):

1. Siempre coopere en algunos contextos.
2. Nunca coopere.
3. Imita las normas 1 y 2 pero deje de cooperar siempre que pueda desertar de manera exitosa.

En el ámbito de la teoría cooperativa para dilemas de recurso de pequeña escala, la cooperación puede aparecer si en la situación se presentan algunas condiciones específicas. Si la situación consiste en un único encuentro alrededor del recurso y no existe posibilidad de comunicación, los resultados de la experimentación y de los trabajos de campo soportan lo previsto en la teoría no cooperativa: la cooperación no aparece (Ostrom, 2000a; Ostrom & Walker, 2005). Sin embargo, si la situación permite múltiples encuentros y existe la posibilidad de la comunicación, la cooperación aparece (Ostrom, 2000a).

El ámbito teórico cooperativo explica la aparición de la cooperación mediante una configuración que incluye un núcleo de relaciones fundamentales y un conjunto de variables dependientes de la situación, denominadas variables situacionales. Esta concepción de cooperación se soporta en la posibilidad de construir reputación alrededor de la historia de cooperación en múltiples encuentros alrededor del común, lo que permite tener confianza en el cumplimiento de acuerdos de intercambio que permiten lograr beneficios de largo plazo (Ostrom, 2000a). Este mecanismo se hace operativo gracias a la reciprocidad, que se asume como la propensión a generar intercambios en donde se confía en que los otros cooperaran en el presente para lograr beneficios futuros. La reciprocidad implica la aplicación de castigos a quienes no cooperen (Ostrom, 2000a). Finalmente, el mecanismo de cooperación propuesto por Ostrom (2000a) es efectivo para promover la cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de pequeña escala. Estos resultados han sido obtenidos en configuraciones experimentales de laboratorio (Ostrom et al., 1994) y de campo (Cardenas & Ostrom, 2004).

2.5. Dilemas Sociales de Gran Escala

Algunos problemas de gran escala pueden ser asumidos desde el análisis de los dilemas sociales (Biel et al., 1999). En este tipo de dilemas sociales, la búsqueda del interés individualista está en conflicto con el bienestar colectivo (Biel et al., 1999). El dilema aparece debido a que la utilidad para un individuo es mayor si persigue un comportamiento egoísta que si persigue uno no egoísta, mientras que el público como un todo estará en la peor situación si la mayoría de los individuos actúan de manera egoísta (Biel et al., 1999). Los dilemas de gran escala son problemas que suponen unas características diferentes a los dilemas de pequeña escala, por lo que la efectividad de la cooperación basada en confianza para enfrentarlos supone una pregunta de investigación abierta.

Los problemas ambientales pueden entenderse como dilemas sociales de gran escala. Los individuos prefieren transportarse en sus vehículos en vez de utilizar el transporte público, por

ahorro de tiempo, conveniencia o comodidad. Para superar este tipo de dilemas, los grupos deben comprometerse a realizar acciones cooperativas. Las predicciones para esta situación suponen que los individuos no cooperaran (Von Neumann & Morgenstern, 1947). Resultados experimentales han mostrado que los individuos pueden privilegiar el interés general sobre su interés particular en favor de lo colectivo luego de la aplicación de mecanismos de cooperación (Ostrom et al., 1994).

Los dilemas sociales de gran escala ocurren en condiciones diferentes a los dilemas de pequeña escala (Ostrom, 1990; Biel et al., 1999), a pesar de que las condiciones psicológicas en las que ocurren los dilemas de gran escala son fundamentalmente las mismas que las que motivan el comportamiento en los dilemas de pequeña escala (Dawes, 1980). Se ha presentado como la teoría de cooperación de pequeña escala explica la variación de la acción colectiva en situaciones localizadas en las que un número menor a diez individuos, con características homogéneas en cuanto al pago recibido y con la posibilidad de comunicación cara a cara pueden crear la confianza de cooperación necesaria para superar el dilema (Ostrom, 1990; Ostrom et al., 1994; Ostrom, 2000a). No obstante, los dilemas de pequeña escala se diferencian de los de gran escala. En los de pequeña escala, tanto en situaciones de campo como de laboratorio se hace explícito como el grupo de individuos tiene acceso al recurso común, que puede ser agua, tierra, puntos o fichas (tokens) o dinero (Ostrom et al., 1994). Luego de cada encuentro los individuos reciben realimentación sobre el estado del recurso, en donde se hacen evidentes las consecuencias sus acciones sobre la disponibilidad del recurso. Los participantes tienen claro que se encuentran en una situación de interdependencia de la que pueden salir si cambian sus acciones individualistas por acciones cooperativas. En los dilemas de gran escala no es evidente la situación de interdependencia, ni que las acciones individualistas realizadas por los individuos deterioren la disponibilidad del recurso. De esta forma, los factores que motivan la cooperación en dilemas de pequeña escala pueden no ser experimentados en su totalidad en los dilemas de gran escala (Biel et al., 1999).

Este tipo de situaciones presenta un conjunto de características que no son cubiertas por las condiciones de la teoría cooperativa de dilemas sociales de recurso de pequeña escala (Biel et al., 1999; Ostrom et al., 1999). Algunas de las principales características de los dilemas sociales de gran escala son las siguientes:

- **Se presenta un conflicto entre la racionalidad individual y el bienestar colectivo cuando se utiliza un recurso agotable y no excluible por encima de su nivel de sostenibilidad.** Esta condición puede que no sea evidente para los individuos en este tipo de dilemas sociales. Una de las condiciones que permite mejorar la capacidad de los grupos para enfrentar el dilema es precisamente el lograr en el grupo un grado de reconocimiento sobre el dilema y la interdependencia que lo define.
- **La situación de interdependencia se define alrededor de un recurso común agotable.** Se asume que el dilema ocurre en recursos comunes que pueden ser asumidos como agotables susceptibles de congestión, contaminación o escasez.

- **El recurso común es altamente sustraible y es muy costoso o no es posible impedir el acceso a usuarios potenciales.** El dilema se constituye precisamente porque las unidades disfrutadas por un individuo ya no se encuentran disponibles para el disfrute de los demás. No es factible excluir a posibles beneficiarios o apropiadores del recurso.
- **Los individuos se encuentran diseminados en una superficie relativamente extensa en grupos conformados por miles.** Esta es una de las diferencias con los dilemas sociales de pequeña escala, en los que el número de individuos del grupo no son más de diez y se encuentran fuertemente localizados alrededor del recurso. Esta característica hace posible la comunicación cara a cara y seguir acuerdos basados en confianza y reciprocidad. Los mecanismos de cooperación aplicados a los dilemas sociales de gran escala deben promover la cooperación en grupos de miles de individuos no localizados.
- **No puede asumirse homogeneidad en las características de los individuos que participan de la situación.** En este tipo de dilemas sociales, los individuos tiene diversidad de intereses. En los dilemas de pequeña escala, la homogeneidad de intereses y características facilita alcanzar acuerdos para limitar el acceso al recurso compartido. Los mecanismos de cooperación deben ser efectivos en la promoción de la cooperación en grupos de miles con intereses diversos.
- **La comunicación cara a cara no es el principal modo de comunicación entre los individuos.** La comunicación cara a cara permite construir confianza en la cooperación de los demás con base en su historia de cooperación en los dilemas de pequeña escala. A pesar que en los dilemas de gran escala no es posible asumir la comunicación cara a cara, si es posible que los grupos de miles de individuos construyan confianza basada en su historia de cooperación.
- **Los efectos de la cooperación de los demás, se conocen tiempo después y de forma distorsionada.** Mientras que en los dilemas de pequeña escala se hace evidente la situación de interdependencia en la que los individuos con sus decisiones afectan la disponibilidad del recurso, en los dilemas de gran escala las consecuencias de las acciones del grupo pueden manifestarse mucho tiempo después. Esta es una diferencia fundamental entre los dilemas de pequeña y de gran escala que debe ser considerada en la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de gran escala.
- **Los individuos tienen una percepción sobre los efectos que el desertar tiene sobre la disponibilidad del recurso común agotable.** En un dilema de pequeña escala, gracias a la configuración de la situación, es sencillo reconocer los efectos de las propias acciones no cooperativas tienen sobre la disponibilidad del recurso. En los

dilemas de gran escala es posible que los individuos puedan reconocer y valorar los propios comportamientos y sus consecuencias sobre la disponibilidad del recurso.

Como ejemplos de dilemas sociales de recurso agotable de gran escala se pueden mencionar las crisis de electricidad (Markóczy, 2003, 2007; Goldman et al., 2002), la congestión vehicular (Biel et al., 1999), la congestión en internet (Huberman & Lukose, 1997), la contaminación atmosférica, las emisiones de gases de efecto invernadero y sus consecuencias en el cambio climático y el agotamiento de la capa de Ozono (Buck, 1998) entre otros.

Una primera forma de asumir el estudio de los dilemas sociales de gran escala ha sido el cuestionar la posibilidad de extensión y aplicabilidad del mecanismo de cooperación basado en confianza desarrollado para los dilemas de pequeña escala. La pregunta acerca de la capacidad de expansión de la teoría cooperativa de pequeña escala para la explicación de dilemas sociales de gran escala es una pregunta que permanece abierta (Biel et al., 1999; McGinnis & Ostrom, 2008). La revisión ofrecida permite identificar las características que diferencian los dos tipos de dilemas y supone requisitos y criterios que deben ser enfrentados por los mecanismos de cooperación aplicables en los dilemas sociales de gran escala. Se ha explicado como los dilemas sociales de gran escala se definen por la interacción de un gran número de personas, que poseen características diferentes (Biel et al., 1999; Ostrom et al., 1999). La efectividad del mecanismo de cooperación basado en confianza ha sido comprobada y evaluada en dilemas sociales de recurso agotable de pequeña escala, pero no se ha diseñado un esquema para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación aplicados en dilemas sociales de gran escala.

En cuanto a los métodos y herramientas para estudiar los dilemas sociales de gran escala, se pueden mencionar la investigación experimental (Biel et al., 1999). Esta herramienta ha sido cuestionada por la validez externa de la investigación realizada (Nemeth, 1972), así como se ha defendido el realismo experimental de este tipo de estudios (Van Lange, 1992). No obstante, la complejidad y los altos costos no facilitan el estudio de los dilemas sociales de gran escala mediante experimentación.

La Tabla **2-5** de la página 28 presenta una síntesis de las características entre dilemas sociales de pequeña y de gran escala.

Tipo	Pequeña escala	Gran escala
Contexto	Campo y laboratorio	difícil de localizar
Tamaño grupo	menor 10	más de 10
Características grupo	homogéneas	heterogéneas
Magnitud retardo	pocos minutos	alta, días, meses o años.
Calidad realimentación	alta	baja
Modelo racionalidad	acotado	acotado
Encuentros	uno, finitos	infinitos
Comunicación	frente a frente	mediada medios ma- sivos

Tabla 2-5: Caracterización de los dilemas sociales de pequeña y gran escala (Ostrom, 2000a; Markóczy, 2003)

2.6. Discusión

En este capítulo se ha realizado una presentación de los antecedentes sobre la evaluación de la efectividad de mecanismos cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. Si bien la efectividad del mecanismo de cooperación basado en confianza (Ostrom, 2000a) ha sido evaluada en condiciones de campo (Cardenas & Ostrom, 2004) y de laboratorio (Ostrom et al., 1994) para las condiciones específicas de dilemas sociales de recurso agotable de pequeña escala, no se ha encontrado referencias sobre evaluación de la efectividad en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala en la literatura revisada.

Se ha argumentado sobre las condiciones particulares en la que operan los mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala y sus diferencias con los de pequeña escala. El mecanismo de cooperación por confianza propuesto por Ostrom (2000a) requiere de condiciones específicas, tales como la comunicación cara a cara, un número indeterminado de encuentros, la homogeneidad de características de los individuos y un grupo pequeño con menos de diez miembros. Estas condiciones no se cumplen en los dilemas sociales de gran escala. No se puede asumir la comunicación cara a cara, al menos no en la misma forma como ocurre en los dilemas de pequeña escala. Las características son heterogéneas y el número de individuos es superior a diez. Adicionalmente, el mecanismo de cooperación por confianza de Ostrom presenta dependencia a las condiciones iniciales. Si el valor de la confianza inicial de cooperación no es suficiente, podría no aparecer la cooperación.

En este marco anteriormente bosquejado aparece la posibilidad de integrar como unidad mecanismos de cooperación, que articulados con una versión de gran escala para el mecanismo de cooperación por confianza, permitan el diseño de un constructo para la evaluación de la efectividad de dichos mecanismos en la promoción de la cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.

El próximo capítulo presenta la pregunta de investigación, la hipótesis y los criterios generales de evaluación derivados.

3 Pregunta, Objetivos, Hipótesis y Criterios

La evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de gran escala supone dificultades relacionadas con las características de dichas situaciones. Se ha demostrado mediante experimentación en laboratorio y en campo que el mecanismo de cooperación basado en confianza es efectivo para promover la cooperación en los dilemas sociales de pequeña escala. Este capítulo presentará la pregunta de investigación en concordancia con los antecedentes presentados en el capítulo anterior. Adicionalmente se presentan los criterios derivados de los antecedentes y las condiciones de los dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.

3.1. Pregunta de Investigación

Los recursos comunes agotables, gracias a su grado sustractibilidad y de exclusión, son susceptibles de dilemas sociales. Los dilemas sociales se constituyen por el conflicto entre la racionalidad individual y el bienestar colectivo en situaciones de interdependencia. Si el uso de un recurso común agotable supera su nivel sostenible, y si los individuos eligen apropiarse el recurso siguiendo los lineamientos del modelo de elección racional, se producirá el peor de los posibles resultados. Se reducirá su utilidad individual y se reducirá el bienestar general. La situación es problemática debido a que existe al menos una mejor salida posible, un resultado del tipo Pareto Superior en el que se mejora tanto el producido para todos los individuos, como el bienestar general. El desafío para los mecanismos diseñados para enfrentar este tipo de situaciones consiste en promover efectivamente la cooperación para alcanzar el dividendo de la cooperación.

Los mecanismos diseñados con base en la teoría de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de pequeña escala son efectivos para promover la cooperación en experimentos realizados en laboratorio y en el campo, en condiciones específicas. Si se permite la comunicación cara a cara y si los grupos conocen instantáneamente el estado del recurso y los efectos de las acciones de los demás sobre su disponibilidad, la cooperación aparece y se sostiene.

Sin embargo, es más difícil evaluar la efectividad de mecanismos diseñados con base en la teoría de dilemas sociales de pequeña escala en dilemas sociales de gran escala. Las condiciones de los dilemas de gran escala son sustancialmente diferentes. El diseño y la evaluación de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de gran escala debe considerar y responder

a las condiciones específicas de la situación. La posibilidad de extender los mecanismos de cooperación de dilemas de pequeña escala a los de gran escala es aún una pregunta abierta. Los mecanismos de cooperación en dilemas de gran escala deben considerar que no es posible suponer que la comunicación cara a cara va a permitir llegar a acuerdos sobre la cooperación de la misma manera como ocurre en los dilemas de pequeña escala. Los individuos participantes de un dilema social de recurso de gran escala no se encuentran fuertemente localizados alrededor del recurso. Ellos pueden encontrarse dispersos en grandes áreas geográficas. No es posible asumir que los individuos tengan una realimentación instantánea sobre el estado del recurso y sobre los efectos que las acciones del grupo tiene sobre su disponibilidad. Todo lo anterior supone asumir el diseño de una versión del mecanismo de cooperación basado en confianza de pequeña escala adaptada a las condiciones de los dilemas de gran escala, así como el incluir nuevos mecanismos para enfrentar condiciones adversas para la promoción y el sostenimiento de la cooperación.

Los elementos que se consideran en la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso para suponerse efectivo, son los siguientes:

- **Se ofrece realimentación de información sobre el estado del recurso común y las acciones del grupo y sus efectos sobre el recurso y su disponibilidad.** La cooperación requiere información sobre el estado del recurso y sobre los efectos que las acciones del grupo tiene sobre la disponibilidad del recurso. Los mecanismos de cooperación a evaluar suponen la disponibilidad de información sobre el estado del recurso y sobre los resultados de las acciones del grupo sobre la disponibilidad del recurso.
- **La complejidad dinámica que introducen los retardos en medir y reconocer el estado del recurso y las acciones del grupo y sus efectos sobre la disponibilidad del recurso, así como los retardos inherentes a la propia dinámica del recurso y de su apropiación.** La cooperación ocurre porque se dispone de información sobre el estado del recurso y los efectos de las acciones de los demás. Si las condiciones dinámicas de la situación afectan la calidad de la realimentación sobre el estado del recurso y sobre los efectos de las acciones del grupo, los mecanismos para ser efectivos deberán ofrecer medidas para enfrentar el deterioro de la cooperación debido a tales condiciones.
- **La percepción, entendida como el tiempo que requiere el grupo para asimilar cambios en las tendencias de las variables monitoreadas sobre el estado del recurso y los efectos de las acciones del grupo sobre su disponibilidad.** Los grupos requieren tiempo para reconocer cambios en las tendencias de la información sobre el estado del recurso y la cooperación del grupo. Los mecanismos deben ofrecer medidas para enfrentar posibles deterioros de la cooperación por los retardos inherentes a la percepción.

- **La heterogeneidad de las características de los individuos y su dispersión geográfica.** Los dilemas de gran escala son experimentados por grupos dispersos de miles de individuos con características heterogéneas. Los mecanismos de cooperación, para ser efectivos en los dilemas sociales de gran escala deben ofrecer medidas para afectar el procesamiento promedio de los individuos.
- **Las condiciones iniciales de la confianza no favorables para la cooperación.** En los dilemas de gran escala no es posible asumir unas condiciones previas de confianza inicial de cooperación. Esto supone que los mecanismos de cooperación efectivos en dilemas sociales de gran escala deben ofrecer estrategias para superar condiciones no favorables de confianza de cooperación inicial.

Los anteriores elementos son enfrentados mediante los siguientes mecanismos de cooperación:

- Mecanismo de Cooperación por Confianza, basado en la teoría de cooperación en dilemas sociales de pequeña escala. Se asume una versión adaptada a las condiciones de comunicación de los dilemas sociales de gran escala.
- Mecanismo de Cooperación por Percepción de Daño, que permite promover la cooperación a pesar que las condiciones iniciales de la confianza no sean suficientes para promover cooperación. Este mecanismo permite enfrentar un deterioro en la disponibilidad del recurso a pesar de condiciones no favorables para la cooperación, como una confianza inicial insuficiente para sostener la cooperación.
- Mecanismo de Cooperación como Norma, que permite la posibilidad de adoptar la cooperación como norma en el largo plazo, como medio para hacer sostenible la cooperación y enfrentar la volatilidad de la cooperación basada en confianza.

El constructo y su modelamiento suponen representar los dilemas sociales de gran escala y las condiciones en las que dichos dilemas ocurren, por lo que en el modelamiento de dichos dilemas se considera:

- Un mecanismo de Tentación de Desertar, que representa la tendencia a los individuos en los grupos a aprovecharse de la cooperación alcanzada por el grupo.
- Condiciones de complejidad dinámica, como retardos de información entre las acciones del grupo y el reconocimiento de dichas acciones.
- Un mecanismo de aprendizaje de la cooperación como norma, que representa el proceso por medio del cual los grupos pueden adoptar normas de cooperación. Este mecanismo permite hacer sostenible la cooperación en el largo plazo.

El mecanismo de cooperación basado en confianza no considera explícitamente los mecanismos de percepción de daño y cooperación como norma, por lo que serán integrados para las situaciones de gran escala para enfrentar como unidad las dificultades que el mecanismo basado en confianza supone en los dilemas de gran escala. La posibilidad de percibir daño por la reducción en la disponibilidad del recurso se considera como un mecanismo que permite enfrentar condiciones iniciales de la confianza inadecuadas. Los individuos pueden cambiar sus decisiones con base en información sobre los efectos negativos que sus comportamientos puedan tener sobre un bien valioso. El mecanismo de percepción de daño se integra con la posibilidad de aprendizaje, que permitiría asumir la cooperación como norma en el largo plazo. Este mecanismo hace posible que el grupo pueda aprender una norma de cooperación luego de varios encuentros de cooperación basados en confianza. Un mecanismo efectivo de cooperación debe no sólo promover la cooperación, sino que mantener la cooperación durante el tiempo. La cooperación basada en confianza es volátil y susceptible de ser erosionada por escaladas de deserción y desconfianza. Así mismo, existe la posibilidad que si la confianza de cooperación en el grupo es cero o insuficiente, no se propiciará una cooperación sostenible. De esta forma se requiere de mecanismos efectivos para enfrentar el problema de la dependencia a las condiciones iniciales y la volatilidad de la cooperación basada en confianza. En síntesis, la evaluación de mecanismos efectivos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala supone incluir al menos los mecanismos de cooperación por percepción de daño y cooperación como norma.

La evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala supone considerar las condiciones específicas en las que operan y que fueron descritas en el Capítulo anterior. Así, los mecanismos deben considerar:

- **Esquemas para la difusión de la información sobre el estado del recurso común y sobre las acciones de los individuos y los efectos de dichas sobre su disponibilidad, que permitan reemplazar al menos parcialmente la comunicación cara a cara.** Los mecanismos de cooperación efectivos ofrecen información sobre el estado del recurso y la cooperación del grupo.
- **El efecto que la complejidad dinámica tendrá sobre la información necesaria para decidir cooperar.** Los mecanismos de cooperación, aplicados en los dilemas de gran escala, operan en condiciones de complejidad dinámica, puesto que los retardos, la realimentación imperfecta y la inercia afectan la calidad de la información sobre el estado del recurso y los efectos que la cooperación del grupo tiene sobre los integrantes del grupo. Por esto se evalúa si los mecanismos son efectivos para enfrentar las condiciones de complejidad dinámica que caracterizan a los dilemas sociales.
- **Un mecanismo de percepción de daño por agotamiento del recurso puedan influir la cooperación.** Este mecanismo permite enfrentar condiciones insuficientes de confianza de cooperación y escaladas de desconfianza que puedan afectar la disponibilidad del recurso.

- **Un mecanismo que permita adoptar la cooperación como norma en el largo plazo.** Luego de periodos de cooperación por confianza y de cooperación por percepción de daño, los individuos pueden aprender a cooperar, asumiendo la cooperación como norma. Este mecanismo permite mantener la cooperación en el largo plazo.

La evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala supone contar con un constructo que articule como unidad los distintos mecanismos explicados: la cooperación basada en confianza, la cooperación como norma, la percepción de daño por deterioro de la disponibilidad del recurso y la tentación de desertar. Este constructo debe considerar las características en las que ocurren los dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.

De esta forma, la pregunta de investigación propuesta es la siguiente:

¿ Es posible diseñar al menos un constructo que permita evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación aplicables en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala ?

La investigación consistió en diseñar este constructo con el objetivo de evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación aplicados en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. El diseño del constructo y la evaluación de los mecanismos de cooperación seleccionados, se realizó luego de examinar herramientas aplicables a los dilemas sociales de gran escala y a sus características específicas.

En el próximo Capítulo de Métodos y Herramientas se realizará una evaluación de la capacidad de las distintas herramientas de modelamiento para estudiar las siguientes características que se suponen para el estudio de los dilemas sociales de gran escala:

- **Posibilidad para representar procesos de realimentación de información.** La cooperación ocurre gracias a la realimentación de la información sobre el estado del recurso y los efectos que sobre el estado del recurso tiene las acciones del grupo. La herramienta de modelamiento seleccionada debe permitir la representación de la realimentación.
- **Posibilidad para representar retardos de información y percepción de cambios en las tendencias de la información.** Los dilemas sociales de gran escala ofrecen información retardada y distorsionada sobre el estado del recurso y los efectos de la cooperación del grupo sobre la disponibilidad del recurso. La herramienta de modelamiento debe permitir representar retardos de información y el proceso de ajuste de la percepción luego de un cambio en la información.
- **Posibilidad de representar procesamiento promedio de información y toma de decisiones en condiciones dinámicas.** La decisión sobre cooperar en un dilema social de gran escala es un proceso dinámico. La herramienta de modelamiento debe permitir modelar los condicionantes más importantes del proceso dinámico de toma de decisiones que define la cooperación en dilemas de gran escala.

- **Posibilidad de representar racionalidad acotada.** La herramienta seleccionada debe permitir representar reglas heurísticas usadas por los individuos para enfrentar las condiciones de complejidad dinámica que caracterizan el proceso de toma de decisión en dilemas sociales de gran escala.

La evaluación de la efectividad de los mecanismos de cooperación y el diseño del constructo de evaluación requieren una herramienta que permita la representación de las características del proceso de decisión de cooperación en dilemas sociales de gran escala. Los mecanismos de cooperación a evaluar poseen como micro-estructura ciclos de realimentación. La construcción de confianza de cooperación puede entenderse como un proceso de realimentación de información. Las condiciones en las que ocurren los dilemas de gran escala suponen retardos y procesos de percepción sobre el estado del recurso y los efectos de la cooperación de los demás sobre la disponibilidad del recurso. Se requiere representar el procesamiento promedio de información incompleta sobre el estado del recurso y los efectos de la cooperación del grupo sobre su disponibilidad. La situación supone un proceso de toma de decisiones en condiciones dinámicas, por lo que su representación requiere asumir la complejidad dinámica que condiciona este tipo de situaciones.

3.2. Criterios de Efectividad para Mecanismos de Cooperación

A continuación se presentan los criterios de efectividad para los mecanismos de cooperación aplicables a dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. La efectividad de los mecanismos de cooperación será asumida como la capacidad del mecanismo o mecanismos para promover y mantener la cooperación. Específicamente, para la evaluación de la efectividad de los mecanismos, el constructo debe permitir responder las siguientes preguntas acerca del desempeño de los mecanismos:

- **¿ Permiten superar condiciones iniciales de la confianza no suficientemente consistentes como para generar cooperación basada en confianza?** Los mecanismos efectivos deben superar condiciones iniciales no favorables de la confianza de cooperación.
- **¿ Son capaces de generar y mantener la cooperación en forma sostenible?** Los mecanismos deben sostener la cooperación en el largo plazo para ser efectivos, por lo que deben contar con esquemas para enfrentar condiciones iniciales no favorables o escaladas súbitas de desconfianza que puedan deteriorar la disponibilidad del recurso.
- **¿ Permite mejorar la realimentación del estado del recurso y de los efectos de las acciones del grupo sobre la disponibilidad del recurso?** Los mecanismos

mejoran su efectividad en la promoción y sostenimiento de la cooperación si ofrecen información sobre el estado del recurso y sobre los efectos que la cooperación del grupo tiene sobre la disponibilidad del recurso.

- **¿ Son capaces de generar cooperación como norma de largo plazo?** Los mecanismos efectivos consideran procesos para sostener la cooperación en el largo plazo. Sin dichos procesos, la cooperación no pasa de ser una regla contingente para enfrentar una crisis pasajera. Para mantener sostenible la cooperación en el largo plazo, la cooperación debe ser adoptada por el grupo como un norma.
- **¿ Son capaces de enfrentar las escaladas de tentación de desertar?** Los incentivos para desertar y no cooperar pueden variar su intensidad durante un dilema social, por lo que los mecanismos efectivos de promoción de la cooperación deben asegurar que los mecanismos enfrentarán este tipo de escaladas.
- **¿ Permiten la percepción de daño por deterioro del recurso asegurar la cooperación en condiciones iniciales de cooperación no favorables?** Los mecanismos efectivos de cooperación deben enfrentar condiciones iniciales no adecuadas.

Las condiciones específicas de cada proceso de cooperación en dilemas sociales de gran escala suponen considerar esquemas para evaluación de la efectividad de la cooperación específicos para cada situación particular. Puesto que los mecanismos de cooperación son aplicados en condiciones de gran dinámica, complejidad, retardos, relaciones de carácter no lineal y dependencia a las condiciones iniciales es pertinente asumir su modelamiento con una herramienta que cubra las características presentadas.

Con base en lo anterior, los objetivos que planteados son los siguientes:

3.3. Objetivo General

Proponer un constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala y evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación bajo condiciones diversas.

3.4. Objetivos Específicos

- Determinar las condiciones que debe cumplir el constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.
- Diseñar el constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación aplicables en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala con fundamento en modelos.

- Evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación aplicables a casos de dilema social de recurso agotable de gran escala mediante el constructo de evaluación de efectividad diseñado mediante modelos y simulación.
- Evaluar el constructo de evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de gran escala diseñado como hipótesis dinámica mediante pruebas de simulación.

3.5. Hipótesis general

La argumentación presentada supone la posibilidad de diseñar un constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. De esta forma, la hipótesis general propuesta para esta investigación es la siguiente:

Es posible diseñar al menos un constructo o esquema que permita evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación aplicables en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala

En donde el término efectividad hace referencia a la capacidad del mecanismo para promover y sostener la cooperación alcanzada.

Diseñar el constructo de evaluación de efectividad para mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala implica representar tanto el procesamiento promedio de la información disponible que realizan los individuos, con el que se determina la cantidad de esfuerzo de apropiación, así como la complejidad dinámica que lo afecta, consecuencia del condicionamiento que opera sobre la información y su tratamiento debido a la configuración institucional y al efecto contra intuitivo que opera en el sistema al ser aplicadas reglas de decisión relativamente sencillas, coherentes con los principios de racionalidad limitada.

Esta hipótesis supone dar cuenta de la complejidad dinámica que caracteriza el procesamiento de la información que los individuos realizan en el momento de decidir cuánto apropiar de un recurso común agotable (Serman & Sweeney, 2002; Serman, 2000, 1989, 1987; Moxnes, 2000, 1998; Ostrom & Walker, 2005; Cardenas & Ostrom, 2004). Desde este marco de supuestos, se derivan a su vez los objetivos persigue esta investigación.

3.6. Argumentos que se ofrecen como soporte para la hipótesis general

Los siguientes argumentos ofrecen soporte y caracterizan la hipótesis general planteada:

El proceso de toma de decisiones representado en el constructo a diseñar y en los modelos a desarrollar asumen reglas de decisión promedio que son alimentadas

por información condicionada por complejidad dinámica y por las características físicas e institucionales de la situación. Además de la representación física e institucional de los fenómenos, para abordar su explicación es importante incluir la representación del proceso de toma de decisiones.

Este proceso de toma de decisiones se representa por la aplicación de reglas de decisión sobre la información disponible para producir las decisiones (Sterman, 2000). Las reglas de decisión determinan el comportamiento de los individuos en el sistema permitiendo así determinar la forma en que se espera que ellos respondan en promedio a las diferentes situaciones de decisión de cooperación. Las reglas de decisión hacen referencia a las políticas y protocolos que los individuos aplican y que los describen y determinan como tomadores de decisiones. Las reglas de decisión explicitan la manera como se procesa la información para producir las decisiones (Janssen & Ostrom, 2006b; Sterman, 2000; Forrester, 1961, 1971).

La complejidad dinámica afecta el proceso de decisión, proceso que asume principios de racionalidad limitada. Se asume que la situación que enfrentan los individuos condiciona en gran medida el procesamiento de la información para la toma de decisiones que ellos realizan, asumiendo el proceso de toma de decisión dinámica.

Se considera que los seres humanos poseen una racionalidad limitada en la medida que sus capacidades cognitivas se ven superadas por la complejidad de las situaciones a las que se enfrentan. La capacidad de la mente humana para formular y resolver problemas complejos es menor con respecto a la complejidad de la problemática a abordar. La toma de decisiones óptima es difícil o incluso imposible para los individuos aún en situaciones relativamente simples.

La percepción de los individuos es selectiva y su conocimiento del mundo real es incompleto. Los modelos mentales, que se considera que determinan las reglas de decisión son simplificados e imperfectos. Nuestras capacidades de inferencia y deducción son débiles y falibles. Se considera que los individuos poseen capacidades limitadas de procesamiento de información y que dicha capacidad a su vez termina siendo afectada por la complejidad de la situación a la que se enfrentan.

En general, la racionalidad limitada y la percepción limitada de la información, junto con las características físicas e institucionales de la situación, determinan la complejidad dinámica que afecta el procesamiento de la información que los individuos realizan para determinar el nivel de apropiación en un común (Cronin et al., 2009; Simon, 1979, 1959, 1955; Sweeney & Sterman, 2007; Sterman et al., 2007; Sterman, 2000, 1989; Sterman & Sweeney, 2002).

El constructo de evaluación permite evaluar como unidad los mecanismos de cooperación suponiendo un proceso de toma de decisiones promedio, principios de racionalidad limitada y complejidad dinámica. Se sugiere que dichos elementos, articulados como unidad dinámico sistémica, pueden dar cuenta la variación de la apropiación en dilemas sociales de recurso de gran escala.

Con relación a la información se destaca la información relacionada con los incentivos, ya que se considera que ellos juegan un papel importante en la decisión tomada. Se sugiere, desde

la teoría, que la cooperación puede fomentarse siempre y cuando se definan los incentivos adecuados (Cardenas, 2000; Ostrom, 1990; Olson, 1971). No obstante, los incentivos algunas veces favorecen y otras desfavorecen la aparición y el sostenimiento de la cooperación (Ostrom et al., 1994). Se sugiere que existe un acuerdo con relación a que la información sobre los incentivos hace parte de un mecanismo que explique la cooperación (Castillo & Saysel, 2005). Luego de la presentación de la pregunta, hipótesis y objetivos, se presenta a continuación los criterios a aplicar para la evaluación de la investigación. Se explicarán los criterios para la sección de casos, los criterios metódicos, los criterios de evaluación de la efectividad para mecanismos de cooperación en dilemas sociales de gran escala y los criterios de evaluación y de vigencia de la hipótesis.

3.7. Criterios para Selección de Caso

A continuación se describen los criterios de selección que permiten definir si una situación puede abordarse como un dilema social de gran escala. La evaluación de la efectividad de los mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala supone disponer de criterios que permitan evaluar si un caso efectivamente cumple con las condiciones para ser evaluado con el constructo diseñado. La evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala supone cubrir los requerimientos descritos en la Tabla **3-1** de la página 40, en la que se ilustra cada uno de los requerimientos, los referentes de la literatura que soportan el requerimiento.

Item	Elementos	Referentes Literatura
Dilema Social		
	Acción de racionalidad individual	(Von Neumann & Morgenstern, 1947)
	Objetivo Bienestar Colectivo	(Kollock, 1998)
Bien Económico		
	Recurso Común Agotable	(Ostrom, 1990)
	Uso por encima del nivel sostenible	(Steins & Edwards, 1999; Ford, 1999)
	Alta Sustractibilidad	(Ostrom, 1990)
	Dificultad de Exclusión	(Ostrom, 1990)
Grupo		
	Número de individuos mayor a 10	(Biel et al., 1999)
	Características Heterogéneas	(Biel et al., 1999)
	No hay comunicación cara a cara	(Biel et al., 1999)
	Existe realimentación	(Biel et al., 1999)
	Retardos considerables	(Serman, 1989)
	Dificultades de Percepción	(Serman, 1989)
	Encuentros Indefinidos	(Walker & Ostrom, 2007)
Intervención		
	Percepción de Daño	(Schelling, 1958)
	Posibilidad restricción apropiación	(Schelling, 1958)
Aprendizaje	Cooperación de largo plazo	(Biel et al., 1999)

Tabla 3-1: Requerimientos de caso para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala

En términos generales, primero se considera si existe dilema social y si dicho dilema afecta a un recurso común agotable. Esto implica identificar las acciones de racionalidad individual y las que persiguen el bienestar colectivo que se encuentran en conflicto y definen el dilema social. El recurso agotable debe estar siendo apropiado por encima de su nivel de uso sostenible. El recurso debe ofrecer alta sustractibilidad y dificultad para la exclusión de apropiadores. Con respecto al grupo de individuos y sus características, los grupos están conformados por miles de individuos que poseen características heterogéneas. No se considera como indispensable la comunicación cara a cara pues se asume la existencia de procesos que permiten construir confianza de cooperación (Raymond, 2006; Cook et al., 2007). Se revisa si existe realimentación del estado del recurso y de las acciones de los demás, aunque retardada. Estos retardos suponen dificultades para el ajuste de la percepción a causa de cambios en las tendencias de la información sobre el estado del recurso y sobre las acciones del grupo sobre el recurso. Con respecto a los mecanismos de cooperación aplicados, se verifica la existencia de los mecanismos basados en confianza, en percepción de daño por deterioro del recurso y por cooperación como norma. El mecanismo de percepción de daño puede estar acompañado por medidas de restricción de la apropiación. La justificación de estos criterios se ha discutido previamente en los Capítulos 2 y 3.

Los criterios para evaluar si una situación puede ser asumida como un dilema social de recurso común agotable de gran escala son los siguientes:

- Se presenta un conflicto entre la racionalidad individual y el bienestar colectivo.
- La situación de interdependencia se define alrededor de un recurso común agotable.
- El número de individuos que enfrentan el dilema es superior a 10. Sus características son heterogéneas.
- El recurso es altamente sustraible, su uso sobrepasa el nivel sostenible y es muy costoso o no es posible impedir el acceso a usuarios potenciales.
- No puede asumirse homogeneidad en las características de los individuos que participan de la situación.
- No se considera la comunicación cara a cara como el principal modo de comunicación entre los individuos.
- Los efectos de la cooperación de los demás, se conocen tiempo después aunque de forma distorsionada.
- Los individuos tienen una percepción sobre los efectos que el desertar tiene sobre la disponibilidad del recurso común agotable.

3.8. Argumentos para asumir las crisis de electricidad como dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.

Dos de los casos históricos evaluados abordan crisis de electricidad, por lo que se examina la posibilidad de asumir las crisis de electricidad como dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. Se revisarán las características de las crisis de electricidad que permiten asumirlas como dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.

En las crisis de electricidad pueden ocurrir dilemas sociales que pueden ser superados mediante mecanismos de cooperación, que en algunas ocasiones han permitido alcanzar grandes reducciones de la cantidad demandada de energía. La crisis ocurrida en California en 2001 se han asumido como una dilema social de gran escala (Markóczy, 2003). Markóczy (2007) exploró los motivos que permitieron la aparición un comportamiento cooperativo entre consumidores de energía durante la crisis de California 2001. Dicho trabajo sugiere que el deseo de acrecentar el beneficio del colectivo (Utilitarismo) y motivos relacionados con la búsqueda de justicia explican los ahorros extraordinarios logrados por los usuarios de la electricidad en California en el verano de 2001 (Markóczy, 2007).

La crisis de electricidad de California 2001 puede ser asumida como un dilema social porque las empresas no estaban autorizadas a subir el precio de la energía por encima de cierto nivel (Goldman et al., 2002; Markóczy, 2003). Como consecuencia de esto, los precios no ofrecían los suficientes incentivos para que la demanda se redujera por debajo del nivel de la capacidad de oferta (Markóczy, 2003). De esta forma, la demanda tenía tal nivel que fue necesario programar racionamientos (Goldman et al., 2002). Al momento de la crisis, California no estaba en condiciones de incrementar la oferta de electricidad, así que la única alternativa para evitar los racionamientos y apagones (beneficio colectivo a obtener) era solicitar la colaboración voluntaria de los usuarios para reducir su consumo de energía más allá de los beneficios directos e individuales que les pudiera reportar dicho comportamiento (Markóczy, 2003). Según Markóczy, esto supone que la crisis de la electricidad se pueden ser consideradas como un dilema social de gran escala (Markóczy, 2003).

Se asumió que una crisis de racionamiento de electricidad podría estudiarse como un dilema social de recurso común si presenta las siguientes características:

- Se presenta agotamiento (Markóczy, 2003; Van Vugt, 2002, 1998; Stern & Kirkpatrick, 1977).
- El precio no ofrece los incentivos suficientes para que la demanda se reduzca en el corto plazo. La demanda de electricidad es altamente in-elástica con respecto al precio en el corto plazo (Borenstein, 2002; Borenstein et al., 1999; Donatos & Mergos, 1991).
- La electricidad apropiada por un usuario ya no se encuentra disponible para que la

apropie otro (De Kwaadsteniet et al., 2006; Biel et al., 1999; Kollock, 1998; Yamagishi, 1988).

- Existe un dilema social, en donde las racionalidades individual y colectiva entran en conflicto (De Kwaadsteniet et al., 2006; Yamagishi, 1988). Si todos limitan su apropiación de electricidad, se evitarían los apagones y los racionamientos (Markóczy, 2003; Goldman et al., 2002). Pero los individuos pueden asumir una racionalidad individualista consistente con el modelo de elección racional en donde prefieran beneficios en el corto sobre el largo plazo, al considerar que si un individuo reduce su consumo y los demás no lo hacen, no sólo no habrá disponibilidad de recurso para ninguno, sino que perderá la utilidad que hubiera podido percibir de haber mantenido su nivel de apropiación (Markóczy, 2003; Goldman et al., 2002).

En cada uno de los casos abordados se presentará una evaluación del cumplimiento de los criterios de caso propuestos.

3.9. Criterios metodológicos

El diseño del constructo para evaluar la efectividad de dilemas sociales de recurso agotable de gran escala supone la selección de una herramienta de modelamiento que con sus características ofrezca cubrimiento a los requerimientos de modelamiento. Se ha argumentado que la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala supone cumplir con las condiciones que se explican en la Tabla 3-2 de la página 44. En términos generales, la herramienta de modelamiento debe permitir representar realimentación de la información sobre el estado del recurso y sobre el resultado de las acciones cooperativas del grupo que afecten su disponibilidad, los retardos en la disponibilidad de dicha información, así como la representación del proceso de percepción de cambios en las tendencias de la información bajo condiciones de complejidad dinámica. La herramienta de modelación seleccionada debe permitir construir representaciones que den cuenta de las variaciones que sobre el recurso común como consecuencia de la cooperación promovida por los mecanismos. En el Capítulo 4 se evalúan las herramientas disponibles y se selecciona y justifica la mejor herramienta para abordar el problema de diseñar el constructo para la evaluación de la efectividad en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.

Requerimiento Herramienta	Justificación
Realimentación y circularidad	La cooperación por confianza, por norma, por percepción de daño requieren de la realimentación.
Retardos y Percepción	La información sobre el estado del recurso y la acción cooperativa de los demás se ofrece con retardos. La percepción no cambia instantáneamente luego de cambios en las tendencias de la información.
Representación comportamiento agregado	Los mecanismos a evaluar deben afectar el comportamiento promedio de los individuos.
Capacidad explicativa	El constructo debe permitir dar cuenta sobre el por qué del resultado alcanzado por los mecanismos.
Representación proceso de toma de decisiones dinámicas en complejidad dinámica	El proceso de decisión de cooperación es dinámico y este proceso en los dilemas de gran escala está condicionado por la complejidad dinámica.

Tabla 3-2: Resumen Criterios Metodológicos

3.10. Criterios para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala

El diseño del constructo tiene por objeto la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación utilizados en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. Esta efectividad se asume como capacidad para promover y sostener la cooperación. La Tabla **3-3** de la página 46 presenta los criterios de evaluación de efectividad propuestos con base en la revisión de la literatura (Véase Capítulo 2) y el planteamiento del problema, los objetivos y la hipótesis general abordados al comienzo de este Capítulo.

Aspecto	Criterio
Recurso	
	¿Se alcanza un nivel de uso sostenible del recurso?
Cooperación	
	¿Es sostenible?
	¿Tiende hacia un Pareto Superior?
Aprendizaje	
	¿El mecanismo fomenta el aprendizaje de cooperación como norma?
Tentación Desertar	
	¿Controla la Tentación de Desertar?
Percepción de Daño	
	¿La percepción de daño produce cooperación?
Confianza	
	¿Se fomenta cooperación a pesar de las condiciones iniciales de la confianza de cooperación?
Complejidad dinámica	
	¿El mecanismo permite enfrentar la complejidad dinámica?

Tabla 3-3: Resumen criterios de efectividad propuestos para evaluar mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala

Item	Criterio
Capacidad explicativa	¿ Da cuenta de la variación de la cooperación?
Refutación	¿ Supera las pruebas de refutación ?
Estadísticas	¿ Es aceptable el ajuste a los datos históricos ?
Vigencia	¿ La hipótesis se mantiene vigente luego de las pruebas aplicadas?

Tabla 3-4: Resumen criterios generales de evaluación y vigencia de la hipótesis dinámica

3.11. Criterios Evaluación y Vigencia de la Hipótesis Dinámica y la Hipótesis General

El diseño del constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación supone la utilización de los principios de conjetura y refutación propuestos por Popper (2002). El constructo de evaluación de la efectividad de mecanismos supone una conjetura, una teoría de trabajo sobre la forma como se asume deberían funcionar mecanismos efectivos en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. Se define lo que sería el comportamiento esperado de la cooperación luego de aplicar mecanismos de cooperación. Luego las simulaciones tratan de refutar la conjetura ofrecida por la hipótesis dinámica. Las pruebas persiguen rechazar la hipótesis. Luego de aplicadas las pruebas se determinará si la hipótesis sigue o no sigue vigente, es decir, se establece si la conjetura o hipótesis ha superado las pruebas aplicadas para refutarla. Se puede afirmar, si la hipótesis supera las pruebas de refutación, que esta se ha mantenido vigente. Un caso en el que los mecanismos de cooperación hubieran permitido superar un dilema social de recurso de gran escala supone una oportunidad para realizar pruebas de simulación que intenten falsear la hipótesis. No obstante, si ocurre que la hipótesis no supera una prueba de falsación, es posible aún explicar como anomalía lo ocurrido, mediante una conjetura auxiliar que explique la anomalía.

La Tabla 3-4 de la página 47 presenta los criterios propuestos para la evaluación y vigencia de la hipótesis dinámica.

La Tabla 3-5 de la página 48 presenta los criterios propuestos para la evaluación y vigencia de la hipótesis general.

3.12. Criterios de evaluación y vigencia de la hipótesis

La hipótesis general se mantendrá vigente si las pruebas que pretenden refutarla no logran descartarla. En la hipótesis se supone que es posible diseñar un constructo para la evaluación

Item	Criterio
Capacidad evaluativa	¿ Es posible evaluar al menos un caso?
Refutación	¿ Supera las pruebas de refutación ?
Vigencia	¿ La hipótesis se mantiene vigente luego de las pruebas aplicadas?

Tabla 3-5: Resumen criterios evaluación y vigencia hipótesis general

de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. Si bien un caso sería suficiente para suponer una vigencia inicial luego de un conjunto de pruebas basadas en modelamiento y simulación para refutar tanto la hipótesis general como la hipótesis dinámica, se ofrecerán pruebas para dos casos históricos, un caso en desarrollo y tres casos teóricos-hipotéticos.

3.13. Discusión

Este capítulo ha presentado la pregunta de investigación, los objetivos, la hipótesis general y los criterios generales. Se propuso investigar sobre el diseño de un constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. Se argumentó sobre las dificultades que suponen las características particulares de las situaciones en las que deben operar los mecanismos de cooperación en dilemas sociales de gran escala, lo que a su vez dificulta la evaluación de su efectividad. No obstante lo anterior, La literatura revisada ofrece elementos que permiten abordar la tarea de diseñar el constructo y realizar su evaluación mediante modelos y simulaciones. Se han descrito las diferencias fundamentales entre los dilemas sociales de pequeña y gran escala y se ha explicado a lo largo de la Tesis cómo la teoría de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de pequeña escala permite el diseño de mecanismos efectivos de cooperación que han sido evaluados en configuraciones de laboratorio y de campo. Se han identificado las dificultades que supone la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. El que no exista la posibilidad de comunicación cara a cara supone que los mecanismos de cooperación deben considerar la difusión de información sobre el estado del recurso y las consecuencias que sobre la disponibilidad del recurso tienen las acciones del grupo. La realimentación en los dilemas de gran escala está condicionada por la complejidad dinámica, por lo que los mecanismos de cooperación deben enfrentar posibles degradaciones de la cooperación. Dichas degradaciones de la cooperación, que amenazan su sostenibilidad y por consiguiente la sostenibilidad del recurso, pueden presentarse también debido a condiciones iniciales de confianza de cooperación insuficientes para promover la

cooperación por confianza. Por lo anterior, los mecanismos de cooperación efectivos incluyen la cooperación como norma y cooperación por la percepción de daño por deterioro del recurso como configuraciones para generar y sostener la cooperación. El constructo diseñado integrará como unidad los mecanismos de cooperación anteriormente descritos. Con base en la situación y el problema se establecieron criterios de método y de instrumentos, de selección de caso y de efectividad de los mecanismos de cooperación evaluados. Los criterios serán utilizados para identificar los casos de dilemas sociales en los que los mecanismos de cooperación fueron evaluados.

La investigación así bosquejada, supone un aporte a la literatura en varios sentidos. Primero, el constructo se constituye en un avance en la comprensión de dilemas sociales de recurso agotable de gran escala y su intervención. La investigación así planteada aporta en la comprensión de la forma como la complejidad dinámica condiciona la cooperación, lo que puede aportar a mejorar la efectividad de los mecanismos de cooperación diseñados para este tipo de situaciones.

Este capítulo finaliza presentando los criterios de caso, los criterios metodológicos, de efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala, de evaluación de hipótesis y de evaluación de método e instrumentos. Todos los criterios tienen justificación desde la revisión de la literatura y el planteamiento de la pregunta de investigación. La investigación pretende ofrecer una respuesta a la pregunta sobre la posibilidad de diseñar un constructo que permita evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. Si bien la efectividad de mecanismos de cooperación basados en la construcción de confianza ha sido demostrada en configuraciones de campo y de laboratorio, no se ha encontrado referencias en la literatura revisada a la evaluación de la efectividad de la cooperación en dilemas sociales de recurso de gran escala. El diseño del constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala tiene en cuenta las condiciones específicas en las que ocurre la situación y cómo ellas se diferencian de las condiciones de los dilemas de pequeña escala. Con base en lo anterior se diseña el constructo. La hipótesis supone que es posible diseñar un constructo para la evaluación de la efectividad en al menos un caso de aplicación de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. La evaluación de los casos supone la revisión de las condiciones previas de caso como dilema social de recurso agotable de gran escala. Luego se evaluará la efectividad de los mecanismos de cooperación aplicado mediante el modelamiento del constructo diseñado. Se realizará luego la evaluación de la capacidad del constructo de evaluación de efectividad modelado para dar cuenta de la cooperación alcanzada en el caso, se evaluará dinámica y estadísticamente la hipótesis dinámica y se revisará si la hipótesis general se mantiene vigente luego de las pruebas realizadas.

En el siguiente Capítulo se revisarán las herramientas y se discutirá si cumplen con los requisitos metódicos propuestos. Luego se explicará el constructo diseñado y el diseño metódico finalmente aplicado.

4 Métodos y Constructo de Evaluación de la Efectividad de la Cooperación en el Estudio de Dilemas Sociales de Gran Escala

Luego de haber presentado los dilemas sociales, sus conceptos fundamentales y antecedentes, el problema de investigación, la hipótesis y los criterios de caso, este Capítulo discute y presenta una revisión sobre el método y los instrumentos para abordar el diseño del constructo y la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso de gran escala. El Capítulo ofrece una presentación de las herramientas alternativas disponibles para abordar el problema de investigación, así como una ampliación de las especificaciones metodológicas derivadas de la revisión de las características que supone la evaluación de la efectividad de mecanismos aplicados a dilemas sociales de recurso agotable de gran escala, que son confrontadas con cada uno de las herramientas consideradas. Se ofrece de manera específica argumentos que justifican la selección de Dinámica de Sistemas como herramienta. Luego se presenta el diseño general de la investigación y una descripción de las actividades realizadas. A continuación se describe el constructo de evaluación diseñado y se ofrece una discusión de cierre.

El diseño de un constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala supone atender los requerimientos derivados con base la comprensión alcanzada sobre las características de los dilemas sociales de gran escala que aplican a los mecanismos y cómo dichas características pueden ser atendidas con una u otra herramienta.

Se ha indicado a través de la Tesis sobre las características específicas que los dilemas sociales de recurso agotable de gran escala suponen para la evaluación de su efectividad. Recuérdese que si bien la teoría de cooperación de pequeña escala es efectiva para promover la cooperación en configuraciones experimentales de laboratorio y de campo si la confianza inicial es suficiente, no es posible asumir que los dilemas de gran escala cuenten con las mismas condiciones requeridas para que mecanismos construidos exclusivamente con base en la teoría de cooperación basada en confianza de pequeña escala puedan ser igualmente efectivos en situaciones de gran escala. Se argumentó en el Capítulo 3 que la efectividad alcanzada por los mecanismos de cooperación depende de la forma como se considera la realimentación en

Requerimiento Metodológico	Característica de la Situación que Cubre
Realimentación y circularidad	Realimentación Información
Amplia iteración entre variables, Retardos y Percepción	Complejidad Dinámica
Representación comportamiento promedio	Heterogeneidad
Capacidad explicativa	Definición sub-mecanismos daño para enfrentar condiciones iniciales desfavorables y cooperación como norma. Explicación y evaluación del esquema.
Representación proceso de toma de decisiones dinámicas	Condiciones generales de los dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.

Tabla 4-1: Especificaciones metodológicas con base en las características requeridas por la evaluación de la efectividad de Dilemas Sociales de Gran Escala

los dilemas sociales de recurso agotable de gran escala, pues dichos mecanismos suponen considerar elementos como realimentación de la información sobre el estado del recurso común y las consecuencias que las acciones de los individuos tienen sobre la disponibilidad del recurso. Los mecanismos para ser efectivos tienen que considerar y mitigar el efecto de los retardos de información en el proceso de reconocer cambios en las tendencias de la información sobre el estado del recurso y las acciones del grupo sobre el recurso, considerar la heterogeneidad de las características de los individuos y el efecto de condiciones iniciales insuficientes de confianza.

Las características anteriores exigen a los mecanismos efectivos de cooperación contar con esquemas tales como la cooperación por percepción de daño y el aprendizaje de cooperación como norma para posibilitar el sostenimiento de la cooperación en el largo plazo. Igualmente se presentó de manera inicial las implicaciones metodológicas que dichas condiciones suponen para la selección de la herramienta de modelamiento.

4.1. Criterios de selección de herramienta

La Tabla 4-1 de la página 51 sintetiza los requerimientos metodológicos que supone cada una de las características que deben incluir tanto el constructo de evaluación como los mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. Dichos criterios responden a las especificaciones para cada una de las características mencionadas.

Estas especificaciones fueron consideradas en la revisión de cada una de las herramientas, tal y como se ilustra en la Tabla 4-2 de la página 52.

Herramientas Criterios	Complejidad Dinámica	Información Disponible	Capacidad Explicativa	Nivel de Agregación	Racionalidad Limitada	Enlace Micro- Macro
<i>Econometría</i>	No	No	Baja	Si	?	?
<i>Optimización</i>	No	No	Alta	Si	No	?
<i>Teoría de Juegos</i>	No	No	Baja	Bajo	No	Individualismo metodológico
<i>Economía Experi- mental</i>	Si	Si	Baja	Bajo	Si	?
<i>Agentes</i>	Si	Si	Baja	Bajo	Si	Individualismo metodológico
<i>Autómatas Celu- lares</i>	Si	Si	Baja	Bajo	Si	Individualismo metodológico
<i>Dinámica de Sis- temas</i>	Si	Si	Alta	Medio Alto	Si	Comportamiento Promedio

Tabla 4-2: Resumen de las características de evaluación para las herramientas

Del problema de diseñar un constructo para evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala se derivan los requerimientos de modelamiento, que se han re-ordenado como se ilustra en la Tabla 4-2 en la página 52. Las características a ser soportadas o cubiertas por la herramienta seleccionada para soportar el modelamiento son las siguientes:

- **Complejidad Dinámica**, que hace referencia a los efectos de las relaciones no lineales y de los ciclos de realimentación sobre el entendimiento de la dinámica del sistema y los retardos en la toma de decisiones dinámicas. La representación de dicha complejidad dinámica implica integrar los efectos de las configuraciones física e institucional sobre la información que alimenta el proceso de toma de decisiones (Sterman, 2000, 1989, 1987).
- **Información disponible**, pues la información es ofrecida por la situación de manera retardada y distorsionada (Sterman, 1989, 1987; Morecroft, 1985). No se puede considerar que el individuo promedio dispone de información sobre todas las alternativas de decisión. El reconocimiento de la información tiene un retardo (Sterman, 2000).
- **Racionalidad Limitada**, que se refiere a que el proceso de toma de decisiones a representar debe reflejar las limitaciones cognitivas de los individuos. (Simon, 1979, 1959, 1955). Los individuos enfrentan decisiones complejas desde su incapacidad de realizar dichas decisiones con racionalidad completa porque, primero, no pueden generar todos los posibles cursos alternativos de acción, segundo, no pueden coleccionar y procesar toda la información que podría permitirles predecir las consecuencias de elegir una alternativa dada y tercero, no pueden valorar anticipadamente las consecuencias y seleccionar entre ellas. Los problemas de decisión altamente complejos se reducen a problemas manejables desde condiciones de reducción de dicha complejidad, reducción que debe ser tenida en cuenta al representar las reglas de decisión utilizadas por los agentes. Dicha reducción tiene efectos no esperados en el comportamiento del sistema, que agravan los efectos de la complejidad dinámica (Sterman, 2000, 1989, 1987).
- **Capacidad explicativa**, que supone que la herramienta a utilizar debe permitir construir, explicar y evaluar el esquema de evaluación de la efectividad de los mecanismos de cooperación (Bunge, 2003; Sterman, 2000; Elster, 1996).
- **Representación información promedio**, pues se requiere asumir el estudio del proceso de toma de decisiones en una situación de dilema social de recurso de gran escala. Se supone que la estructura del sistema genera su comportamiento (Sterman, 1989; Forrester, 1961), por lo que se requiere representar reglas de decisión promedio que den cuenta de la variación de la cooperación (Sterman, 2000, 1989; Morecroft, 1983). Siendo así, no se buscará representar en la propuesta la micro-estructura de decisión de nivel individual que pudieran generar el comportamiento, sino la representación del

comportamiento promedio, mediante su expresión a través de la metáfora del ciclo de realimentación (Lane, 1999).

La Tabla **4-3** de la página 55 presenta una evaluación detallada de los requerimientos de modelamiento derivados así como una aproximación ampliada sobre el cubrimiento ofrecido por la diferentes herramientas revisadas.

Herramienta / Criterios	Racionalidad Limitada	Complejidad Dinámica	Información Disponible	Nivel de Agregación	Capacidad Explicativa
<i>Modelamiento Econométrico</i>	No permite representar mecanismo causales, ni reglas de decisión.	Problemas con la auto correlación, la multicolinealidad, heterocedasticidad, correlación cruzadas al intentar modelar relaciones en ciclos de realimentación.	No tiene sentido si no es posible representar la estructura que genera el comportamiento. Permite la representación de la incertidumbre y la forma como los individuos la abordan.	No tiene sentido si no es posible representar la estructura que genera el comportamiento.	Baja
<i>Modelamiento basado en Agentes</i>	si	si	Permite representar información disponible retardada y distorsionada. Permite la representación de la incertidumbre y la forma como los individuos la abordan.	Individual desagregado.	Presentan opacidad explicativa. Desde micro estructuras a nivel individuo se generan comportamientos emergentes que puede ser difíciles de explicar.
<i>Modelamiento basado en Autómatas Celulares</i>	si	si	Permite modelar información disponible. Permite la representación de la incertidumbre y la forma como los individuos la abordan.	Individual desagregado	Presentan opacidad explicativa. Desde micro estructuras a nivel individuo se generan comportamientos emergentes que pueden ser difíciles de explicar.
<i>Métodos de Experimentación Económica</i>	si	si, pero son pocos las configuraciones experimentales que soportan dinámica	Permite modelar información disponible. Permite la representación de la incertidumbre y la forma como los individuos la abordan.	Individual, agregado en pequeños grupos manejables en el laboratorio o en estudios de campo. Se hace énfasis en la inferencia de regularidades en grupos de tamaño manejable.	Bajo, explica la teoría, no el experimento en sí.
<i>Teoría de Juegos</i>	No, se supone que la Teoría de Juegos asume perfecta racionalidad para los agentes.	no	La información debe pagos debe y estrategias debe ser completa.	Individual, pequeños grupos.	Discutible. Ofrece opciones extremas de desempeño, pero no posibilidades intermedias.
<i>Dinámica de Sistemas</i>	Permite representar las reglas de decisión promedio que gobiernan el proceso de toma de decisiones.	Permite definir relaciones de carácter no lineal entre variables del sistema.	Permite representar información distorsionada y retardada. Permite modelar información disponible. Permite la representación de la incertidumbre y la forma como los individuos la abordan.	Permite modelar desde reglas individuales hasta comportamiento promedio de grupos con gran número de individuos. Permite producir y dar cuenta de propiedades emergentes.	Alta
<i>Optimización / Investigación de Operaciones Clásica</i>	No. Se asume perfecta racionalidad para los individuos.	Aumenta la dificultad del tratamiento del problema.	La información es completa y perfecta. Soportan muy bajo nivel de incertidumbre.	Individual y agregado siempre y cuando se tenga información y racionalidad completas.	Alta

Tabla 4-3: Criterios Selección Herramientas de Modelamiento

A continuación se presenta una revisión que confronta los criterios presentados con las herramientas pre-seleccionadas, confrontando estas especificaciones con cada una de ellas.

4.2. Herramientas revisadas

En la revisión del cumplimiento de los criterios metodológicos, inicialmente se describen en los supuestos fundamentales de la herramienta y la forma como ha sido utilizada en el estudio de dilemas sociales. Luego se evaluará la herramienta con los criterios metodológicos presentados. Finalmente se ofrece una conclusión sobre el grado de aplicabilidad de la herramienta al problema de investigación planteado, el diseño de un constructo de evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.

4.2.1. Econometría

Esta herramienta de modelamiento económico supone el procesamiento de modelos pre-establecidos con los que se evalúan las relaciones entre series de datos que representan el comportamiento de las variables bajo estudio (Greene & Zhang, 2003). El ejercicio de modelamiento consiste en ajustar los datos a un conjunto de modelos previamente establecido del que se selecciona aquel que ofrezca un mayor nivel de confianza en el ajuste (Barlas, 1996). A este enfoque también se le conoce como conductista o modelamiento de caja negra (Aracil, 1992). Los modelos econométricos emplean las matemáticas con el propósito de hacer inferencia estadística para el pronóstico del comportamiento futuro del sistema, con base en los datos históricos (Spanos, 1986). Se identifican las variables y se propone una relación de dependencia a través de modelos pre-establecidos, que permitan relacionar dichas variables con las variables independientes, que son alimentadas por los datos históricos (Norton, 1984). La tarea central consiste en estimar los parámetros de los modelos que logren el mejor ajuste entre las variables dependientes e independientes (Greene & Zhang, 2003). Gran cantidad de modelos en recursos comunes han sido desarrollados, en áreas tales como los recursos naturales y ambientales (Dasgupta & Heal, 1980; Ophuls, 1977; Clark, 1976). Como una muestra de los modelos realizados en el área bajo este enfoque se mencionan, entre los más recientes, el trabajo de Crudeli, que propone un modelo que pretende mejorar el entendimiento de la relación entre Confianza y el Capital Social (Crudeli, 2006), el de Gardner et al. (2000) que propone un modelo lineal cuadrático que examina el éxito y las limitaciones de las reducciones proporcionales de las cuotas de apropiación en recursos comunes, el de McCarthy et al. (2001), que ofrece un modelo que introduce la variable costo de los esfuerzos de cooperación de una comunidad en la extracción de un recurso común y el de Fleishman (1988), que presenta un modelo elaborado con base en los datos levantados en un experimento alrededor de la toma de decisiones desde el que pretende medir la influencia de un marco de referencia de toma de decisiones basado en las ganancias y pérdidas con

Requerimiento Metodológico	Evaluación
<i>Realimentación y circularidad</i>	No cumple
<i>Retardos y Percepción</i>	No cumple
<i>Representación comportamiento promedio</i>	Cumple
<i>Capacidad explicativa</i>	No cumple
<i>Representación proceso de toma de decisiones dinámicas</i>	No cumple

Tabla 4-4: Revisión de criterios para la Econometría

relación al comportamiento de los jugadores en la cooperación alrededor de la extracción de un recurso de uso común.

Evaluación de Criterios de Método para la Econometría

La Econometría cumple parcialmente con los requerimientos planteados. La Econometría supone dificultades para el análisis de toma de decisiones dinámicas y circularidad (Gujarati & Porter, 1992) así como para la representación de los retardos (Sterman, 1984). Los modelos Econométricos no tienen capacidad explicativa, pues son modelos predefinidos que miden el grado de ajuste de los datos con la configuración previa del modelo evaluado que definen relaciones sin ofrecer explicaciones (Barlas, 1996).

Los modelos econométricos, han sido criticados puesto que presuponen un conjunto limitado funciones pre-establecidas a los cuales los datos deben ajustarse (Swaney, 1985). En general, estos modelos tienen baja capacidad de explicación (Barlas, 1996). No obstante, este tipo de modelos ha demostrado su utilidad para determinar la correlación y magnitud de correlación entre variables en periodos cortos de tiempo desde el tratamiento de datos históricos (Aracil, 1992). La Tabla 4-4 de la página 57 resume la confrontación de los criterios metodológicos propuestos frente a la Econometría. En conclusión, la Econometría supone dificultades para cubrir los requerimientos de modelado, por los problemas que ofrece para representar la realimentación, la circularidad, los retardos, los procesos de percepción de información, por contar con una baja capacidad explicativa y por no permitir la representación del proceso de toma de decisiones dinámicas, por lo que puede ofrecer dificultades para llevar a cabo el diseño del constructo de evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.

4.2.2. Modelamiento basado en agentes

Es una herramienta de modelamiento computacional de sistemas dinámicos en donde el fenómeno a modelar se asume como un sistema constituido por agentes que interactúan entre ellos a través de reglas de decisión (Johnson, 2002). Sus modelos ofrecen comportamientos complejos emergentes del desempeño de agentes modelados (Sawyer, 2005). El modelamiento consiste principalmente en describir la evolución del sistema por la simulación del comportamiento de los agentes que lo constituyen (Johnson, 2002).

Cada agente está integrado por un programa que contiene datos y reglas de comportamiento, que a su vez operan sobre los datos (Johnson, 2002). El comportamiento dinámico surge o emerge como consecuencia de la interacción de los agentes (Bonabeau, 2002). Los agentes deben contar con cierto grado de autonomía (Castiglione, 2006). Para simular un fenómeno con modelamiento basado en agentes, se requiere identificar los actores o agentes (Johnson, 2002). Luego se proponen los procesos que gobiernan las interacciones entre los agentes, que se describen a través de reglas (Bonabeau, 2002). Se representan los atributos internos del agente, mediante variables continuas o discretas. El cambio de estado de los agentes se representa mediante autómatas de estado finito (Johnson, 2002).

De acuerdo a las reglas de decisión y a los atributos del agente, se producen cambios de estado por interacciones con otros agentes y con el medio ambiente (Macal & North, 2010). Los agentes pueden utilizar información disponible y representaciones de su medio ambiente. Un agente tiene un rango de posibilidad de acción especificado. La interacción puede ser global, local, o local con influencia global (Johnson, 2002). En algunas aplicaciones se introduce un ámbito que afecta las interacciones potenciales de los agentes. El ámbito algunas veces se representa mediante un agente con estados y reglas de comportamiento definidas. El comportamiento se desenvuelve con respecto al tiempo en donde las interacciones se procesan en paralelo (Bonabeau, 2002). Es posible representar espacio y tiempo de manera tanto discreta como continua (Castiglione, 2006). Los modelos pueden ser implementados en cualquier lenguaje de programación, pero son preferibles aquellos lenguajes orientados a objetos. Entre las herramientas de desarrollo más utilizadas para este tipo de aplicaciones se puede mencionar Swarm, Repast, Netlogo, y Mason.

Gracias al modelamiento basado en agentes, es posible representar la provisión y apropiación de algunos recursos comunes, que incluyen diversos modelos de racionalidad acotada, rivalidad estratégica, incertidumbre y aprendizaje, reglas e interacciones entre arreglos institucionales e individuos (Janssen & Ostrom, 2006a). Esta herramienta se ha combinado con experimentos de toma de decisiones económicas en recursos comunes controlados en laboratorio (Boehm, 1981), que pretenden aislar los micro-mecanismos de los fenómenos que producen comportamientos agregados en el sistema. Esta técnica permite la representación de reglas coherentes con la racionalidad acotada en agentes enfrentados en recursos comunes simulados (Simon, 1979, 1959, 1955).

El modelado basado en agentes tiene sus raíces en los trabajos iniciales en autómatas celulares

de Von Neumann & Burks (1966) y Ulam (1962). Conway (1970) desarrolló un sistema denominado El juego de la Vida, en donde se producen macro comportamientos complejos desde reglas sencillas. El nacimiento del área al interior de las ciencias computacionales se le atribuye a Reynolds (1999) y Langton et al. (1992), con sus trabajos en vida artificial. En este ámbito puede ubicarse el trabajo de Fort (2003), en donde se estudian los efectos de la auto organización en regímenes cooperativos mediante agentes que se enfrentan al Dilema del Prisionero, el de Janssen & Ostrom (2006b), en donde se reconoce que los sistemas socio-ecológicos se caracterizan por su alta complejidad y porque presentan relaciones en múltiples escalas temporales y espaciales, el de (Bousquet et al., 2001) que ofrece un modelo multi-agente con el que se pretende entender la organización de la caza entre miembros de una villa como un sistema administrativo y Dalmagro et al. (2006) en donde se estudia la emergencia de la cooperación en sistemas sociales mediante modelamiento de sistemas multi-agente. En dicho trabajo se presenta un modelo que ilustra como, cuando los agentes son completamente racionales en términos de la optimización de la utilidad individual esperada, no aparece la cooperación.

Evaluación de criterios para el modelamiento basado en Agentes

El modelamiento basado en agentes ofrece un cubrimiento parcial a los criterios de modelamiento propuestos. La herramienta permite representar realimentación y circularidad, retardos como reglas específicas para agentes y ambiente, pero no considera su procesamiento promedio (Conte et al., 2001). El modelamiento basado en agentes permite representar situaciones complejas, pero no es directa su explicación (Sawyer, 2005). No es fácil reproducir las condiciones que permitan producir una salida determinada, con lo que se pueda relacionar causalmente una configuración del modelo con una salida determinada (Goldspink, 2002). Los modelos basados en agentes no permiten representar el comportamiento promedio de los agentes (Sawyer, 2005). Esta herramienta supone y hace operacional el individualismo metodológico, por lo que se describe el comportamiento individual de un agente, pero no es posible especificar y evaluar reglas de comportamiento agregado (Conte et al., 2001). La Tabla 4-5 de la página 60 sintetiza la evaluación descrita anteriormente. Como síntesis, el modelamiento basado en agentes supone dificultades para cubrir satisfactoriamente los criterios metodológicos propuestos.

Requerimiento Metodológico	Evaluación
<i>Realimentación y circularidad</i>	Parcialmente
<i>Retardos y Percepción</i>	Parcialmente
<i>Representación comportamiento promedio</i>	No cubre
<i>Capacidad explicativa</i>	No cubre
<i>Representación proceso de toma de decisiones dinámicas</i>	No cubre

Tabla 4-5: Revisión Cumplimiento Requerimientos Metodológicos para el Modelamiento Basado en Agentes

4.2.3. Autómatas celulares

Esta herramienta supone la construcción de un modelo discreto, que integra un sustrato infinito de celdas contiguas las cuales pueden tener un conjunto finito de estados (Wolfram, 2005). Cada grilla posee de igual forma un número infinito de dimensiones. El tiempo se asume de manera discreta y el estado de una celda depende del estado de las celdas de la vecindad en el periodo de tiempo anterior, lo que determina una nueva generación para todas las celdas de la grilla (Ulam, 1962).

En dichos modelos, las reglas definen el cambio de las celdas. Reglas relativamente sencillas son suficientes para generar comportamientos complejos (Wolfram, 1984). Estos modelos pueden ser definidos para permitir comportamientos reversibles e irreversibles (Wootters & Langton, 1990). Gracias a las reglas es posible conseguir la aparición de propiedades emergentes que determinan el comportamiento del sistema como un todo (Burks, 1970).

Se referencia, a manera de ejemplo de aplicación en recursos comunes, el trabajo de Akimov & Soutchanski (1994), en donde se estudia el comportamiento colectivo de n jugadores en un juego de dilema social simulado por un autómata que es capaz de generar un comportamiento cooperativo desde la evaluación de la información disponible. Algunos trabajos han evaluado las posibilidades de aplicación de los autómatas celulares en el modelamiento de fenómenos ecológicos (Hogeweg, 1988; Satoh, 1990; Silvertown et al., 1992).

Evaluación cumplimiento de criterios para Autómatas Celulares

El modelamiento con autómatas celulares cubre parcialmente los criterios de modelamiento. La realimentación y circularidad son cubiertas parcialmente, pues se basa en una posición consistente con el individualismo metodológico, en la que se considera como unidad fundamental el individuo (Sawyer, 2005). Es posible hacer una representación mediante reglas que permitan implementar retardos de información y de percepción para individuos, pero no es posible representar comportamientos promedio (Wolfram, 1984). Esta herramienta dificulta la explicación causal del comportamiento, pues no es sencillo determinar las condiciones iniciales que permiten lograr una salida determinada ni describir cómo la estructura del modelo permite alcanzar dicha salida determinada (Sawyer, 2005). Esta característica a su vez dificulta la representación del comportamiento promedio en la toma de decisiones dinámicas. La Tabla 4-6 de la página 62 ilustra la evaluación presentada anteriormente. En conclusión, el modelamiento basado en autómatas celulares ofrece dificultades para satisfacer con los criterios de modelamiento planteados.

Requerimiento Metodológico	Evaluación
<i>Realimentación y circularidad</i>	Parcialmente
<i>Retardos y Percepción</i>	Parcialmente
<i>Representación comportamiento promedio</i>	No cubre
<i>Capacidad explicativa</i>	No cubre
<i>Representación proceso de toma de decisiones dinámicas</i>	Parcialmente

Tabla 4-6: Evaluación Requerimientos Metodológicos para Autómatas Celulares

4.2.4. Economía experimental

La economía experimental es una rama de la economía de desarrollo relativamente reciente que emplea experimentos de laboratorio para estudiar el comportamiento humano en un ambiente controlado (Davis & Holt, 1993). A través de los estudios de laboratorio, es posible entender con mayor profundidad fenómenos que de otra forma podría ser muy complejo entender mediante observación de una situación real (Kagel et al., 1995). Con experimentos controlados, es posible detectar errores potenciales en el diseño de instituciones y políticas en etapas tempranas, de la misma forma que una tecnología o medicina requiere pasar pruebas de laboratorio antes de su introducción al mercado (Smith, 1989). Los economistas experimentales colocan a individuos para que tomen decisiones en ambientes controlados, antes que pretender imponer reglas para que gobiernen su comportamiento (Smith, 1991). El uso de las configuraciones experimentales para observar el comportamiento humano en ambientes donde se controla los incentivos, las reglas y las instituciones, se ha practicado ampliamente en las ciencias del comportamiento, particularmente en psicología y economía (Smith, 1976). En algunos casos se recluta a estudiantes quienes reciben pagos de acuerdo a sus decisiones (Smith, 1989). En dichos ejercicios los estudiantes se enfrentan a acciones factibles, reglas e incentivos alrededor de diferentes formas de intercambio social con otros individuos. Cardenas (2000) aplicaron configuraciones de laboratorio en situaciones de campo en tres localidades rurales de Colombia encontrando que el comportamiento de individuos podía ser explicado por el núcleo de relaciones de la teoría de cooperación de Ostrom (2000a). Los métodos experimentales se consideran una opción para el desarrollo del conocimiento económico. Para Smith (2002), el proceso científico en economía experimental va más allá del método experimental, que consiste en derivar una hipótesis evaluable, desde una teoría bien formulada, para así implementar un experimento de acuerdo a un diseño soportado en hipótesis auxiliares, que se soportan en la revisión y discusión de reportes de investigación. Si las pruebas estadísticas soportan la hipótesis nula, entonces la teoría es falseada (Smith, 2002).

Evaluación del cumplimiento de los criterios de método para la economía experimental

La Economía experimental no es una herramienta adecuada para abordar el efecto de mecanismos sobre grupos grandes no localizados de individuos, como es el caso de los dilemas sociales de gran escala (Nemeth, 1972). Si se definieran configuraciones experimentales para evaluar mecanismos en grandes grupos, los costos serían muy altos (Biel et al., 1999). No hace parte de la tradición de la práctica de la economía experimental configuración de situaciones para toma de decisiones dinámicas, aunque existen referentes de configuraciones experimentales que consideran la dinámica (Serman, 1987). La economía experimental permite evaluar teorías y mecanismos ya desarrollados, pero no sería útil para el diseño del construto de eval-

Requerimiento Metodológico	Evaluación
<i>Realimentación y circularidad</i>	Es posible, pero no hace parte de la práctica normal de la Economía Experimental
<i>Retardos y Percepción</i>	Parcialmente
<i>Representación comportamiento promedio</i>	Parcialmente
<i>Capacidad explicativa</i>	No aplica
<i>Representación proceso de toma de decisiones dinámicas</i>	Es posible, pero no hace parte de la práctica normal

Tabla 4-7: Revisión Requerimientos metodológicos para la Economía Experimental

uación de la efectividad de mecanismos en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. Por definición, la explicación causal de los fenómenos no hace parte de su estatuto epistemológico. La Economía experimental evalúa teorías o hipótesis experimentales ya elaboradas (Davis & Holt, 1993). La Tabla 4-7 de la página 64 describe el grado de cubrimiento que la economía experimental ofrece sobre los requerimientos metodológicos propuestos.

4.2.5. Teoría de juegos

Es una rama de las matemáticas aplicadas que estudia situaciones estratégicas en donde los jugadores pueden escoger diferentes acciones en un intento por maximizar sus beneficios (Von Neumann et al., 1953). La Teoría de Juegos estudia la toma de decisiones, considerando la interdependencia entre las decisiones y las opciones, con lo que es posible describir como mientras los tomadores de decisiones manipulan el ambiente, el ambiente intenta manipularlos a ellos (Davis, 1997).

En situaciones denominadas juegos, en donde ocurre la interacción entre los jugadores, cada uno de ellos toma decisiones de un conjunto limitado de opciones o estrategias (Osborne & Rubinstein, 1994). Como resultado de seleccionar una, se obtiene una remuneración o un castigo para cada jugador. La elección (estrategia) de un jugador afecta las elecciones y los pagos de los demás (Gibbons, 1992). Una estrategia se considera un plan de acción que incluye todas las posibles circunstancias. La Teoría de Juegos es usada en diversas áreas como la biología y la psicología (Ostrom, 1990).

Como referente de la Teoría de Juegos se destaca el Dilema del Prisionero (Luce et al., 1958), en donde jugadores racionales que persiguen su propio interés terminan produciendo irracionalidad colectiva (Ostrom, 1990). El Dilema del Prisionero es un tipo de juego de suma no cero en el cual los jugadores tratan de obtener ganancias por cooperar o desertar (Davis, 1997). El objetivo fundamental de cada jugador es maximizar su propia ventaja más que el bienestar de los otros jugadores (Axelrod & Hamilton, 1981). El juego describe un dilema en el que la cooperación es dominada por el abandono (Rapoport & Chammah, 1965). No importa lo que el otro jugador haga, un jugador siempre querrá obtener la mayor ganancia posible mediante el abandono (Kuhn, 2007). En cualquier situación en donde el abandono es más beneficioso que la cooperación, todos los jugadores racionales optarán por el abandono, es decir, por la búsqueda de su interés personal (Kuhn, 2007). El único equilibrio para este juego es cuando no se permite un óptimo de Pareto¹, que es cuando dos jugadores racionales podrían abandonar no obstante la ganancia total (Rapoport & Chammah, 1965). La suma de la ganancia recibida por los dos jugadores, podría ser más grande si ellos decidieran cooperar (Ostrom, 2000a, 1990). En equilibrio, cada prisionero decide abandonar aún cuando obtendría una mayor ganancia si decidiera cooperar (Ostrom, 1990).

Entre los trabajos más relevantes de aplicación se ofrece el de Grimes-Casey et al. (2007), que propone un modelo de Teoría de Juegos en donde se busca conciliar distintos intereses ecológicos (de industriales y de consumidores) alrededor de la eliminación o reciclaje de botellas, el de (Hutton et al., 2001) que explora los efectos de administrar de manera cooperativa y no cooperativa un sistema de bancos pesqueros en Sudáfrica, usando un juego basado en un modelo bioeconómico, que simula los efectos de aplicar limitaciones al área de apropiación o la cantidad apropiada, el de Bonacich et al. (1976) que estudia la relación entre

¹Dado un conjunto de alternativas y un conjunto de individuos, la selección de una alternativa sobre otra, sin hacer por esto que otro individuo pierda

Requerimiento Metodológico	Evaluación
<i>Realimentación y circularidad</i>	No cubre
<i>Retardos y Percepción</i>	No cubre
<i>Representación comportamiento promedio</i>	No cubre
<i>Capacidad explicativa</i>	Parcialmente
<i>Representación proceso de toma de decisiones dinámicas</i>	No cubre

Tabla 4-8: Revisión Requerimientos metodológicos para la Teoría de Juegos

el tamaño del grupo y la cooperación entre sus miembros cuando en el grupo se presentan conflictos de intereses, mediante experimentos basados un modelo computacional que hace operativo el dilema del prisionero y el de (Plous, 1987) estudia, en el ámbito del Dilema del Prisionero y de un dilema perceptual, una estrategia de carrera armamentista y una de desarme basada en cooperación, mediante un modelo de Teoría de Juegos soportado por simulación computacional.

Evaluación de cumplimiento de criterios de método para la Teoría de Juegos

La Teoría de Juegos supone dificultades para cubrir los criterios de modelamiento. La Teoría de Juegos considera la representación específica de las opciones de decisión de cada uno de los individuos del grupo (Davis, 1997). Esto dificulta su aplicación en la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación para grupos numerosos (Nemeth, 1972). A pesar que la Teoría de Juegos Dinámica considera explícitamente el efecto de la realimentación, no se incluye de manera explícita los problemas que la percepción inadecuada de la realimentación pueda traer en las decisiones dinámicas (Myerson, 1997; Diehl & Sterman, 1995). A pesar de ofrecer descripciones de los diferentes conjuntos de opciones para los individuos involucrados en las situaciones estudiadas, no ofrece de manera directa una explicación causal sobre las decisiones tomadas (Rasmusen, 2007). No permite una representación promedio de la toma de decisiones dinámica (Sterman, 1989). La Tabla 4-8 de la página 66 sintetiza la confrontación con los criterios de modelamiento. En conclusión, la Teoría de Juegos no es adecuada para cubrir los requerimientos de modelamiento planteados.

4.3. Dinámica de Sistemas

Existe un debate sobre la ontología de la Dinámica de Sistemas. La Dinámica de Sistemas ha sido considerada como tecnología intelectual (Aracil, 1986), como herramienta (Wolstenholme, 2003) y como un lenguaje de representación (Andrade et al., 2001). No obstante la diversidad de posiciones sobre su ser, la Dinámica de Sistemas ha sido presentada por la Sociedad Internacional de Dinámica de Sistemas como un enfoque para el análisis de políticas y el diseño asistido por computador que aplica a problemas dinámicos en sistemas sociales, administrativos, económicos, ecológicos complejos caracterizados por su interdependencia, la interacción mutua, la realimentación de información y la causalidad circular (System Dynamics Society, 2010). Para entender y administrar este tipo de sistemas se requiere estudiar los ciclos de realimentación y cómo ellos determinan la variación del sistema a través del tiempo (Sterman, 2000; Forrester, 1961).

Los modelos en Dinámica de Sistemas combinan niveles y decisiones articulados para explicar un sistema (Forrester, 1992). Normalmente, los modelos en Dinámica de Sistemas buscan responder a una pregunta o propósito específico (Forrester, 1971; Forrester & Collins, 1969). En los modelos en Dinámica de Sistemas, los flujos se definen como funciones de decisión que afectan las variables de estado (Sterman, 2000). Los elementos más importantes de un modelo en Dinámica de Sistemas son los siguientes:

- **Niveles.** Son aquellas variables que acumulan los cambios del sistema. También se conocen como las variables memoria, pues en ellas se acumulan los cambios sufridos por el modelo.
- **Flujos.** Estos elementos definen el cambio en el sistema, por lo que determinan la variación de los niveles.
- **Funciones de decisión.** Son aquellas que definen las decisiones en función de la información disponible. Una función de decisión relaciona uno o varios niveles con la respuesta que tendría el flujo o los flujos a la información disponible.

La información disponible para la toma de decisiones proviene de los niveles (Forrester, 1992). Se supone que los flujos, gobernados por las funciones de decisión procesan información disponible en el sistema (Sweeney & Sterman, 2000). Conseguir y apreciar información de los niveles del sistema siempre implica una demora (Sterman, 2000). La red de información es la más importante de las redes en un modelo. Su representación implica incluir todos los procesos necesarios para obtener la información (Sterman, 2000). Las funciones de decisión se alimentan de información procesada que producen los niveles del sistema (Forrester, 1961). El proceso de modelamiento implica determinar los factores que son de importancia y que influyen la toma de la decisión en la situación problemática modelada (Morecroft, 1983). Se acostumbra a representar los efectos tanto de corto plazo como de largo plazo. El comportamiento dinámico en sistemas de realimentación de información está determinado por la manera en la que un cambio en una variable causa cambios en otra (Forrester, 1961).

Las políticas y reglas en Dinámica de Sistemas asumen que las decisiones convierten información (Forrester, 1961). De esta forma se especifican acciones para cierta información de entrada. Una sucesión de decisiones guarda relación con las fuentes de información a través de flujos. La política o la regla es una definición formal que relaciona fuentes de información con los flujos de decisión resultantes (Forrester, 1961). Por consiguiente, en Dinámica de Sistemas se determinan las reglas de decisión que relacionan la información disponible con el flujo de acciones que controlan los flujos y que producen la variación de los niveles. De esta forma las reglas representan la forma en que los grupos responden a determinadas condiciones y presiones. Dinámica de Sistemas determina la respuesta del sistema a un cambio en la información mediante el cambio en el flujo de acciones. Este proceso se conoce como detección de la regla orientadora (Sterman, 1987; Forrester, 1961). En situaciones dinámicamente complejas, los tomadores de decisiones utilizan una porción de información reducida de toda la información que tienen disponible. Algunos individuos usan la información para crear los objetivos deseados. Otras informaciones son utilizadas para formar impresiones sobre el real estado del sistema. A pesar que no se puede saber para cada individuo su respuesta a cambios en el medio ambiente, si es posible saber, con un alto grado de confianza, la respuesta promedio de un grupo de individuos a cambios en las condiciones específicas (Sterman, 1989, 1987).

Un modelo puede representar la dinámica adecuada de un sistema mediante expresiones que indican como se realizan las decisiones, que se representan a su vez mediante un flujo de información. Dichos flujos convierten continuamente información en decisiones y acción (Morecroft, 1983). De esta forma se describen los criterios utilizados en la toma de decisiones. Se consideran los factores que influyen en la decisión y se establece la dirección de su efecto y su magnitud. Luego se construye una lista de los factores que serían importantes para tomar la decisión (Morecroft, 1985).

4.3.1. Metodología

Los pasos fundamentales del enfoque de Dinámica de Sistemas son: (Sterman, 2000):

- Articular del Problema.
- Desarrollar una hipótesis dinámica que explique la causa del problema.
- Construir un modelo de simulación por computador.
- Evaluar si el modelo reproduce el comportamiento observado en el mundo real.
- Diseñar y evaluar políticas para aliviar el problema.
- Implementar la solución.

Los modelos en Dinámica de Sistemas consisten en un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden, de carácter no lineal, que se resuelven mediante métodos numéricos tales como el método de Euler y de Runge Kutta (Forrester, 1961). Entre las herramientas de simulación más destacadas se pueden mencionar Ithink, Stella, Vensim y Powersim. Los modelos de esta tesis fueron desarrollados y simulados en Vensim versión 5.7 para Windows, emulado mediante el aplicativo Wine en el sistema operativo Ubuntu versión 10.04.

La Dinámica de Sistemas se ha aplicado con éxito en estudios sobre cooperación en recursos comunes para representar resultados de experimentos de campo (Castillo & Sagsel, 2005) y en áreas relacionadas como medio ambiente y sostenibilidad (Randers, 2000; Moxnes, 2000, 1998). Este tipo de modelamiento se estimó como pertinente para abordar el problema del logro de niveles de uso sostenible de los recursos comunes gracias a que presenta las siguientes características (Randers, 2000):

- Se enfoca en la elaboración de una estructura causal básica.
- Permite la inclusión de variables no cuantificadas cuando ellas son importantes.
- Permite representar modos de referencia del comportamiento del sistema.
- Permite la búsqueda de puntos de apalancamiento en el diseño de políticas de intervención.

Moxnes ha trabajado sobre la administración de recursos renovables con este enfoque de modelamiento (Moxnes, 2000). La Tragedia del Terreno Común, que es señalada como responsable de la inefectiva administración de los recursos naturales renovables, ha sido sistemáticamente eliminada en el diseño de experimentos para averiguar si desaparecen los problemas en la administración de los mismos. No obstante, los participantes en los experimentos sobre gestión de recursos naturales comunes, continuaron sobre invirtiendo y sobre utilizando los recursos, luego que se aplicaron medidas para superarla. La explicación que se ofrece a esta situación esta relacionada con la percepción inadecuada de la realimentación de los niveles, los flujos y las no linealidades del sistema (Sterman, 1987, 1989, 2000; Moxnes, 2000).

Moxnes demuestra que la Tragedia del Terreno Común no es el único condicionante que interviene en la aparición de la sobre inversión y la sobre explotación en recursos comunes (Moxnes, 1998). Aún profesionales en la administración de dichos recursos tienden a percibir de manera errónea la estructura y la dinámica de los recursos naturales comunitarios. Dicha percepción inadecuada permite la sobre inversión y la sobre utilización de los recursos, aún cuando se hallan aplicado instituciones para superar la Tragedia. Es así como las políticas dirigidas simplemente a superar este problema podrían resultar inefectivas (Moxnes, 2000). El problema de la percepción inadecuada de la realimentación invita a diseñar políticas e instituciones que permitan resolver La Tragedia de los Comunes antes que el flujo de explotación exceda los límites de la extracción sostenible del recurso (Moxnes, 2000). Se

ha considerado la posibilidad de incluir modelos de racionalidad limitada, tanto en la representación como en el proceso de construir dicha representación en el modelamiento en Dinámica de Sistemas.

Castillo & Saysel (2005) proponen un modelo en Dinámica de Sistemas para formalizar la causalidad realimentada entre reputación, confianza y reciprocidad, que se construyó con base en experimentos de simulación que pretenden hacer explícitas las reglas de decisión de individuos de una comunidad que depende de un banco pesquero (Castillo & Saysel, 2005). Stave ha utilizado la Dinámica de Sistemas para explicar procesos de participación ciudadana en el diseño de políticas medio ambientales (Stave, 2002).

En el área de los recursos comunes, puede distinguirse la creciente respuesta que la comunidad científica le ha venido ofreciendo a la demanda de modelos explicativos más cercanos a los fenómenos a representar, en donde se involucre explícitamente la complejidad de las relaciones individuo, comunidad, recurso, en los que se considere tanto modelos de racionalidad alternativos, (como el de racionalidad limitada) así como los efectos de la percepción inadecuada de la realimentación, entre otros aspectos, en la explicación y superación de los dilemas y conflictos sociales (Ostrom et al., 2002; Ostrom, 2000a). Estos esfuerzos por mejorar la pertinencia y precisión de las explicaciones en el área, contribuyen a ofrecer recomendaciones para el diseño de políticas que posibiliten mayores beneficios para los individuos y para los grupos apropiadores de recursos comunes.

4.3.2. Validación de Modelos en Dinámica de Sistemas

La evaluación en Dinámica de Sistemas se asume como un proceso de construcción incremental de confianza que incluye pruebas de validez de la estructura, pruebas de validez del comportamiento del modelo orientadas a la estructura y pruebas de validez del comportamiento (Barlas, 1996).

La validación de un modelo en Dinámica de Sistemas está directamente relacionada con su propósito (Barlas, 1996). El proceso de validación tiene por objeto aumentar la confianza en la capacidad del mecanismo de dar cuenta de la variación del esfuerzo de apropiación promedio (cooperación) en los casos abordados. La validación, como construcción gradual de confianza en el modelo, se distribuye durante todas las etapas del proceso de modelamiento (Morecroft, 2007; Sterman, 2000). La validez del modelo depende en gran medida de la validez de la estructura interna asumida.

La validez del comportamiento debe fundamentarse principalmente en la validez de la estructura (Barlas, 1996). Se pueden distinguir así tres tipos de pruebas de validación. Un tipo primer tipo de pruebas de validación orientadas a evaluar de manera directa la estructura, que incluye pruebas empíricas, en donde pueden situarse las pruebas de confirmación estructural y las pruebas de confirmación de parámetros (Barlas, 1996); las pruebas teóricas, en donde además de la de confirmación de estructura y la teoría, pueden situarse la prueba de condiciones extremas y las de consistencia dimensional. En el segundo tipo, que agrupa

Requerimiento Metodológico	Evaluación
<i>Realimentación y circularidad</i>	Si cumple
<i>Retardos y Percepción</i>	Si cumple
<i>Representación comportamiento promedio</i>	Si cumple
<i>Capacidad explicativa</i>	Si cumple
<i>Representación proceso de toma de decisiones dinámicas</i>	Si cumple

Tabla 4-9: Evaluación de Requerimientos metodológicos para la Dinámica de Sistemas

las pruebas de comportamiento orientadas a la estructura, se puede mencionar la prueba de condiciones extremas, el análisis de sensibilidad, la predicción del comportamiento modificado y el análisis de características cualitativas. Como tercer tipo se consideran las pruebas orientadas a la validación del comportamiento (Barlas, 1996; Forrester & Senge, 1980).

No existe una única prueba que permita validar un modelo en Dinámica de Sistemas (Forrester & Senge, 1980). La confianza en un modelo en Dinámica de Sistemas se acumula gradualmente en la medida que el modelo es sometido a más pruebas y se encuentran nuevos puntos de coincidencia entre el modelo y la realidad empírica (Forrester & Senge, 1980). La naturaleza de los modelos de Dinámica de Sistemas permite aplicar una variedad de pruebas que serían imposibles de aplicar a otro tipo de modelos. De la misma forma, algunas de las pruebas más ampliamente aplicadas a modelos en general, como las pruebas de hipótesis estadísticas estándar, son o inapropiadas, o a lo sumo complementarias para los modelos en Dinámica de Sistemas (Forrester & Senge, 1980).

4.3.3. Evaluación cumplimiento de criterios de método para la Dinámica de Sistemas

Dinámica de Sistemas cumple con los requisitos de modelamiento propuestos. Permite representar la realimentación y la circularidad (Morecroft, 2007; Diehl & Sterman, 1995; Sterman, 1989), permite especificar retardos de información (Forrester, 1961), así como ofrece estructuras para describir el proceso de percepción de información (Forrester, 1992). Permite representar el procesamiento promedio y agregado de información (Morecroft, 1983). Su capacidad explicativa permite relacionar escenarios y condiciones iniciales con una estructura causal, permitiendo dar cuenta del comportamiento generado por las condiciones iniciales y la estructura (Barlas, 1996; Bell & Senge, 1980). Dinámica de Sistemas permite especificar procesos de toma de decisiones dinámicas así como los condicionantes de estos procesos (Sterman, 2000, 1989; Morecroft, 1983). La Tabla 4-9 de la página 71 resume el cubrimiento de los criterios metodológicos por Dinámica de Sistemas.

La síntesis que ofrece la Tabla 4-2 de la página 52 y la Tabla 4-3 de la página 55, permite ampliar la argumentación sobre el por qué se utilizó la Dinámica de Sistemas como herramienta para el diseño de constructo de evaluación y la evaluación de la efectividad de mecanismos aplicables a dilemas sociales de recurso de gran escala.

La situación problemática que se abordó, ofrece un conjunto de características que permiten seleccionar a la Dinámica de Sistemas como la herramienta más adecuada para su estudio mediante modelamiento. Inicialmente, la decisión sobre cuanto apropiar esta condicionada por una complejidad de carácter dinámico definida por la estructura física e institucional con la que interactúan los individuos con el recurso común y por la racionalidad limitada con la que se desarrollan y aplican las reglas con las que procesan la información disponible para decidir la cantidad a apropiar o el esfuerzo de apropiación (Ostrom & Walker, 2005; Ostrom, 2000a; Ostrom et al., 1999; Simon, 1959, 1955). La literatura ofrece argumentos que permiten suponer que los individuos se enfrentan a estas situaciones desde una racionalidad acotada, es decir, no puede asumirse que ellos poseen información perfecta e instantánea, ni que conocen las consecuencias y los pagos de todas sus decisiones, como tampoco que son perfecta y completamente racionales (Ostrom, 2000a; Simon, 1979, 1955). En general, la complejidad de la situación desborda las capacidades cognitivas de los individuos. La decisión sobre cuanto esfuerzo aplicar en cada encuentro depende de información que cambia dinámicamente a través del tiempo. Esta característica puede ser representada con Dinámica de Sistemas (Sterman, 2000, 1989; Morecroft, 1985). Las consecuencias de las acciones no se presentan de manera instantánea, sino que la configuración de la situación las ofrece de manera distorsionada y retardada (Ostrom & Walker, 2005; Ostrom, 2000a). Así mismo los individuos no cambian inmediatamente sus decisiones fruto del reconocimiento de cambios en los estados del sistema. Esta característica puede representarse con modelos en Dinámica de Sistemas (Sterman, 1989; Forrester, 1961; Sterman, 1987). Las anteriores características también pudieran ser cubiertas con modelamiento basado en agentes. No obstante, se eligió el modelamiento en Dinámica de Sistemas porque más allá de considerar el comportamiento de un individuo en específico y de sus estrategias particulares (Axelrod & Hamilton, 1981), el estudio de la dinámica de la cooperación reclamó así mismo estudiar el comportamiento promedio de los individuos en el grupo y el cómo terminan afectados por la estructura dinámica de la situación (Sterman, 2000, 1989; Forrester, 1961).

No se optó por modelar estrategias específicas para individuos, que luego como agentes artificiales intentaran aplicar al enfrentarse entre ellos, ya que no es directo ni sencillo relacionar la micro estructura con el macro comportamiento debido a la opacidad explicativa que caracteriza dicha herramienta (Srblijinovic & Skunca, 2004; Di Paolo et al., 2000). Se eligió así capturar los factores estructurales y dinámicos más importantes que afectan el comportamiento promedio de los individuos en dicha situación. El modelamiento basado en agentes ofrece algunas desventajas y limitaciones. No siempre es posible relacionar los resultados de simulación con un mecanismo de explicación (Di Paolo et al., 2000). La gran cantidad de datos generados y la dificultad para distinguir comportamientos significativos en

términos del constructo de evaluación , así como los problemas en el ajuste de parámetros, dificultan la comprensión de la situación objeto de estudio a través del modelado y simulación de agentes (Cederman, 1997). Puede ser problemático tanto el reproducir los comportamientos generados, como la comunicación del modelo mismo (Gilbert, 2001).

4.4. Uso de Dinámica de Sistemas para Enfrentar el Problema de Investigación

La metodología de la investigación permitió diseñar el constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. El esquema de evaluación se modeló para cada caso, para evaluar la plausibilidad del constructo y la efectividad de los mecanismos de cooperación aplicados en cada caso.

Este diseño consideró la evaluación del constructo como una hipótesis dinámica en términos de su plausibilidad. Luego se desarrollaron los modelos para evaluar los casos revisados. El constructo, como hipótesis dinámica se evaluó mediante un proceso de construcción de confianza en la capacidad de los modelos para los casos revisados de dar cuenta de la variación de la cantidad de esfuerzo de apropiación en los dilemas sociales estudiados (Sterman, 2000). El constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación aplicables en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala, constituye una teoría de trabajo sobre la articulación como unidad de los mecanismos a evaluar. A continuación se detalla los supuestos de dicha teoría, mediante su expresión como hipótesis dinámica.

4.5. Diseño general de la investigación

A continuación se planteará el diseño de la investigación en coherencia con la pregunta de investigación, la hipótesis y los criterios de modelamiento definidos. La pregunta de investigación que aborda la tesis se puede expresar de la siguiente manera:

¿ Puede diseñarse un constructo para evaluar la efectividad de al menos un mecanismo de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala ?

La efectividad de los mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de pequeña escala ha sido evaluada mediante constructos basados en Ostrom (2000a). No obstante, no se han encontrado referentes en la literatura sobre evaluación de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso de gran escala. Esto se explica por las diferencias en las condiciones en las que ocurre la decisión sobre el cooperar entre los dilemas de pequeña y gran escala, como se describe en la Tabla 4-10 de la página 74.

Aspecto	Pequeña Escala	Gran Escala
<i>Comunicación</i>	Cara a Cara	No necesariamente
<i>Tamaño grupo</i>	¡10	¿10
<i>Características Grupos</i>	Homogéneas	
<i>Localización de grupo</i>	Altamente localizado	Disperso
<i>Realimentación</i>	Instantánea	Retardada y distorsionada

Tabla 4-10: Relación características para la cooperación en dilemas sociales de recurso de pequeña y gran escala

Criterio Principal	Elementos
	Acción de racionalidad individual
	Objetivo Bienestar Colectivo
Bien Económico	
	Recurso Común Agotable
	Uso por encima del nivel sostenible
	Alta Sustractibilidad
	Dificultad de Exclusión
Grupo	
	Más de 10 individuos
	Características Heterogéneas
	No hay comunicación cara a cara
	Existe realimentación
	Retardos considerables
	Dificultades de Percepción
	Encuentros Indefinidos
Intervención	
	Percepción de Daño
	Posibilidad de restricción apropiación
Aprendizaje	Cooperación de largo plazo

Tabla 4-11: Resumen criterios situaciones de dilema social de recurso agotable de gran escala.

La Tabla 4-11 de la página 75 resume en detalle las condiciones que presentan los dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. Estas condiciones serán revisadas en la evaluación de cada uno de los casos a considerar.

La evaluación de la efectividad de la cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala implica estimar si la cooperación alcanzada es sostenible, si el mecanismo es capaz de promover la cooperación a pesar de condiciones de confianza inicial de cooperación no favorables, si es eficiente y oportuna la realimentación sobre el estado del recurso, las acciones del grupo y la percepción de daño por deterioro de la disponibilidad del recurso y si los mecanismos de cooperación por percepción de daño y de cooperación como norma logran una promoción y sostenibilidad de la cooperación. La Tabla **4-12** de la página 77 presenta los criterios que se aplicarán para la evaluación de la efectividad del mecanismo.

Criterios	
Recurso	
	¿Se alcanza un nivel de uso sostenible del recurso?
Cooperación	
	¿Es sostenible?
	¿Tiende hacia un Pareto Superior?
Aprendizaje	
	¿El mecanismo fomenta el aprendizaje de cooperación como norma?
Tentación Desertar	
	¿Controla la Tentación de Desertar?
Percepción de Daño	
	¿La percepción de daño produce cooperación?
Confianza	
	¿Se fomenta cooperación a pesar de las condiciones iniciales de la confianza de cooperación?
Complejidad dinámica	
	¿El mecanismo permite enfrentar la complejidad dinámica?

Tabla 4-12: Resumen criterios de efectividad propuestos para evaluar mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala

El plan de investigación responde a la pregunta y permite la evaluación de la hipótesis planteada. La hipótesis planteada se puede expresar de la siguiente forma:

Es posible diseñar al menos un constructo que permita evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación aplicables en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala

Con los anteriores elementos, el plan de investigación se ordena como sigue:

- Diseño del constructo de evaluación.
- Selección del Caso.
- Modelamiento del Caso con base en la situación y el constructo de evaluación.
- Prueba de constructo, de hipótesis y de hipótesis dinámica.
- Evaluación de la Efectividad del Mecanismo de Cooperación.

Estas actividades de investigación contienen a su vez actividades que se describen en la Tabla **4-13** de la página 79. Inicialmente se diseñó el constructo. Esta actividad se realizó siguiendo los lineamientos de la Dinámica de Sistemas para el diseño de hipótesis dinámicas (Sterman, 2000). Luego, se seleccionó un caso que cumpliera con los criterios de caso de un dilema social de recurso de gran escala en el que se hubiera aplicado al menos mecanismo de cooperación. Seleccionado el caso, se procedió a modelar el constructo para el caso particular, siguiendo los lineamientos de modelamiento de la Dinámica de Sistemas (Forrester, 1961; Sterman, 2000). Seguidamente a diseñaron simulaciones para evaluar que la hipótesis dinámica diera cuenta del comportamiento de la cooperación en el dilema social por las razones correctas (Forrester, 1961; Sterman, 2002), mediante pruebas para disprobarla (Popper, 2002). Se aplicaron pruebas a la estructura y a la capacidad del comportamiento del modelo para dar cuenta del comportamiento histórico (Sterman, 1984; Barlas, 1996).

Actividad Principal	Sub-actividades
Diseño del Esquema o Constructo	Expresión del Constructo como Hipótesis Dinámica
Selección del Caso	Revisión de cumplimiento de criterios
Evaluación de la Efectividad del Mecanismo de Cooperación	Modelamiento
	Simulación para Refutar la Hipótesis Dinámica
	Aplicación de los Criterios de Efectividad

Tabla 4-13: Plan de Investigación Desarrollado

Inicialmente se elaboró una expresión del constructo denominada hipótesis dinámica (Stermán, 2000). Dicha hipótesis sintetizó una explicación provisional de trabajo, de carácter cualitativo, que da cuenta de las relaciones que aparecen en el procesamiento de la información promedio (Stermán, 2000) acerca de la cooperación y la percepción de daño atribuidos al deterioro de la disponibilidad de la facilidad compartida por la apropiación que realizan los individuos al definir la cantidad de esfuerzo de apropiación a realizar en cada encuentro y de la forma como dicho procesamiento se ve afectado por una complejidad dinámica.

Luego, con base en la hipótesis dinámica y en las características del caso de aplicación seleccionado, se construyó un modelo matemático de simulación con base en los lineamientos metodológicos de la Dinámica de Sistemas (Forrester, 1961), que constituye una expresión específica al caso de aplicación del mecanismo explicativo. Con base en dicha expresión matemática del mecanismo, se diseñaron experimentos de simulación digital (Forrester, 1961; Stermán, 2000).

Se realizó un proceso de construcción de confianza incremental en la validez del modelo como expresión del mecanismo explicativo dinámico, mediante pruebas de validez de la estructura, pruebas de validez de la estructura orientadas al comportamiento y pruebas de comportamiento (Barlas, 1996). Luego de las pruebas aplicadas, la hipótesis y la hipótesis dinámicas siguen vigentes.

La investigación abordó la pregunta por la posibilidad de diseñar un constructo para evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. El diseño del esquema y la evaluación del mecanismos con el esquema supuso evaluar la plausibilidad de la hipótesis, en la que se asumió la representación de la variación con respecto al tiempo del esfuerzo promedio mediante el constructo diseñado.

4.6. Constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso de gran escala expresado como hipótesis dinámica

En el Capítulo 2 de la página 10 se explicó cómo la efectividad del mecanismo de cooperación basada en confianza (Ostrom, 2000a) ha sido evaluada para situaciones de campo (Cardenas & Ostrom, 2004) y de laboratorio (Ostrom et al., 1994). En el Capítulo 3 de la página 30 se ampliaron las características más importantes de los dilemas sociales de gran escala y cómo es problemática la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación dadas sus condiciones particulares. En este Capítulo se ha argumentado a favor de la Dinámica de Sistemas como el mejor instrumento para diseñar tal constructo de evaluación de la cooperación. El constructo de cooperación diseñado se expresa mediante una hipótesis dinámica. A continuación se traen de nuevo los elementos fundamentales que han orientado su diseño.

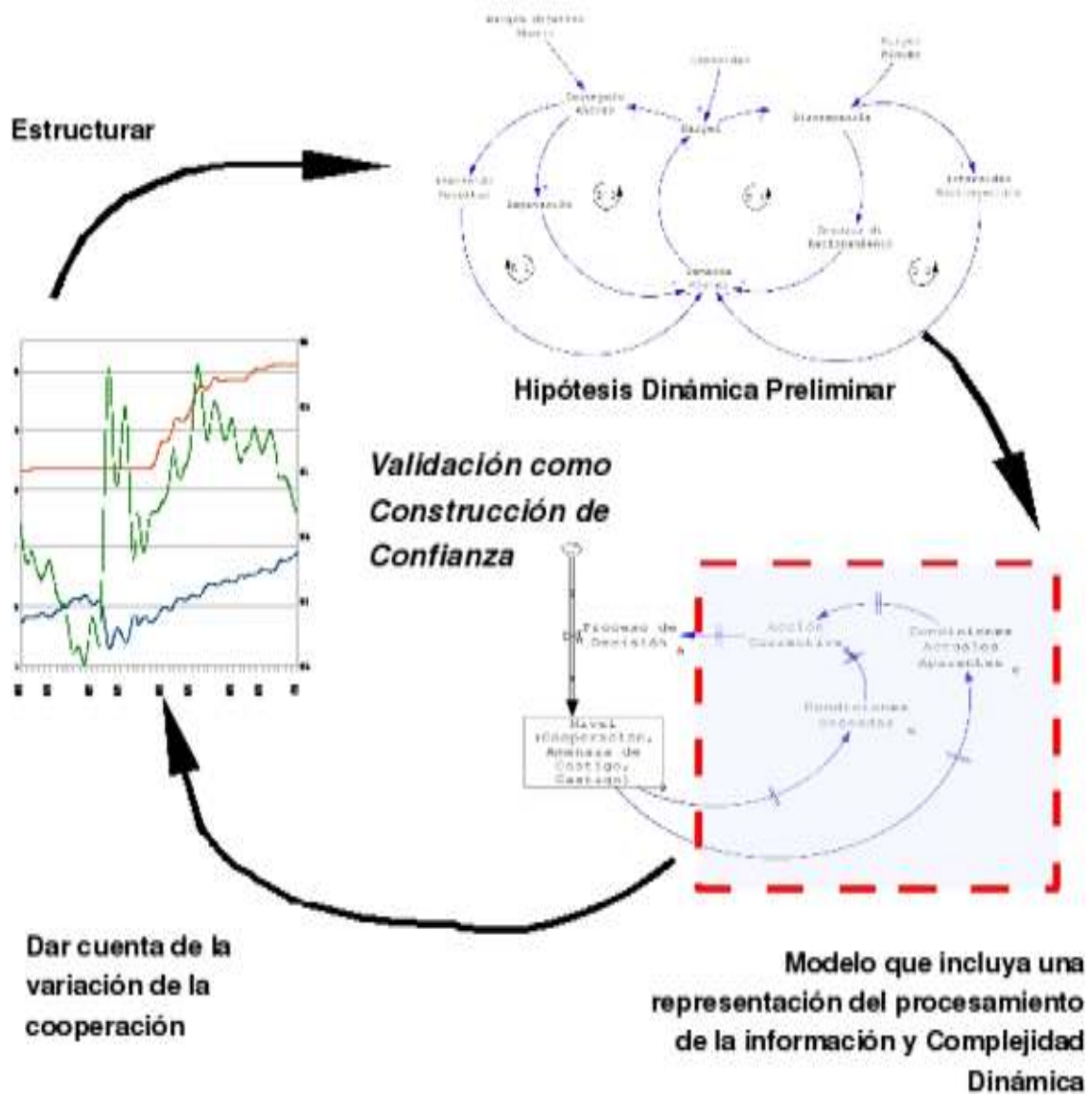


Figura 4-1: Elementos fundamentales de la metodología

En esta tesis se entiende que un constructo es una estructura que articula la forma como se logra un objetivo social mediante uno o varios mecanismos con el objeto de evaluar su efectividad en el logro del objetivo social.

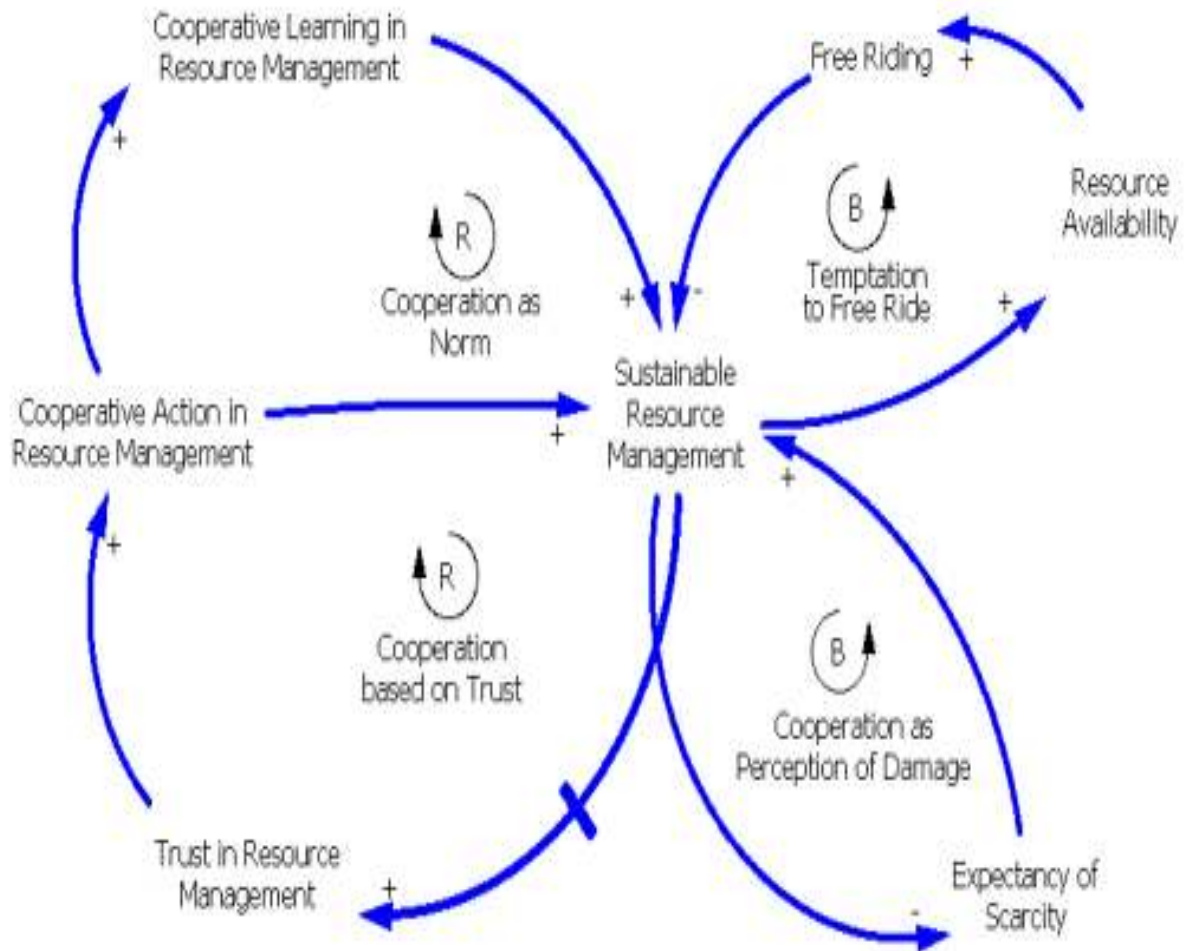


Figura 4-2: Constructo expresado como hipótesis dinámica

El constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala incluye retardos y estructuras para representar la distorsión de la información sobre el estado del recurso y el proceso de percepción de cambios en las tendencias de tales datos. Este aporte, que no se ha encontrado referido en la literatura revisada, permite incluir en el modelo consideraciones de Sterman (1989) sobre los efectos que la percepción inadecuada de la realimentación puede tener sobre el proceso de toma de decisiones dinámicas.

Este constructo se diseña para evaluar la efectividad de mecanismos para la cooperación aplicados en recursos comunes agotables objeto de dilemas sociales de gran escala. La expresión del constructo como hipótesis dinámica general está constituida por cuatro ciclos de realimentación, dos de balance y dos de refuerzo. Los ciclos de refuerzo representan los efectos de la cooperación sobre la disponibilidad del recurso común tanto en el corto como en el largo plazo. La Figura 4-2 en la página 83 presenta la hipótesis dinámica general.

4.6.1. Tentación de Desertar

El ciclo de Tentación de desertar ha sido utilizado por Castillo & Saysel (2005) para representar la tendencia de los grupos de aprovecharse de la cooperación de los demás cuando esta produce mejoramiento en la disponibilidad del recurso. Con base en la revisión de la literatura realizada, se supone que este ciclo no se ha utilizado en dilemas sociales de gran escala. Este ciclo no hace parte del mecanismo propuesto por Ostrom (2000a).

4.6.2. Mecanismo de Cooperación basado en Confianza

Ostrom (2000a) propone un mecanismo de cooperación basado en la construcción de confianza que ha sido evaluado en situaciones de campo y de laboratorio. Castillo & Saysel (2005) interpretaron el mecanismo propuesto por Ostrom (2000a) para dar cuenta del comportamiento de pescadores alrededor de un experimento sobre comunes agotables en la Isla de Providencia, Colombia.

Ostrom (2000a); Castillo & Saysel (2005) son referentes para el diseño del mecanismo de cooperación basado en confianza, de tipo refuerzo, que se presenta en la hipótesis dinámica de la Figura 4-2 de la página 83. A mayor disponibilidad de recurso, mayor confianza de cooperación, lo que a su vez permitirá incremento de la acción cooperativa, lo que a su vez mejorará la disponibilidad del recurso. El ciclo considera el comportamiento en sentido contrario. Una disminución en la disponibilidad del recurso reduce la confianza, lo que a su vez reduce la acción cooperativa, lo que deteriora la disponibilidad del recurso. Este ciclo es responsable de la dependencia de la cooperación a las condiciones iniciales de confianza. En el corto plazo la confianza genera la acción cooperativa que mejora la disponibilidad del recurso, lo que a su vez genera nueva confianza de cooperación.

4.6.3. La Cooperación y la Expectativa de Daño

Este mecanismo de cooperación por percepción de daño es implementado mediante el ciclo de Expectativa, permite representar el efecto que sobre la disponibilidad del recurso tiene la percepción de daño por deterioro de la disponibilidad del recurso. La reducción en la disponibilidad del recurso puede ser utilizada para aumentar la percepción de daño por deterioro del recurso, lo que a su vez contribuye a mejorar la disponibilidad del recurso. Los anuncios de racionamientos en las crisis de electricidad han sido utilizados para incrementar la percepción de daño por deterioro del recurso y han producido reducciones en la demanda (Goldman et al., 2002). El castigo y la percepción de daño ha sido referidas por Schelling (1958), pero no se ha encontrado una estructura como la que se ha diseñado en la Literatura revisada.

4.6.4. La cooperación y el aprendizaje social

Este mecanismo de cooperación como norma es representado mediante el ciclo de Aprendizaje Social, permite representar el proceso de aprendizaje de la cooperación como norma. Luego de repetidos encuentros de cooperación, los individuos que adoptan la cooperación como norma no requieren de confianza de cooperación para cooperar. A mayores experiencias pasadas de cooperación, mayor aprendizaje de cooperación como norma, lo que a su vez permite la acción cooperativa que mejora la disponibilidad del recurso. La posibilidad del aprendizaje de la cooperación como una consideración para extender la teoría de cooperación de pequeña escala a los dilemas de gran escala ha sido considerada por Biel et al. (1999). En el largo plazo un proceso de aprendizaje de cooperación que permite lograr y sostener la disponibilidad del recurso. Los ciclos de balance definen la tentación de desertar y las expectativas de escasez. A mayor disponibilidad del recurso se presentará mayor tentación de desertar, lo que a su vez conlleva a una reducción de la disponibilidad del recurso. La reducción de la disponibilidad del recurso aumenta la expectativa de restricción del recurso, lo que conlleva a un aumento de la cooperación.

4.7. Discusión

Este capítulo presentó las herramientas disponibles para abordar el problema, así como los criterios definidos con base en los requerimientos de diseño del constructo y en las características particulares que ofrecen los dilemas sociales de recurso de gran escala. Se argumentó a favor de la Dinámica de Sistemas como la mejor herramienta entre las herramientas disponibles para llevar a cabo el diseño del mecanismo, dado que cubre con suficiencia las condiciones específicas de los dilemas sociales de recurso común agotable de gran escala y los requerimientos para el diseño de mecanismos. Se ha indicado cómo la Dinámica de Sistemas permite el diseño del constructo, así como conducir el modelamiento de los casos para evaluar

la hipótesis dinámica y evaluar los mecanismos de cooperación revisados.

En este capítulo se ha presentado el constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación aplicados a dilemas sociales de recurso agotable de gran escala, mediante una expresión de hipótesis dinámica. El constructo satisface las características de requerimiento para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación aplicables en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. Se ha ilustrado cómo el constructo diseñado permite la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. El constructo se asume como una hipótesis dinámica que describe una posible forma de integrar como unidad mecanismos de cooperación en la situación específica y particular de los dilemas sociales de gran escala. En los próximos capítulos, las pruebas aplicadas buscarán refutar el constructo como hipótesis. El constructo de evaluación será evaluado en dos sentidos mediante su modelamiento en cada uno de los casos. En primera instancia, el modelamiento y simulación del constructo permitirá evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación aplicados a situaciones de dilema social de recurso agotable de gran escala. En segunda instancia, los casos permitirán aplicar pruebas para refutar la hipótesis. Se ilustrará cómo luego de las pruebas realizadas, el constructo y la hipótesis general se mantienen vigentes.

5 Casos Históricos: Crisis de Electricidad Colombia 1992 y California 2001

Este capítulo presenta la aplicación del constructo de evaluación para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dos casos históricos de dilemas sociales de recurso agotable de gran escala: la crisis de electricidad de Colombia 1992 y la crisis de electricidad de California 2001. Para los dos casos se hará una presentación de la situación, se evaluará el cumplimiento de requerimientos de caso. Luego se presentará el modelo de evaluación diseñado y las pruebas de simulación realizadas. Finalmente, luego de representar una síntesis de los resultados obtenidos, se discuten los resultados obtenidos.

5.1. Crisis de Electricidad de Colombia 1992

La situación de crisis ocurrió hacia finales de 1992. La Figura 5-1 de la página 88 ilustra el comportamiento de la demanda de potencia máxima, la capacidad neta y el margen entre los años 1991 y 1994 (UPME, 2010). En Colombia se destacan dos periodos de crisis en la provisión de electricidad, ambos atribuidos a los efectos que sobre la generación ha tenido la ocurrencia del ENSO¹, entre el 1992 y 1993 y en 1995, en gracia de que gran parte de la generación de electricidad proviene de hidroeléctricas. La Figura 5-1 en la página 88 presenta datos para potencia máxima, capacidad neta y margen en Colombia entre 1991 y 1994 (UPME, 2010). En Figura 5-1 se observa el deterioro del margen a finales de 1992, un leve mejoramiento unas semanas antes del racionamiento, y luego de terminado el racionamiento la demanda mantiene un nivel comparable al alcanzado durante el año en el que se prolongó el racionamiento. En dicho periodo ocurre una crisis de electricidad.

La crisis del 92-93 se atribuyó parcialmente al fenómeno del Niño (ENSO), que ocasionó un periodo de fuerte sequía, que redujo la disponibilidad de agua en la mayoría de embalses. El sector eléctrico, con una base de generación mayoritariamente hidráulica, soportaba una grave crisis económica que afectó la confiabilidad de las centrales generadoras a carbón y gas. Algunas generadoras térmicas que debieron entrar a ofrecer respaldo terminaron fuera

¹El Niño-Southern Oscillation (ENSO) es considerado un patrón casi periódico del clima que ocurren en la cuenca del océano pacífico con un ciclo de aproximadamente 5 años. Se caracteriza por cambios en la presión superficial del océano Pacífico de la costa tropical occidental de Sur América. En su estado cálido, denominado El Niño, puede producir sequías en gran parte de la cuenca pacífica de Sur América. Los mecanismos que producen este fenómeno son objeto de estudio.

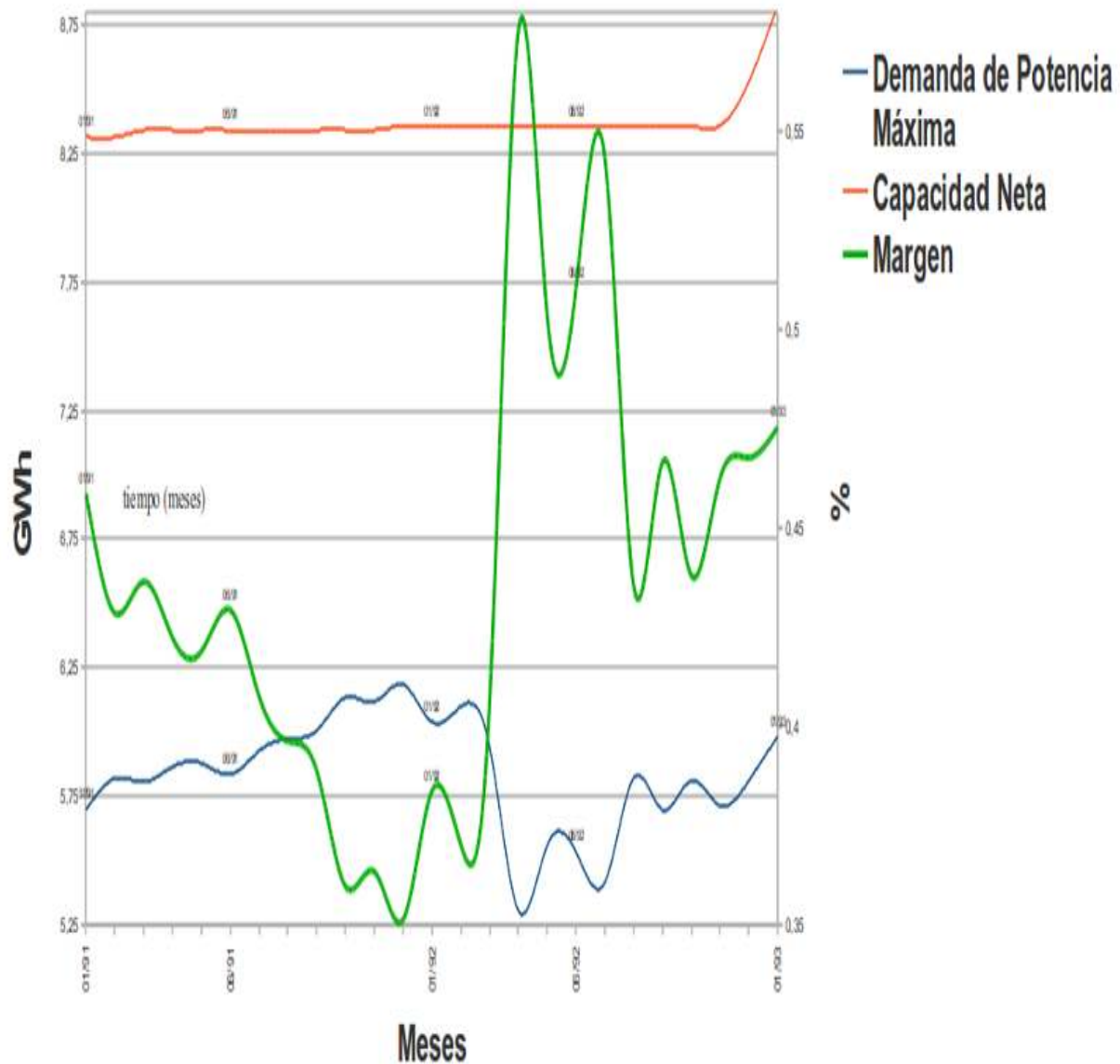


Figura 5-1: Demanda de potencia máxima, capacidad neta y margen en Colombia 1991-1994 (UPME, 2010)

de servicio ya que no contaban con el mantenimiento respectivo. Para 1991 la composición de la electricidad en Colombia por origen era 78.1 % hidráulica y 21.9 % térmica. Las condiciones hidrológicas fueron especialmente inciertas. El ENSO produjo los niveles hidrológicos más bajos de la historia, después de los registrados en 1958 (Presidencia de la República de Colombia, 1992). Adicionalmente, las plantas térmicas no operaron a completa capacidad debido a problemas atribuidos a la falta de mantenimiento, el sabotaje sindical y la falta de combustible, en el marco de una creciente deuda (Presidencia de la República de Colombia, 1992).

La conjunción de estos factores llevó a un déficit en la generación nacional de energía eléctrica igual a un 25 %, lo que acarreó pérdidas económicas calculadas en 35 millones de dólares semanales (Presidencia de la República de Colombia, 1992). La Figura 5-2 en la página 90 presenta datos sobre el racionamiento practicado en Colombia entre marzo y junio de 1992 (Presidencia de la República de Colombia, 1992).

Colombia fue sometida a un racionamiento eléctrico desde el 2 de marzo de 1992 hasta el 1 de abril de 1993 que tuvo una intensidad promedio superior a las 4 horas diarias. Para enfrentar la crisis, el gobierno decreta la emergencia económica y social con el decreto 680 de abril 23 de 1992 (Presidencia de la República de Colombia, 1992).

En la Figura 5-3 de la página 91 se ilustra el racionamiento aplicado según el Ministerio de Minas y Energía. Se llegaron a esperar racionamientos de un 25 % de la demanda en promedio. La cantidad racionada efectivamente aplicada osciló entre el 18 % y el 26 %. El costo semanal del racionamiento para la economía se calculó entre 25 y 45 millones de dólares (Corte Constitucional Sentencia No. C-447/92, 1992).

Durante este periodo Colombia generaba electricidad mediante un mercado monopolístico de empresas propiedad del estado, en donde, a pesar de la tendencia de aumento tarifas, no existía un mercado de precios propiamente dicho. La Figura 5-4 en la página 92 presenta el Margen de Generación y Tarifa Media en Colombia 1991-1994 (UPME, 2010; Corte Constitucional Sentencia No. C-447/92, 1992).

Como consecuencia de la des-regularización de mercado eléctrico colombiano, que se estableció para evitar nuevos racionamientos, opera un mercado mayorista de precios de electricidad, que hoy en día ofrece señales sobre la disponibilidad de electricidad en el sistema.

5.1.1. Revisión cumplimiento de condiciones de caso para la Crisis de Colombia 1992

La Tabla 5-1 de la página 93 presenta la evaluación de cumplimiento de condiciones de caso para la crisis de electricidad como dilema social de recurso agotable de gran escala.

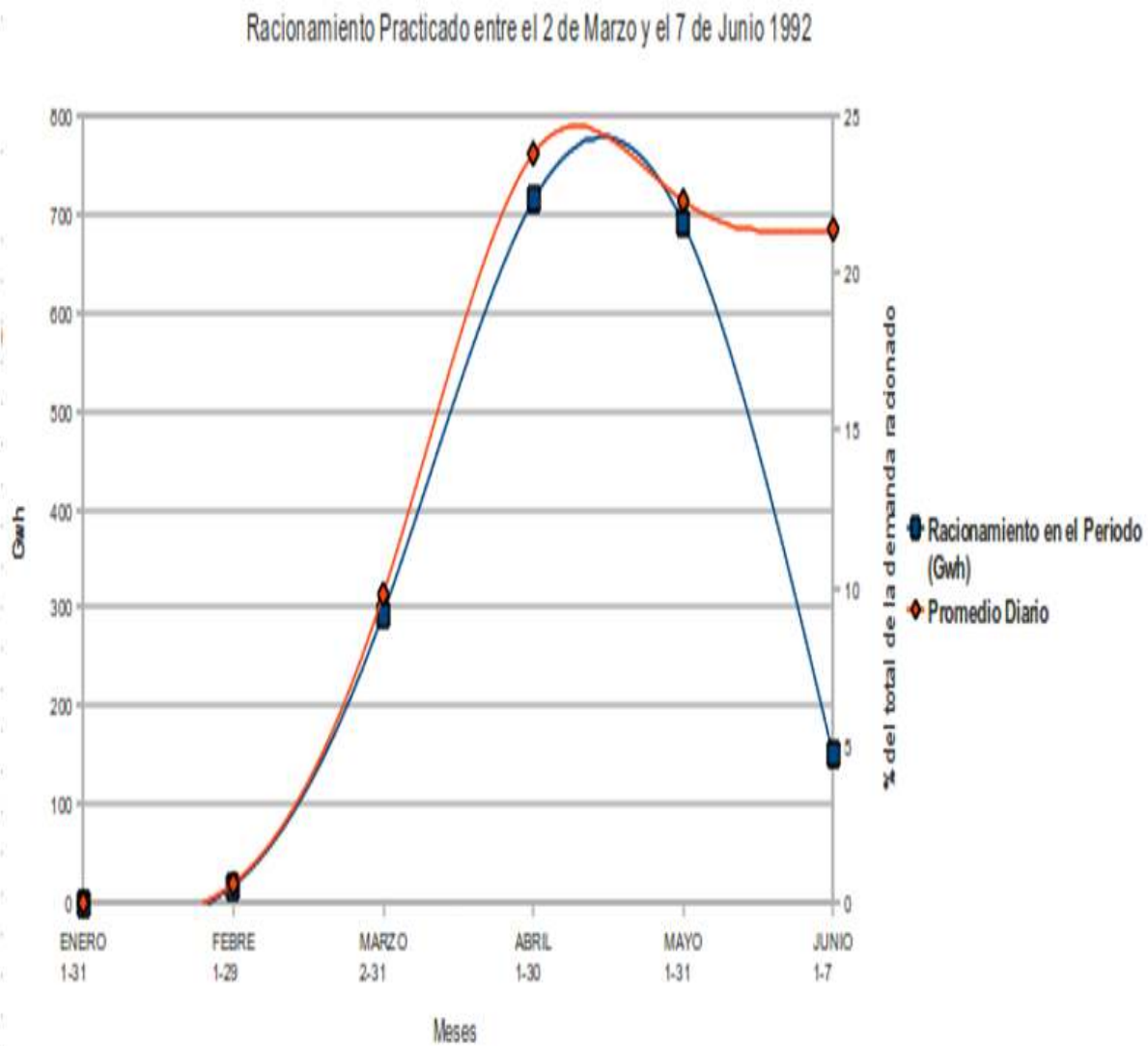


Figura 5-2: Porcentaje de la demanda esperada y realizada en Colombia entre marzo y junio de 1992 (Presidencia de la República de Colombia, 1992)

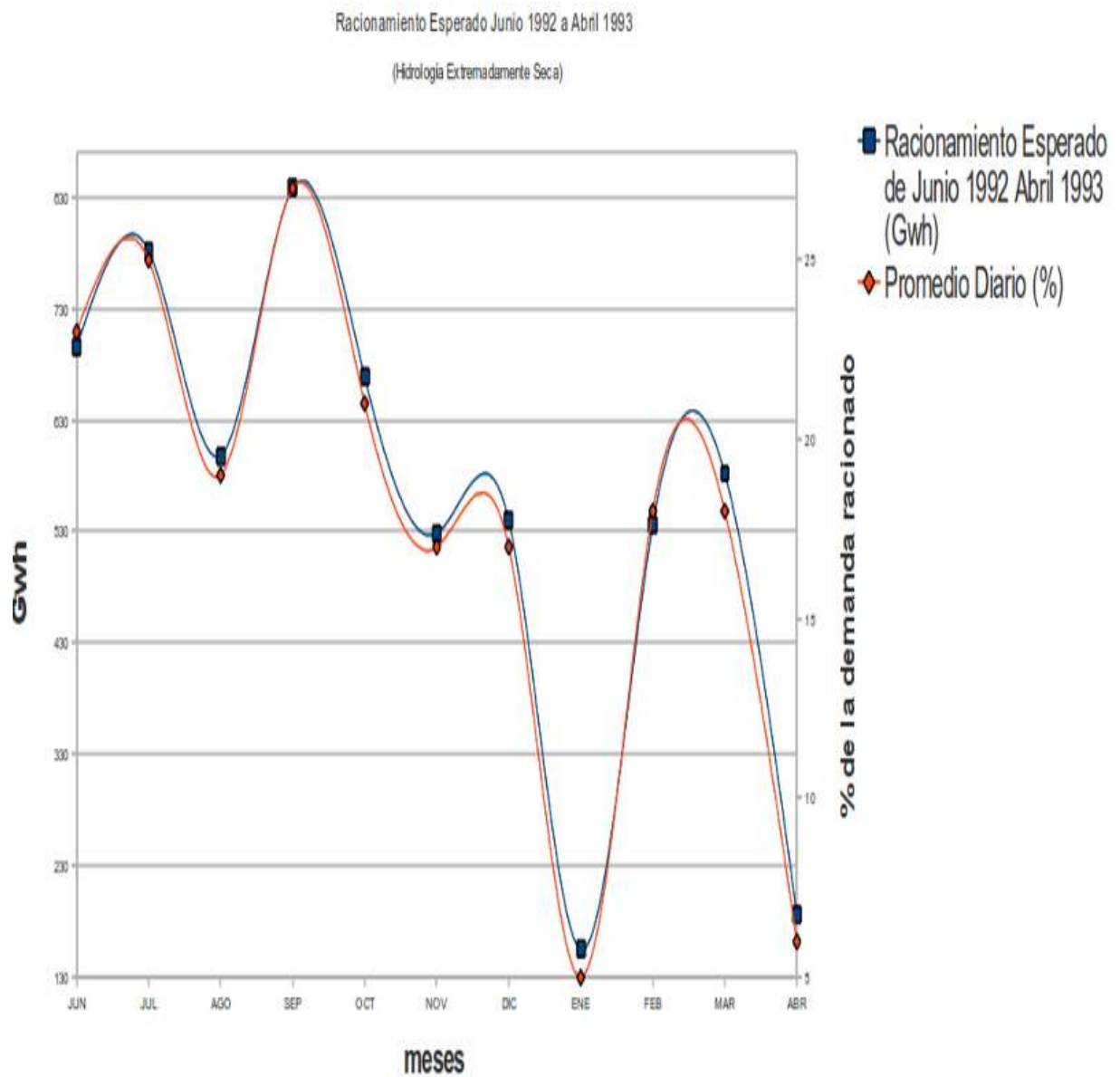


Figura 5-3: Racionamiento esperado en Colombia Junio 1992 Abril de 1993 en un escenario de hidrología extremadamente seca (Presidencia de la República de Colombia, 1992)

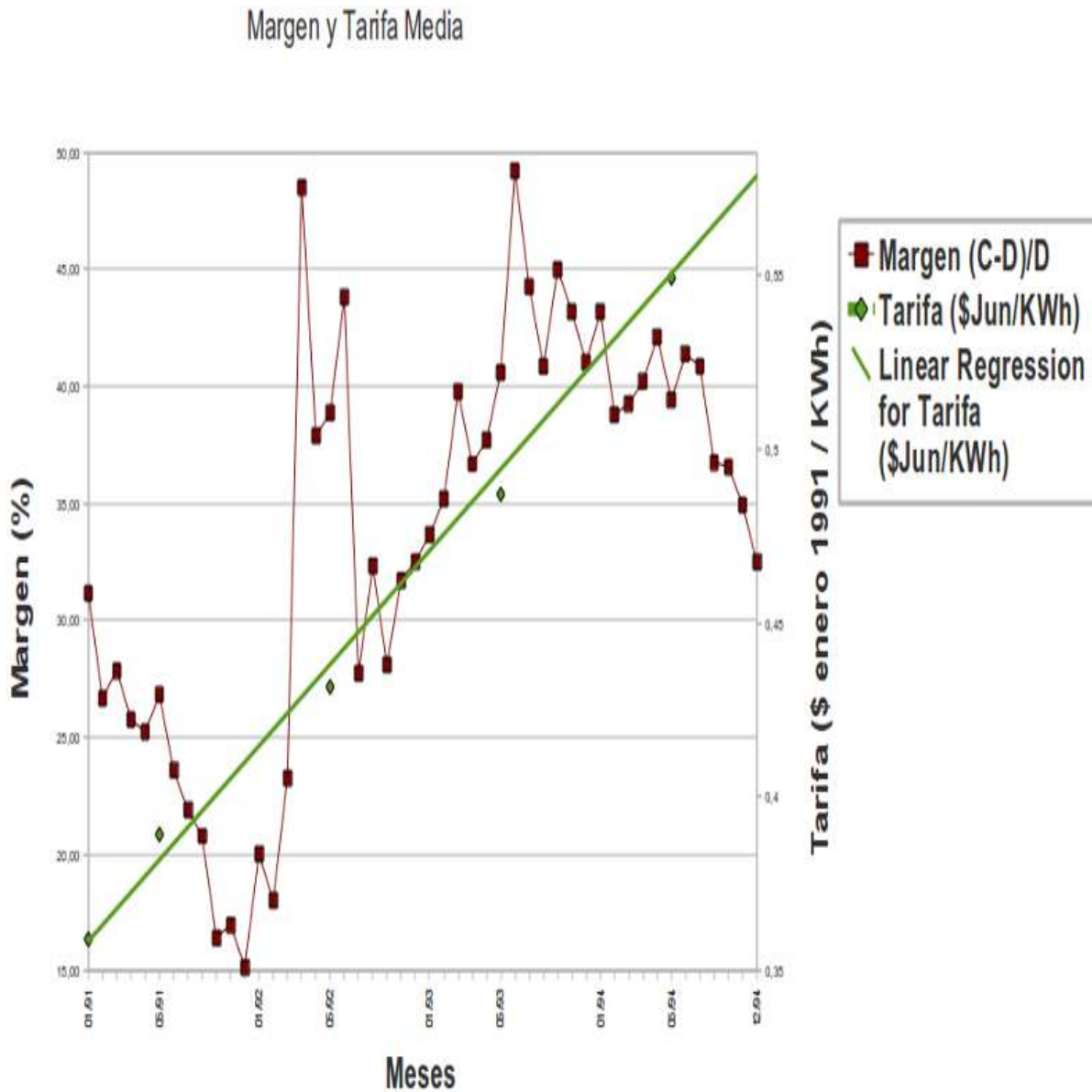


Figura 5-4: Margen de Generación y Tarifa Media en Colombia 1991-1994 (Presidencia de la República de Colombia, 1992; UPME, 2010).

Dilema Social	Elementos	Cumple
	Acción de racionalidad individual	Incremento de la demanda
	Objetivo Bienestar Colectivo	Reducir la demanda y mejorar el margen
Bien Económico		
	Recurso Común Agotable	Electricidad, la capacidad no puede incrementarse en el corto plazo
	Uso por encima del nivel sostenible	La crisis supone una reducción del margen que puede ocasionar apagones.
	Alta Sustractibilidad	La electricidad utilizada por un usuario no se encuentra disponible para otro.
	Dificultad de Exclusión	No es fácil excluir a apropiadores.
Grupo		
	Más de 10 individuos	Población Colombia 1992 36'406.000 (Dane, 2010) la gran mayoría con capacidad de actuar sobre la demanda de electricidad.
	Características Heterogéneas	La población colombiana es heterogénea en términos de sus intereses.
	No hay comunicación cara a cara	No ocurrió comunicación cara a cara en el sentido del tratamiento de comunicación utilizado en dilemas de pequeña escala.
	Existe realimentación	Los medios de comunicación ofrecieron indicadores de desempeño (estado de los embalses y ahorro por regiones). El número de horas de racionamiento permitió una aproximación sobre los efectos de las acciones de los individuos, premiando o castigando.
	Retardos considerables	Factura entregada hasta con 2 meses de retardo. Retardo en la presentación en los medios de comunicación.
	Dificultades de Percepción	Se requirió un tiempo para que los individuos pudieran asimilar la gravedad de la crisis.
	Encuentros Indefinidos	No se ofreció una certidumbre sobre el tiempo que podría durar la crisis.
Intervención		Se instauró racionamiento eléctrico en todo el territorio nacional.
	Percepción de Daño	La intensidad del racionamiento pronosticado y aplicado hicieron creíble el daño por la utilización excesiva del recurso.
	Posibilidad restricción apropiación	Los individuos iniciaron acciones para reducir su consumo de electricidad.
Aprendizaje	Cooperación de largo plazo	Los individuos aprendieron a cooperar, con lo que superaron la crisis. Luego de terminado el racionamiento, mantuvieron el consumo de electricidad a niveles comparables a los alcanzados durante el racionamiento.

Tabla 5-1: Evaluación de condiciones para la crisis de electricidad de Colombia 1992 como dilema social de recurso agotable de gran escala.

En el racionamiento de Colombia del 92-93, la demanda de electricidad superaría la oferta dada la situación de sequía y el estado de las generadoras termoeléctricas. En 1992 los precios de la electricidad ni siquiera cubrían los costos de producción. En el 1995 las condiciones de mercado establecen que a pesar de existir un mercado de electricidad mayorista, el racionamiento se establece cuando el precio alcanza un cierto valor pre-definido. En situación de racionamiento y dada la inelasticidad de la demanda con respecto al precio, los precios no ofrecen señales lo suficientemente claras y oportunas para que por sí solos logren la reducción de la demanda hasta recuperar el margen de seguridad. Cabe anotar que los precios en Colombia, como en la gran mayoría de los países, tienen un retraso por facturación de uno hasta dos meses dependiendo de la tecnología de facturación del distribuidor minorista y la electricidad consumida por un usuario ya no se encuentra disponible para los demás. Gracias a todo lo anterior se presenta un dilema social de recurso común agotable de gran escala.

5.1.2. Mecanismos de cooperación en crisis de electricidad Colombia 1992

La Figura 5-5 de la página 95 indica los efectos sobre el comportamiento de la demanda de los diferentes mecanismos aplicados. En la crisis de electricidad de Colombia 1992 se pueden distinguir los siguientes mecanismos de cooperación:

1. **Cooperación por percepción de daño.** Luego a anunciados la crisis y los racionamientos y antes de que estos iniciaran efectivamente, se produjo un mejoramiento del margen. Se realiza un racionamiento de un 25 % de la demanda, durante trece meses.
2. **Cooperación por confianza.** Durante el racionamiento, se produce una dinámica de oscilación de la demanda por cooperación por confianza y tentación de desertar.
3. **Cooperación como norma.** Luego de terminada la restricción la cooperación se mantiene gracias al aprendizaje de la cooperación como norma.

5.1.3. Evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación la crisis de electricidad de Colombia 1992

Luego de la presentación del caso y de la revisión del cumplimiento de los requisitos de caso como dilema social de recurso agotable de gran escala en el que se aplicaron mecanismos de cooperación, se presenta la evaluación de la efectividad de dichos mecanismos. Inicialmente se presenta el constructo especificado para crisis de electricidad, luego se presentará el modelo y las simulaciones realizadas.

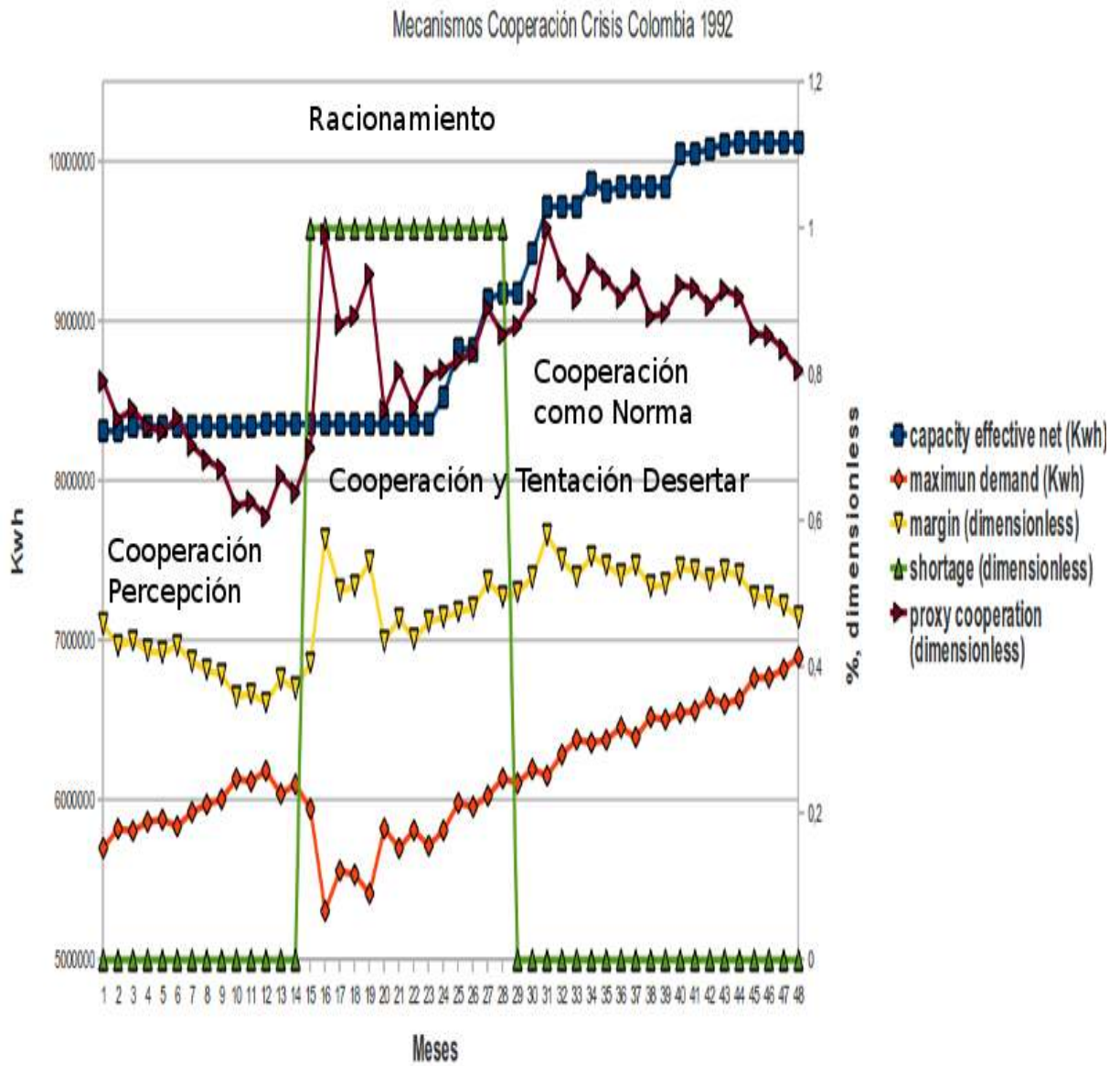


Figura 5-5: Mecanismos de cooperación supuestos para la crisis de electricidad de Colombia 1992. Basado en los datos de (UPME, 2010).

Constructo para Evaluación de la Efectividad de Mecanismos de Cooperación en Crisis de Electricidad asumidas como Dilemas Sociales de Gran Escala

La Figura 5-6 de la página 97 ilustra el constructo de evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en crisis de electricidad como dilemas sociales de recurso agotable de gran escala expresado mediante la hipótesis dinámica. Durante la crisis es posible identificar evidencias de la aplicación de los mecanismos de cooperación. Unos meses antes del inicio del racionamiento, se puede observar que se presenta una reducción de la demanda con el consiguiente aumento del margen. Se sugirió que la expectativa de racionamiento produjo una alerta social que llevó a una reducción de la demanda. Esta es una manifestación del mecanismo de cooperación por percepción de daño por deterioro del recurso.

Luego de terminado el racionamiento se puede observar que la demanda no regresa de nuevo al curso previo al inicio del racionamiento. A pesar que parte de este fenómeno se puede explicar por sustitución de la demanda, se propuso que la explicación completa del sostenimiento de la demanda en los mismos niveles logrados durante el racionamiento no es posible sin considerar la cooperación. Se propuso como hipótesis que luego de un periodo de racionamiento los individuos y grupos logran un aprendizaje de cooperación de largo plazo que permitió mantener la tendencia de la demanda al mismo nivel de la alcanzada con el racionamiento, como consecuencia del mecanismo de cooperación como norma.

El constructo expresado como hipótesis dinámica, que se presenta en la Figura 5-7 de la página 99 incluye los siguientes ciclos y mecanismos:

- **Ciclo de Balance: Desertar.** Al momento que se logran niveles de ahorro, ocurre la tentación de aprovecharse del ahorro logrado por el grupo. A mayor ahorro, mayor tentación de aprovecharse del ahorro colectivo, lo cual aumenta la demanda.
- **Mecanismo de cooperación basada en confianza: Ciclo de Refuerzo: Cooperación.** Este ciclo considera el efecto de la construcción de confianza de cooperación en el ahorro de energía, gracias al cumplimiento sostenido del objetivo de ahorro definido en el margen deseado. Una confianza de cooperación permite mantener el ahorro a través del tiempo. Este ciclo podría incluir escaladas de aumento de la demanda consecuencia de desempeños de ahorro pobres.
- **Mecanismo cooperación por percepción de daño: Ciclo de Balance: Expectativa.** Este ciclo considera el efecto dinámico que tiene la simple amenaza de racionamiento sobre los consumidores. Cuando el regulador informa sobre el estado del margen, el margen mínimo y el margen de ahorro definido para evitar los racionamientos, se genera un efecto de persuasión en los consumidores que los lleva a reducir su demanda. Si se aleja el margen de los mínimos, baja la percepción de amenaza y aumenta la demanda. Este ciclo incluye la aplicación efectiva de castigos para controlar la demanda, mediante la aplicación efectiva de racionamientos. El racionamiento fun-

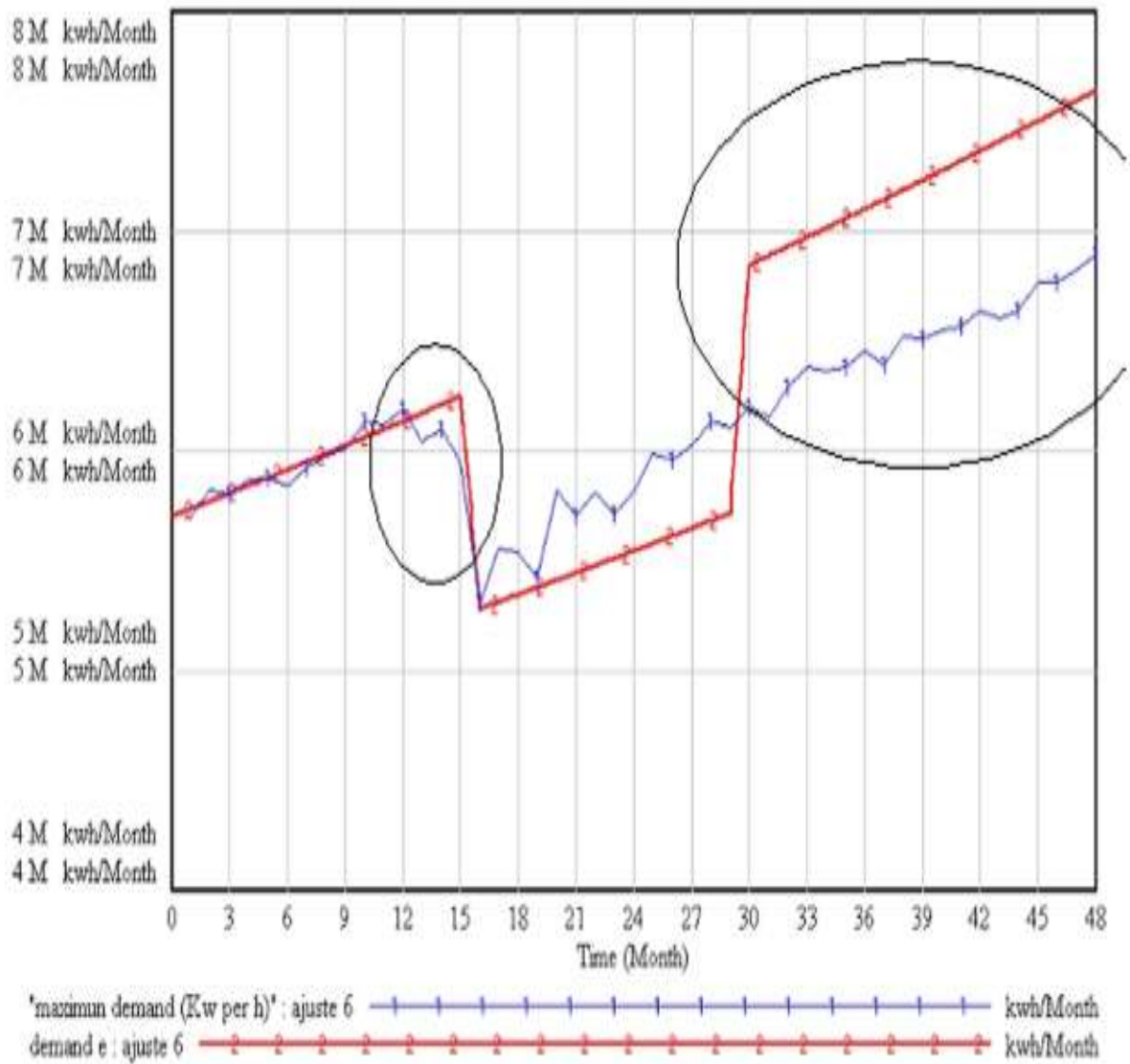


Figura 5-6: Indicación de los mecanismos percepción de daño y cooperación como norma y su efecto en la demanda de electricidad para la crisis de electricidad de Colombia 1992-1993

ciona al persuadir para reducir la demanda. La disminución de la intensidad de los castigos tendría como efecto un aumento en la demanda.

- **Mecanismo cooperación como norma: Ciclo de Refuerzo: Aprendizaje Social.** La cooperación se acumula en un aprendizaje de cooperación de largo plazo como norma. De esta forma la cooperación puede sostenerse durante la vida media de la norma de cooperación aprendida.

Estructura general del modelo

La Figura 5-8 de la página 101 presenta una representación de la estructura del modelo diseñado para evaluar la efectividad de los mecanismos de cooperación utilizados en la crisis de electricidad de Colombia 1992, asumida como un dilema social de recurso agotable de gran escala. Se presentan los cuatro ciclos de realimentación más importantes en la determinación del comportamiento de los mecanismos.

Los ciclos definidos articulan el funcionamiento de estructuras flujo nivel que determinan el comportamiento de las variables y mecanismos más importantes de cada ciclo de la siguiente manera:

- Mecanismo cooperación basada en confianza: Ciclo cooperación. Este ciclo determina la acción cooperativa en función de la confianza de cooperación. Esta cooperación basada en la confianza es de corto plazo. La confianza reside en el nivel en función de su vida media. La confianza a su vez determina la magnitud de la acción cooperativa, que a su vez determina el grado de reducción de la demanda.
- Mecanismo cooperación como norma: Ciclo de aprendizaje social. La acción cooperativa de largo plazo puede permitir la acumulación de experiencias de aprendizaje que suponen la adopción de una cooperación como norma de largo plazo. En el caso de la crisis de electricidad de Colombia 1992, los individuos aprendieron a cooperar luego de 13 meses de restricción. Esto permitió mantener el nivel de demanda luego de finalizada la restricción y durante algunos meses más, en función de la vida media de la Cooperación como norma.
- Ciclo Free Ride (Tentación de Desertar): Los resultados en el mejoramiento de la disponibilidad del recurso producen tentación de desertar, que se conserva en la memoria del grupo con una vida media, cuyo valor depende de el valor relativo que para cada grupo tenga el modelo de elección racional.
- Mecanismo cooperación percepción de daño: Ciclo Expectativa. La percepción de daño por deterioro en la disponibilidad de electricidad se produce por reducciones que generan alarma social en el grupo, mediante notas de los medios de comunicación social.

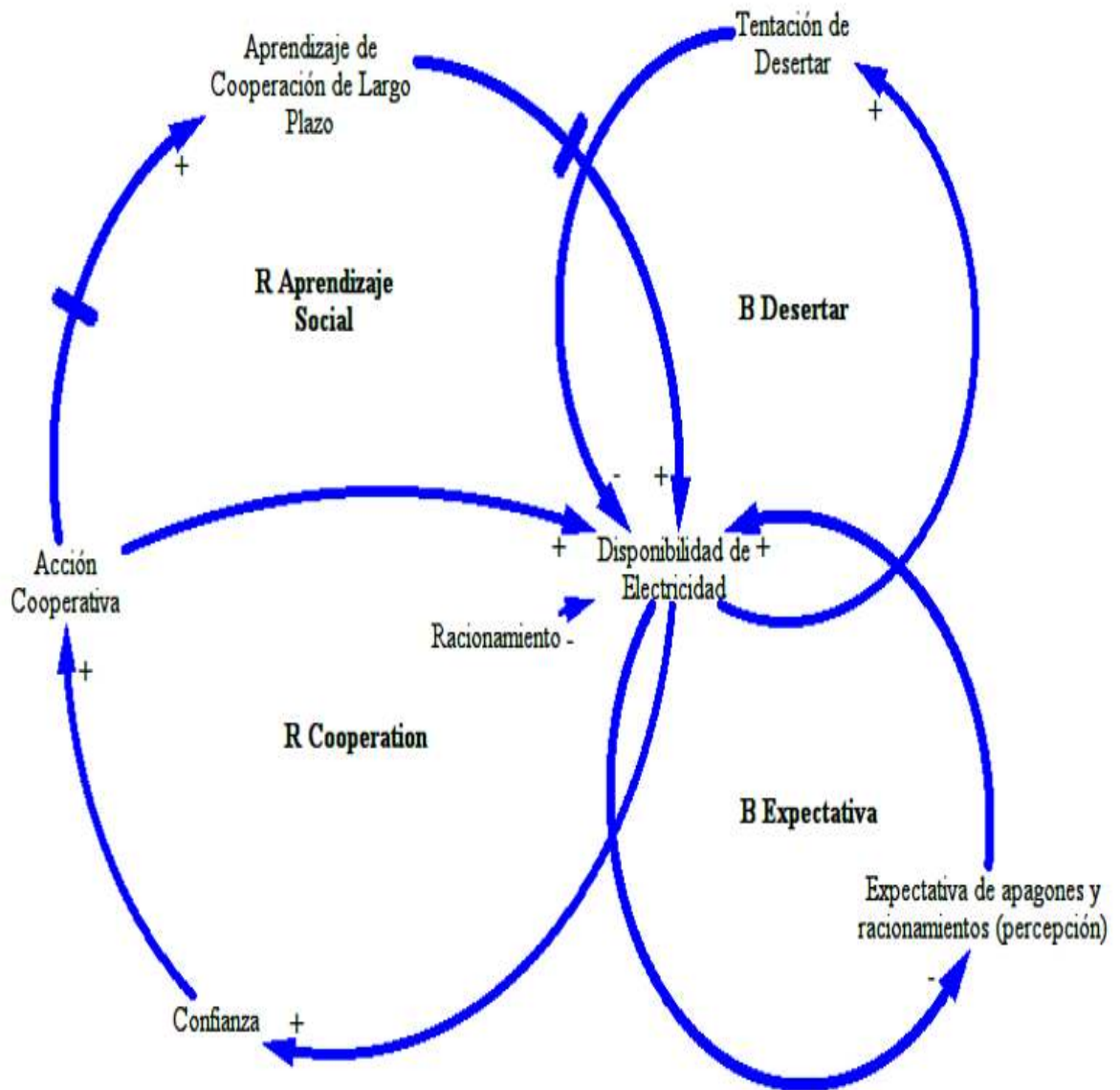


Figura 5-7: Constructo expresado como hipótesis dinámica para la crisis de electricidad de Colombia 1992-1993 asumida como dilema social de recurso de gran escala.

La percepción de daño se mantiene produciendo un efecto de reducción de la demanda de electricidad en función de su vida media.

Alcance del modelo

La Tabla 5-2 de la página 100 describe las fronteras del modelo. Se presentan las variables que han sido incluidas como endógenas, las variables que se han definido como exógenas y las variables excluidas del modelo. Las variables endógenas son definidas por las propias ecuaciones del modelo. Las exógenas reciben datos históricos que pueden ofrecer mayor realismo, pero no se consideran centrales en la dinámica del modelo. Las variables excluidas se han definido por fuera del alcance del modelo.

Se ofrece a continuación argumentos para justificar las variables excluidas. En el caso del precio de la electricidad, como se ilustra en la presentación del caso, el precio de monopolio que regía para Colombia no representaba una señal en términos de disponibilidad de electricidad. Sólo años más tarde se estableció un mercado mayorista de electricidad que pudiera ofrecer señales a los consumidores sobre la disponibilidad de la electricidad. Debido a que se pretendió construir el modelo como medio para diseñar el mecanismo para la cooperación en dilemas sociales de recurso de gran escala, algunas variables estacionales de gran impacto, como el PIB y el clima no se tienen en cuenta de manera explícita. El clima determinó la capacidad de generación, pero esta se asumió como variable exógena. De igual manera la aplicación del racionamiento y su intensidad se asumieron como decisiones que afectan el modelo, pero que no se ven afectadas a su vez por este.

Endógenas	Exógenas	Excluidas
Demanda	Capacidad	Precio Electricidad
Cooperación	Racionamiento	PIB
Confianza		Clima
Percepción Amenaza		
Racionamiento		
Free Riding		

Tabla 5-2: Fronteras del Modelo Crisis de Electricidad Colombia 1992.

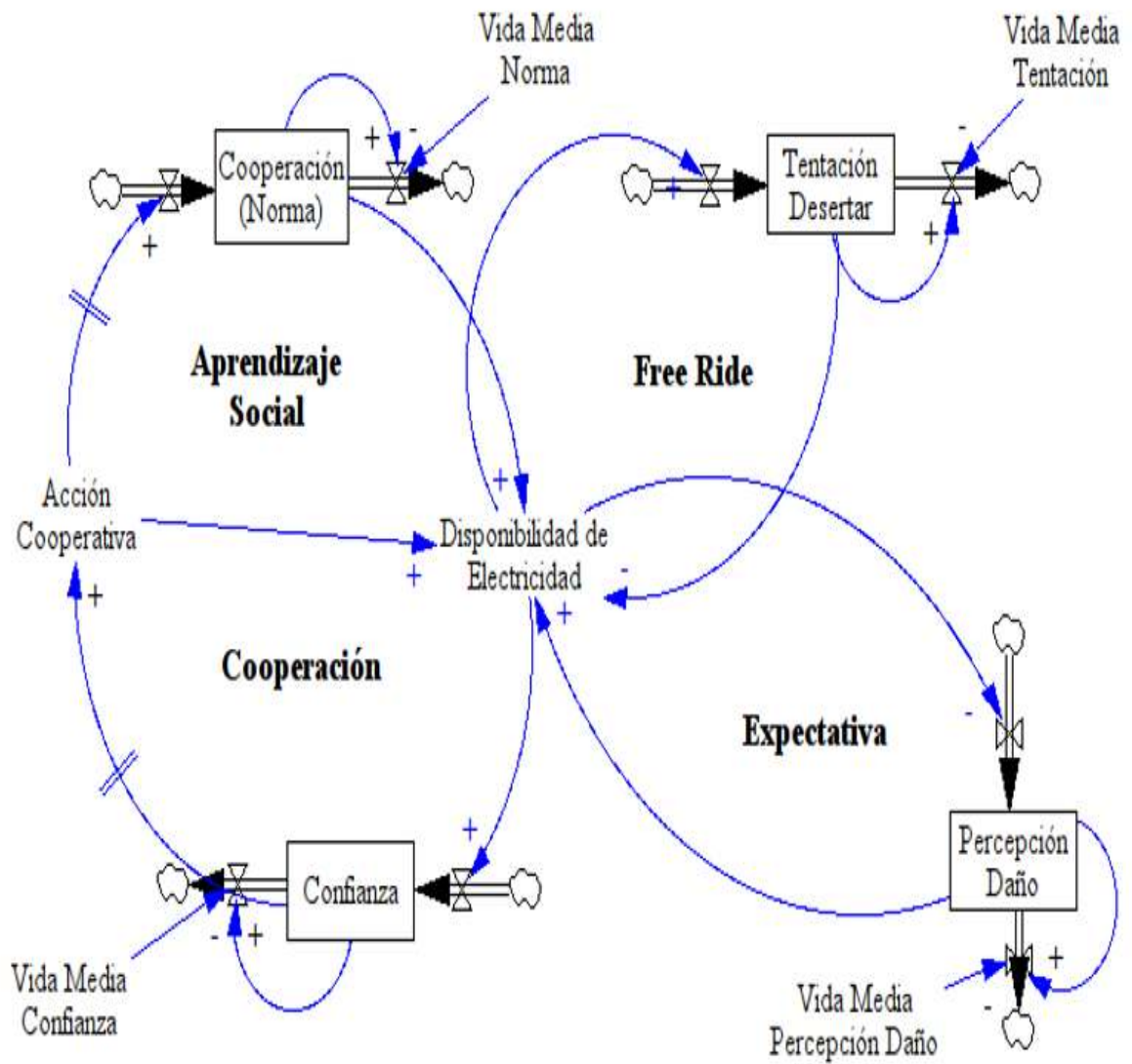


Figura 5-8: Estructura general modelo caso crisis de electricidad.

Simulación Modelo Crisis Colombia 1992-1993

La simulación del modelo del constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos en la crisis de electricidad de Colombia 1992 asumida como dilema social de recurso agotable de gran escala permite dar cuenta de la variación de la demanda como aproximación de la cooperación como consecuencia de los mecanismos identificados y especificados en el esquema diseñado.

El constructo de evaluación de efectividad describe el funcionamiento de la percepción de daño por deterioro del recurso, que permite una reducción de la demanda antes de que inicie el racionamiento. Luego de iniciado el racionamiento, ocurre un proceso de variación debido a la dinámica entre la cooperación basada en confianza y la tentación de desertar. Luego de finalizado el racionamiento se mantiene la demanda a un nivel comparable al que se logró durante el periodo de racionamiento previo. La Figura 5-9 en la página 103 presenta la demanda de electricidad en Colombia 1992-1993 datos históricos (UPME, 2010) frente al comportamiento de simulación. El comportamiento obtenido con el modelo se logra mediante una dinámica endógena.

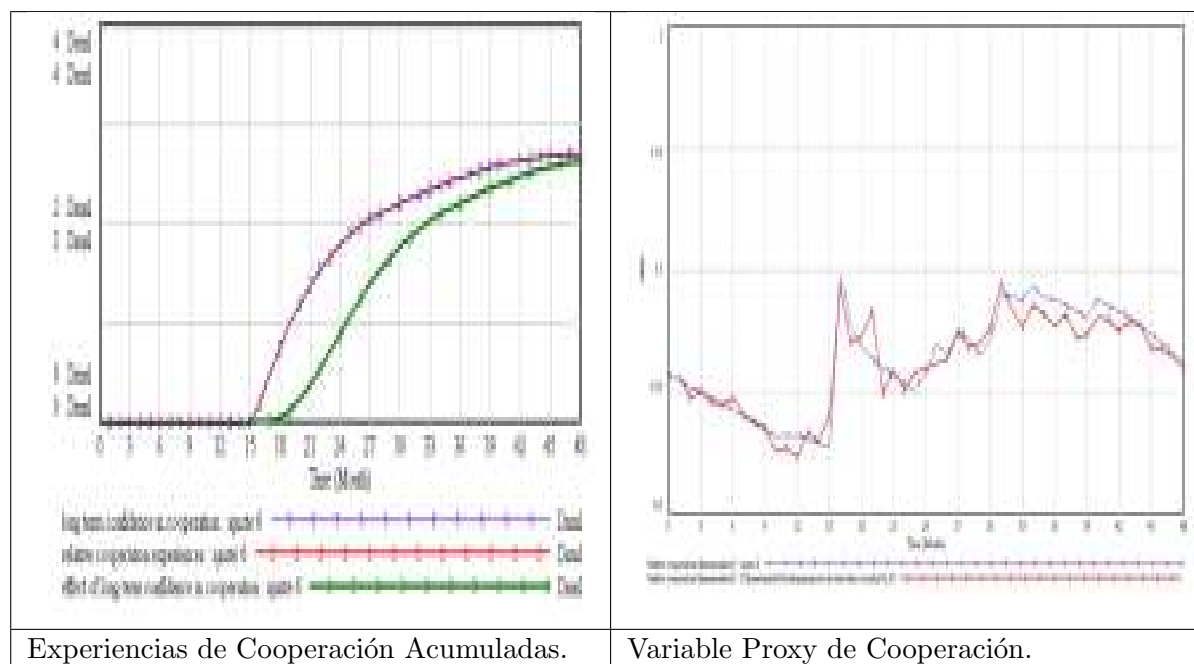


Tabla 5-3: Acumulación de Experiencias Positivas de Cooperación explican el sostenimiento de la cooperación luego de terminado el racionamiento.

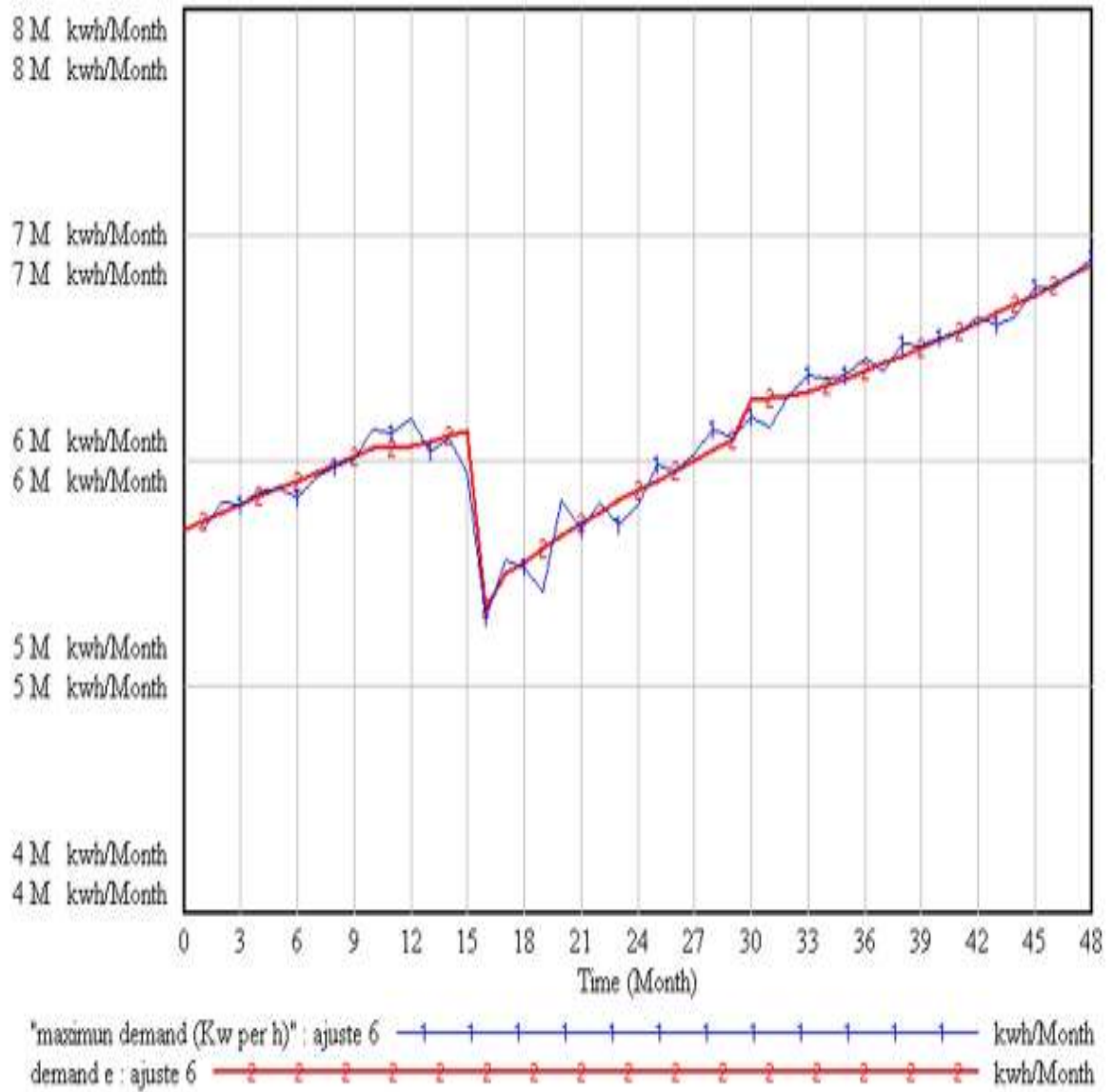


Figura 5-9: Demanda de electricidad en Colombia 1992-1993 datos históricos (UPME, 2010) frente al comportamiento de simulación.

La cooperación de largo plazo logra sostener la cooperación luego de finalizado el racionamiento, debido a la acumulación de experiencias positivas de cooperación basada en confianza en el corto plazo. La Tabla **5-3** de la página 102 presenta la cooperación relativa al margen, correspondiente tanto a datos históricos y a la simulación del modelo. Esta Figura permite indicar los momentos de la crisis en los que los diferentes mecanismos entran en juego. Hacia el mes 13, antes que inicien los racionamientos, se logra el mejor efecto del mecanismo de percepción de daño. Entre los meses 15 y 24 ocurre la acumulación de experiencias positivas de cooperación de corto plazo que permiten sostener la cooperación luego de terminado el racionamiento. Luego de finalizado el racionamiento hacia el mes 27 se observa cómo la cooperación se sostiene a pesar de la finalización del racionamiento. Luego del mes 30 comienza a reducirse lentamente la cooperación, debido a que no se generan nuevas experiencias de cooperación, o si se generan, no se continuó con su comunicación social, por lo que poco a poco el grupo dejó alimentar su cooperación de largo plazo. Por esto, y porque no se genera una nueva percepción de daño, se va reduciendo poco a poco la cooperación.

La Tabla **5-4** de la página 106 presenta cómo la percepción de daño produce cooperación antes de iniciado los racionamientos. Luego, esta cooperación permite el aprendizaje de la cooperación como norma. De esta forma se ilustra el funcionamiento de los mecanismos de cooperación en la crisis de electricidad de Colombia 1992 asumida como dilema social de recurso agotable de gran escala.

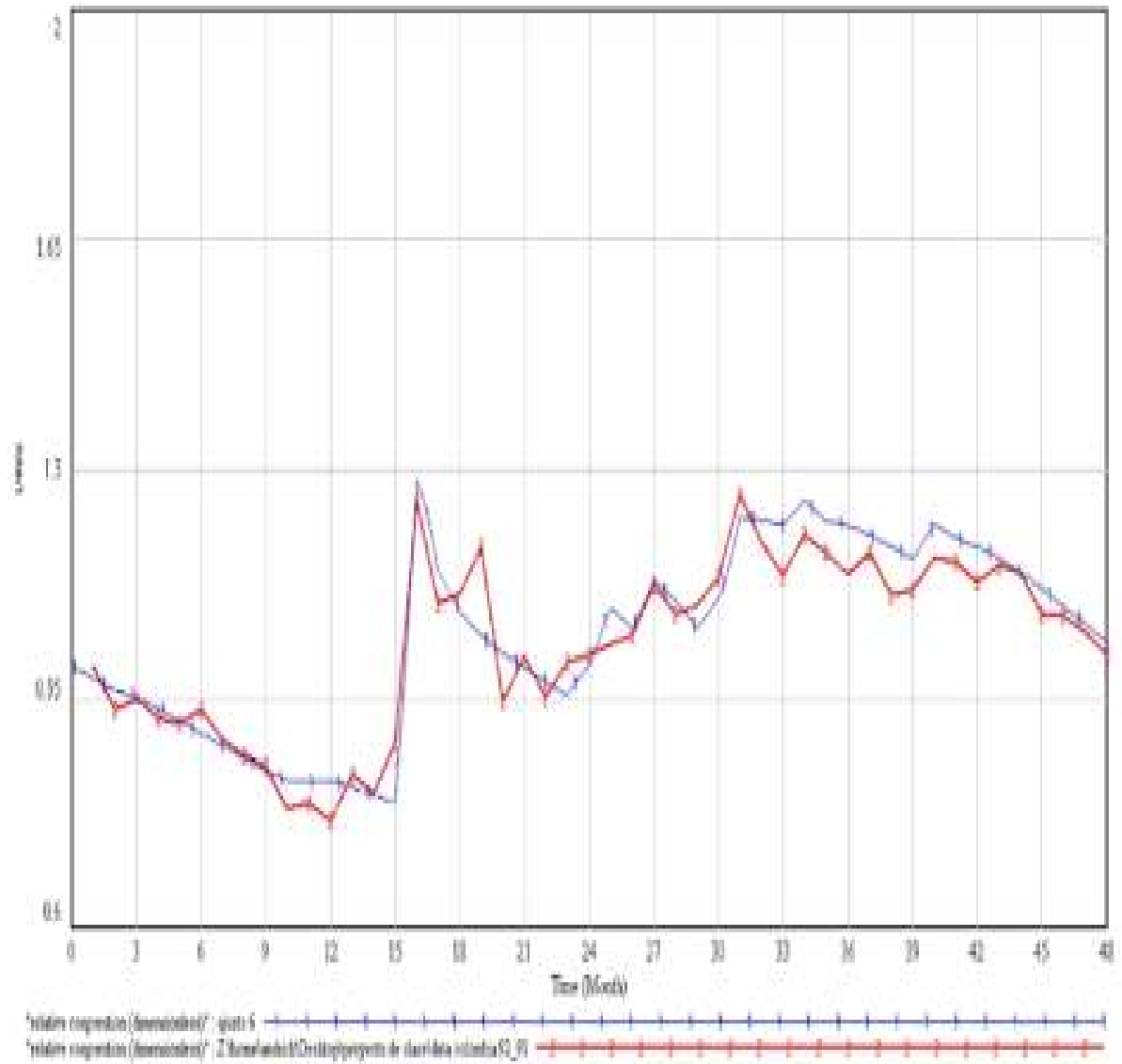


Figura 5-10: Cooperación Relativa y Margen (Modelo vs Datos)

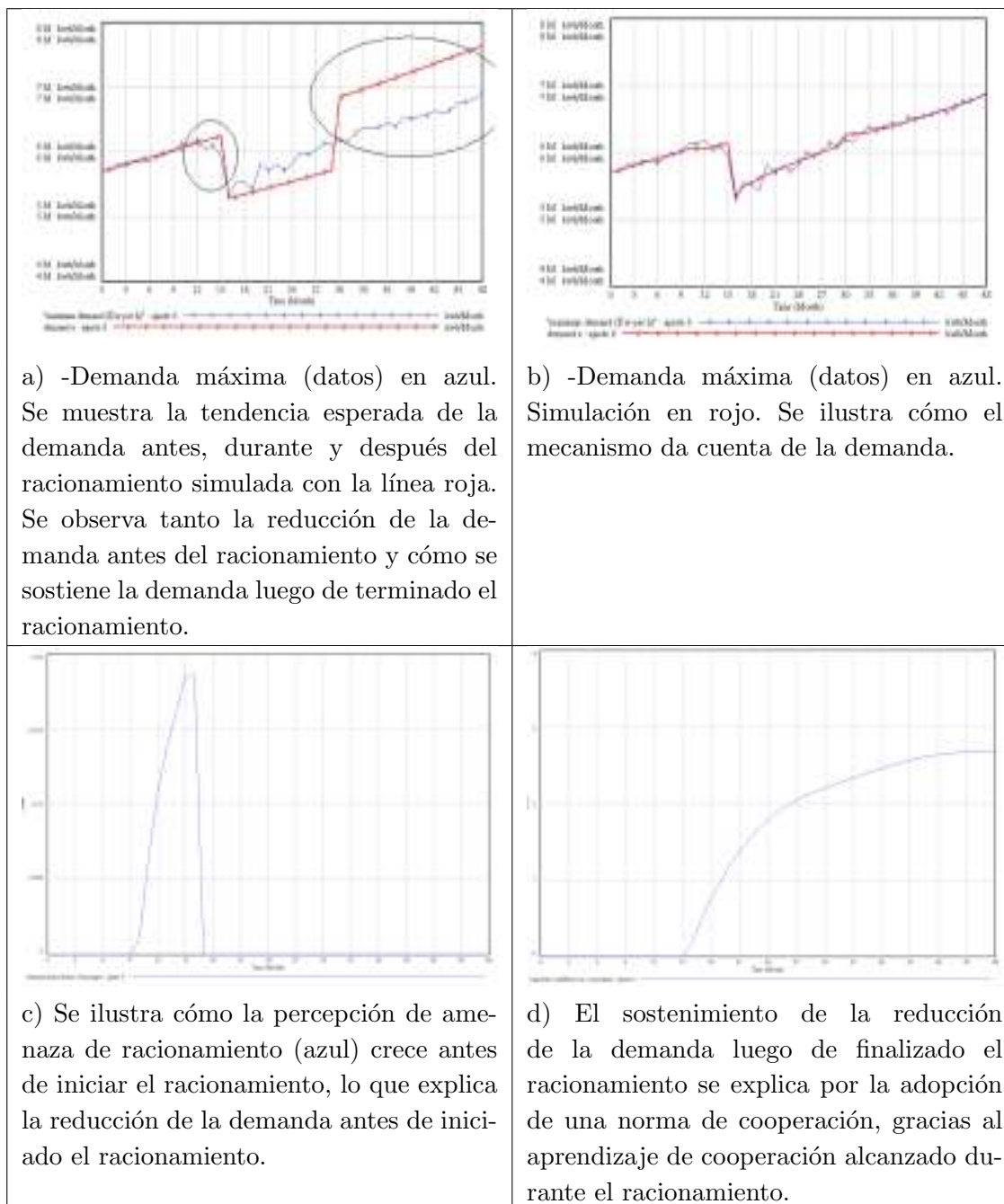


Tabla 5-4: El mecanismo da cuenta de la reducción en la demanda antes del racionamiento, debido a el incremento en la percepción de daño por racionamiento y del sostenimiento de la reducción luego de terminado el racionamiento, como consecuencia de la adopción de la cooperación como norma, Modelo Caso Crisis de Electricidad Colombia 1992.

Evaluación efectividad mecanismos de cooperación Crisis Colombia 1992

La Tabla 5-5 de la página 107 presenta los resultados de la evaluación de la efectividad de los mecanismos de cooperación utilizados en la crisis de electricidad de Colombia 1992.

Criterios	Evaluación
Recurso	
¿Se alcanza un nivel de uso sostenible del recurso?	Se logra superar la crisis, pero de mantenerse los mecanismos se habría podido sostener el recurso por más tiempo.
Cooperación	
¿Es sostenible?	A pesar que se supera la crisis gracias a la cooperación generada, no se sostiene en el tiempo la aplicación de los mecanismos, por lo que la cooperación decae en el largo plazo.
¿Tiende hacia un Pareto Superior?	Si, pero debido a que no se mantiene la aplicación de los mecanismos no se sostiene la tendencia hacia Pareto Superior.
Aprendizaje	
¿El mecanismo fomenta el aprendizaje de cooperación como norma?	Si se fomenta, pero no se mantienen los mecanismos para sostener la cooperación.
Tentación Desertar	
¿Controla la Tentación de Desertar?	La cooperación por confianza, la percepción de daño y la cooperación de largo plazo consiguen contener la tentación de desertar lo suficiente para superar la crisis, pero debido a que se suspenden los mecanismos, poco a poco retoma fuerza la tentación de desertar en el largo plazo.
Percepción de Daño	
¿La percepción de daño produce cooperación?	La percepción de daño produce una mejoría en la cooperación antes de iniciar los racionamientos.
Confianza	
¿Se fomenta cooperación a pesar de las condiciones iniciales de la confianza de cooperación?	A pesar de haber simulado condiciones iniciales cero para la confianza de cooperación, los mecanismos permiten generar cooperación basada en confianza.
Complejidad dinámica	
¿Los mecanismos permiten enfrentar la complejidad dinámica?	Las vidas medias de la cooperación por confianza, la percepción de daño y la cooperación como norma fueron suficientes para superar la complejidad dinámica de la situación.

Tabla 5-5: Evaluación Criterios de efectividad mecanismos aplicados a la crisis de Colombia 1992.

Resultados Pruebas Estadísticas Aplicadas.

A continuación en el Tabla 5-6 de la página 108 se presentan los resultados de las pruebas estadísticas aplicadas al modelo (Sterman, 2000).

Data	maximun demand
Model	demand
Cont points	45
MSE	4675.38
RMSPE	0.01
Data Mean	6080.62
Simulation Mean	6080.4
STD Dev Data	345.62
STD Dev Simulation	338.01
r	0.98
r2	0.96
U(M)	0
U(S)	0.01
U(C)	0.99
Theil's Check	1

Tabla 5-6: Pruebas Estadísticas para Demanda Datos contra simulación Caso Crisis de Electricidad Colombia 1992.

5.2. Crisis de Electricidad de California 2001

Esta sección presenta la crisis de electricidad de California 2001. Se describen las condiciones generales del caso y se evalúa el cumplimiento de los criterios de caso como dilema social de recurso agotable de gran escala. Luego se presenta la evaluación de los mecanismos de cooperación utilizados en el caso mediante el modelado del constructo diseñado.

Ya desde junio de 2000, el mercado de electricidad de California había producido precios extremadamente altos y amenazas de racionamientos. Pero California es sólo uno de los ejemplos más visibles acerca de los potenciales problemas que pueden presentar los mercados mayoristas desregulados de electricidad cuando su concepción no es correcta. Borenstein et al. (2002) argumentan que las dificultades que aparecen en los mercados de electricidad desregulados son intrínsecos a su diseño, debido a que la demanda virtualmente no responde a los precios (Donatos & Mergos, 1991; Borenstein et al., 1999; Borenstein, 2002) y la oferta enfrenta importantes restricciones para ser ampliada en el corto plazo (Ford, 2002; Dyner, 2000). Esto puede producir periodos de sobre producción y de escasez acompañados por una gran volatilidad en los precios, las ganancias y la oferta (Dyner & Larsen, 2001). Borenstein et al. (2002) sugieren que si los diseños mejoran la respuesta de los precios a la demanda y se adoptan contratos de largo plazo en la contratación de la electricidad, los diseñadores de mercados de electricidad pueden crear mercados que funcionen con mayor suavidad (Borenstein et al., 2002). Un elemento responsable de las dificultades en los mercados de electricidad desregulados es el planeamiento tradicional en condiciones más complejas (Dyner & Larsen, 2001). En general se considera que cuando se introduce competencia al desregularizar mercados como los de electricidad, los métodos de planeación usados bajo esquemas de monopolio deben tener en cuenta de las condiciones especiales del ambiente desregularizado (Dyner & Larsen, 2001).

En el año 2001 se hicieron pronósticos acerca de racionamientos programados y apagones en el Estado de California. La Figura 5-11 de página 110 presenta los datos de Margen y Precios Minoristas Ponderados para el Estado de California (California Energy Commission, 2010). Para abril de ese año, the North American Electric Reliability Council (NERC) predijo que en California deberían esperarse entre 260-700 horas de racionamientos (North American Electric Reliability Council, 2001). Varias fuentes pronosticaron que los apagones podrían producir un deterioro de la capacidad productiva de bienes en la economía, con pérdidas estimadas en el rango entre 2 billones a 20 billones de Dólares (AUS Consultants, 2001; Bay Area Economic Forum, 2001).

La Figura 5-12 de la página 112 presenta los datos de demanda máxima, capacidad y margen en el Estado de California (California Energy Commission, 2010). Se puede observar cómo desde 1997 comienzan las dificultades para satisfacer la demanda creciente de electricidad. Se observa entre el año 2000 y el año 2002 la reducción del margen y de la oferta de electricidad. No obstante, los racionamientos nunca fueron implementados en algunas zonas. Goldman et al. (2002) proponen que los racionamientos y apagones nunca ocurrieron en la intensidad

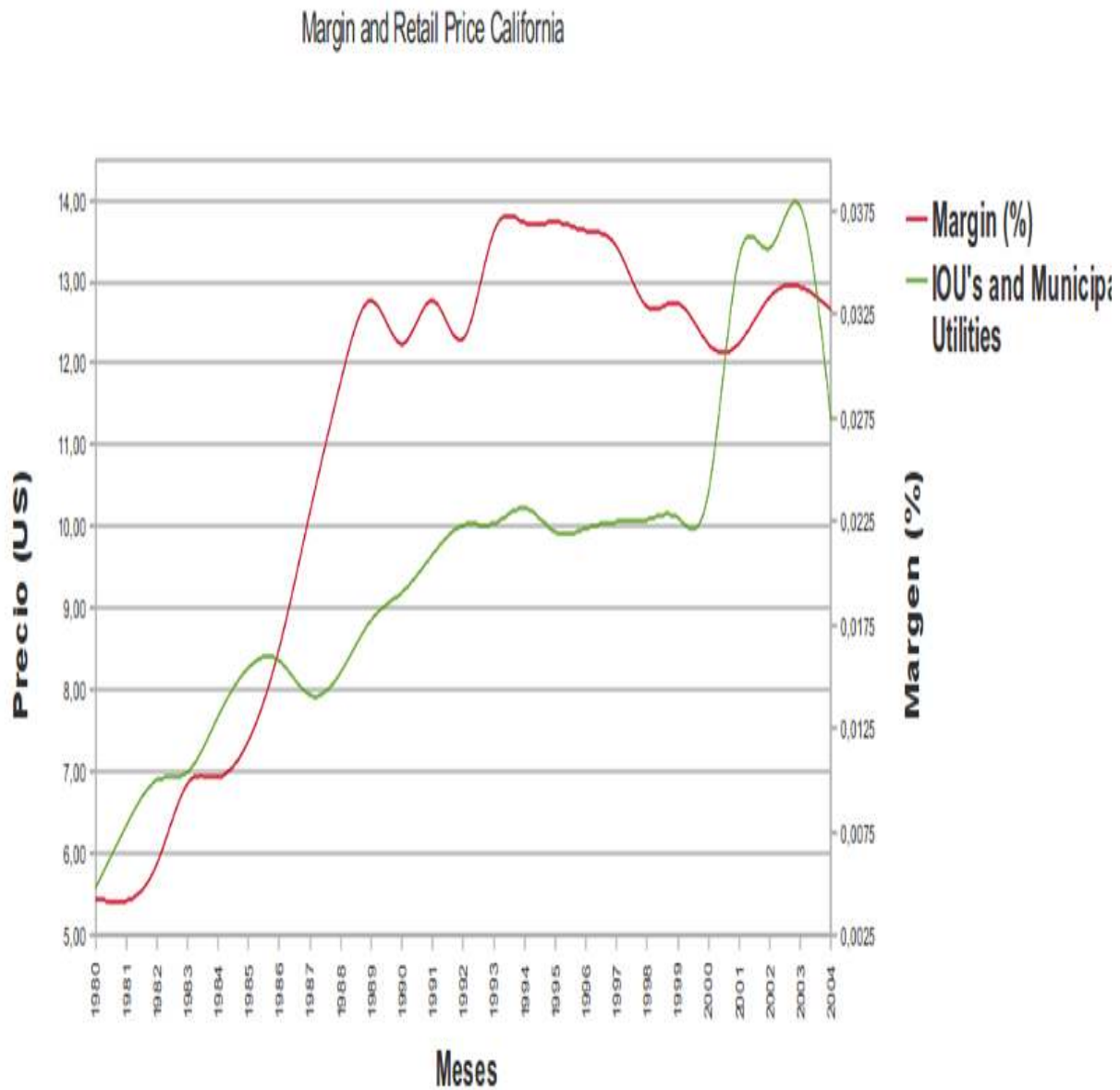


Figura 5-11: Datos Margen y Precios Minoristas Ponderados para el Estado de California (California Energy Commission, 2010).

prevista debido a la fuerte reducción de la demanda alcanzada por los clientes. En comparación con el consumo del año 2000, los clientes lograron reducciones del 6% en la demanda promedio y de 8% en la demanda máxima Goldman et al. (2002).

Se ha sugerido que la reducción en la demanda lograda por los clientes en California evitó un racionamiento mayor (Goldman et al., 2002; Markóczy, 2003). Basado en el margen de operación disponible a la fecha, Goldman calcula que se evitaron entre 50 y 160 horas de racionamientos gracias a la reducción extraordinaria de la demanda (Goldman et al., 2002; Bartholomew et al., 2002).

El informe de Goldman et al. (2002) considera extraordinaria la respuesta de los consumidores de California y evalúa en qué medida este ahorro contribuyó a evitar que la crisis tuviera mayores consecuencias. Se considera que contribuyeron al ahorro logrado varios factores como el cubrimiento informativo de los medios de comunicación, los incrementos reales o percibidos en los precios y algunos programas diseñados para fomentar la reducción de la demanda (Goldman et al., 2002).

Entre los programas evaluados por Goldman et al. (2002) se encuentra el programa del estado denominado plan 20/20, que buscaba premiar con un descuento del 20% en la factura de electricidad a quienes lograran reducir en un 20% su consumo con relación al consumo facturado en el mes inmediatamente anterior. Goldman et al. (2002) estima que las reducciones adjudicables a estos programas oscilan entre el 25-30% de las reducciones logradas. El estudio desvirtúa que el ahorro alcanzado por los consumidores de California se debiera tanto a una disminución de la temperatura en el verano y a la consecuente reducción del consumo por aire acondicionado, como a una des-aceleración de la economía (Goldman et al., 2002).

Goldman et al. (2002) desvirtúan la reducción de la dinámica económica como causa de la reducción en la demanda de electricidad. Se ha sugerido que la crisis de la economía de Internet fue responsable del ahorro de electricidad. A pesar que la relación entre energía y economía es compleja, algunos indicadores no soportan dicha hipótesis. Un aumento en el producto interno bruto del estado de California del 2.3% (Office of Economic Research, 2002) y un incremento del empleo durante los meses de verano del 0.8% en 2001 comparado con el mismo periodo del año 2000 (California Department of Finance, 2001) no ofrecen soporte a la hipótesis de la reducción del consumo de electricidad como consecuencia de la des-aceleración económica. El pequeño incremento en la actividad económica ocurrido entre el verano de 2000 y el verano de 2001 debería haber producido un incremento en el consumo de electricidad (Goldman et al., 2002). Los datos de reducción en demanda máxima mensual y ventas de electricidad ajustadas para clima y crecimiento económico (California Electricity Commission, 2001; Goldman et al., 2002) no ofrecen soporte a la hipótesis de la reducción de la demanda como consecuencia de una desaceleración de la economía. En conclusión, las hipótesis sobre la reducción de la demanda de electricidad como resultado de la desaceleración de la economía no tienen sustento en los datos de desempeño económico de California para la época en que ocurrió la crisis.

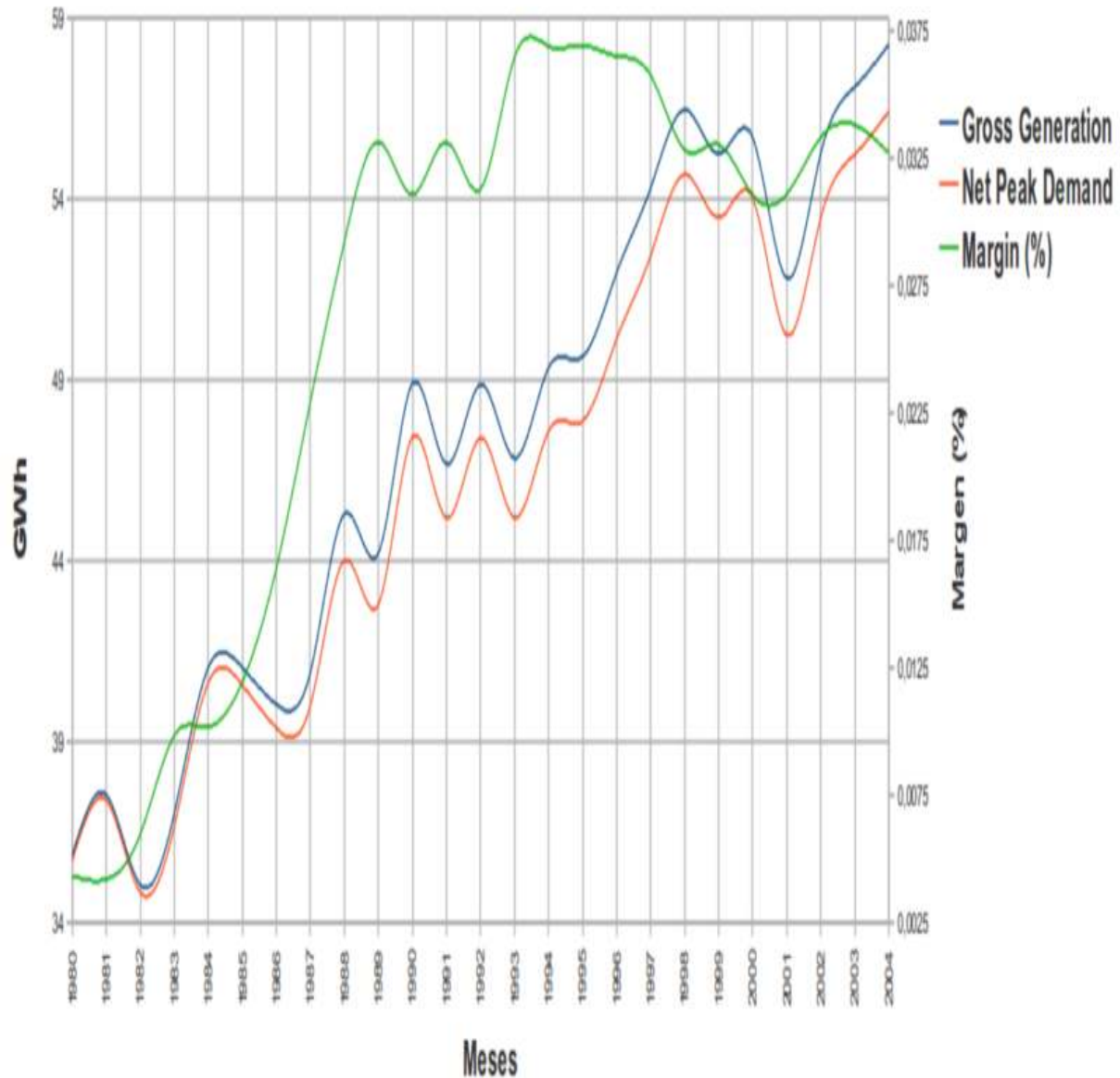


Figura 5-12: Datos de demanda máxima, capacidad y margen en el Estado de California (California Energy Commission, 2010).

5.2.1. Revisión cumplimiento de condiciones de caso Crisis California 2001

La Tabla 5-7 de la página 114 presenta la evaluación de cumplimiento de condiciones de caso para la crisis de electricidad como dilema social de recurso agotable de gran escala.

Dilema Social	Elementos	Cumple
	Acción de racionalidad individual	Incremento de la demanda de electricidad
	Objetivo Bienestar Colectivo	Reducir la demanda y mejorar el margen
Bien Económico		
	Recurso Común Agotable	Electricidad, la capacidad no puede incrementarse en el corto plazo
	Uso por encima del nivel sostenible	La crisis supone una reducción del margen que puede ocasionar apagones.
	Alta Sustractibilidad	La electricidad utilizada por un usuario no se encuentra disponible para otro.
	Dificultad de Exclusión	No es fácil excluir a apropiadores.
Grupo		
	Más de 10 individuos	Población California 2001 34,600,463 (U.S. Census Bureau, 2010) la gran mayoría con capacidad de actuar sobre la demanda de electricidad.
	Características Heterogéneas	La población de California es heterogénea en términos de sus intereses.
	No hay comunicación cara a cara	No ocurrió comunicación cara a cara en el sentido del tratamiento de comunicación utilizado en dilemas de pequeña escala.
	Existe realimentación	Los medios de comunicación ofrecieron indicadores de desempeño (estado de generadores y ahorro por condados). El número de horas de racionamiento permitió una aproximación sobre los efectos de las acciones de los individuos, premiando o castigando.
	Retardos considerables	Factura entregada hasta con 2 meses de retardo. Retardo en la presentación en los medios de comunicación.
	Dificultades de Percepción	Se requirió un tiempo para que los individuos pudieran asimilar la gravedad de la crisis.
	Encuentros Indefinidos	No se ofreció una certidumbre sobre el tiempo que podría durar la crisis.
Intervención		Se anunciaron racionamientos, pero no se implementaron todos los esperados.
	Percepción de Daño	La intensidad del racionamiento pronosticado y aplicado hicieron creíble el daño por la utilización excesiva del recurso, (260-700 horas de racionamientos (North American Electric Reliability Council, 2001))
	Posibilidad restricción apropiación	Los individuos iniciaron acciones para reducir su consumo de electricidad.
Aprendizaje	Cooperación de largo plazo	Los individuos aprendieron a cooperar, con lo que superaron la crisis. Luego de terminado el racionamiento, mantuvieron el consumo de electricidad a niveles comparables a los alcanzados durante el racionamiento.

Tabla 5-7: Evaluación de condiciones para la crisis de electricidad de California 2001 como dilema social de recurso agotable de gran escala.

5.2.2. Mecanismos de cooperación crisis de electricidad California 2001

La Figura 5-13 de la página 116 indica los efectos sobre el comportamiento de la demanda de los diferentes mecanismos aplicados. En la crisis de electricidad de California 2001 se pueden distinguir los siguientes mecanismos de cooperación:

1. Cooperación por percepción de daño por deterioro en la disponibilidad del recurso. Luego de anunciados la crisis y los racionamientos y antes de que estos iniciaran efectivamente, se produjo un mejoramiento del margen.
2. Racionamiento. Se anuncia un racionamiento de hasta un 10% de la demanda, que luego no se implementa con la magnitud anunciada.
3. Cooperación por confianza y tentación de desertar. Antes de la crisis más intensa de 2001 aparece cooperación por confianza que permite acumular aprendizaje de cooperación para superar la crisis.
4. Cooperación como norma de largo plazo. Luego de terminada la restricción la cooperación se mantiene gracias al aprendizaje de la cooperación como norma, logrado antes del inicio de la crisis propiamente dicha.

5.2.3. Evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en la crisis de electricidad de California 2001

Luego de la presentación del caso y de la revisión del cumplimiento de los requisitos de caso como dilema social de recurso agotable de gran escala en el que se aplicaron mecanismos de cooperación, se presenta la evaluación de la efectividad de dichos mecanismos. Inicialmente se presenta el constructo de evaluación especificado para crisis de electricidad, luego se presentará el modelo y las simulaciones realizadas.

Estructura general modelo crisis de electricidad California 2001 como dilema social de recurso de gran escala

La estructura del modelo para el caso de la crisis de electricidad de California 2001 es similar a la presentada en la Figura 5-8 de la página 101.

Alcance del modelo

La Tabla 5-8 de la página 117 describe las variables incluidas y definidas por la dinámica interna del modelo, las variables que asignan valores de datos históricos y las variables excluidas. De esta manera se definen las fronteras y límites del modelo.

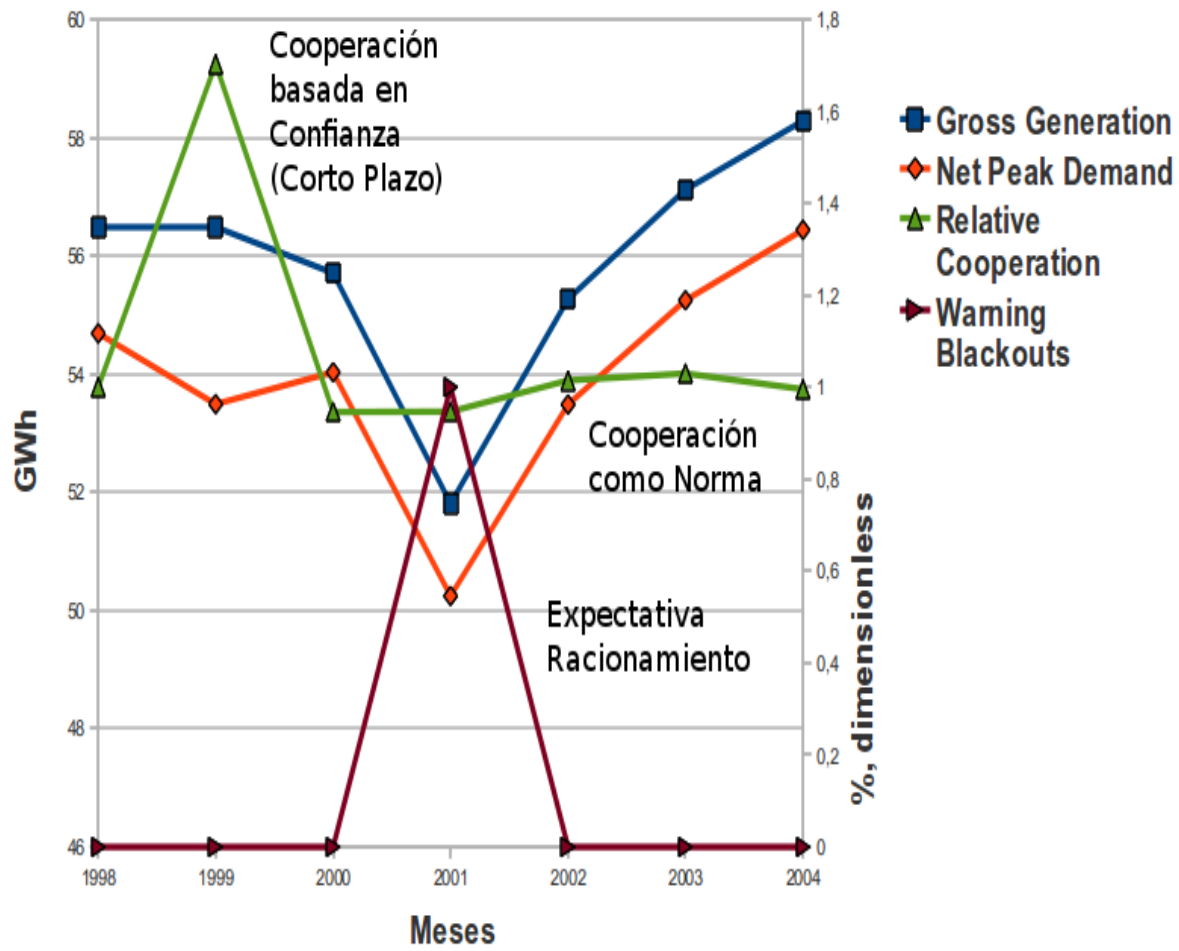


Figura 5-13: Mecanismos de Cooperación en la Crisis de Electricidad de California basado en (California Energy Commission, 2010).

Endógenas	Exógenas	Excluidas
Demanda Cooperación Confianza Percepción Amenaza Racionamiento Free Rinding	Capacidad	Precio Electricidad PIB Clima

Tabla 5-8: Fronteras del Modelo para la crisis de electricidad de California en 2001.

Simulación Modelo Crisis California 2001

Se aplicó la hipótesis dinámica que expresa el constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos para la promoción de la cooperación en dilemas sociales de recurso de gran escala propuesta para las crisis de electricidad, para establecer si el modelo da cuenta de la operación de los mecanismos y en qué medida su aplicación condujo a la cooperación. La simulación se realizó para un horizonte de 5 años, desde 1998 hasta 2002 y se confrontó con los datos disponibles sobre demanda máxima, capacidad y margen. Los principales resultados de simulación se presentan a continuación. Los resultados presentados fueron obtenidos de manera endógena.

La demanda total de electricidad presenta alto ajuste con relación a los datos históricos (Véase la Tabla **5-10** de la página 127 con los resultados de las pruebas estadísticas aplicadas). Este ajuste sugiere que el constructo de evaluación modelado tiene capacidad para dar cuenta de lo ocurrido en la crisis de electricidad de California. La Figura **5-14** de la página 119 presenta los datos y resultados de simulación para la demanda caso California 2001. Dicha Figura ilustra cómo la demanda de electricidad se reduce durante la crisis de 2001. Se ha atribuido este comportamiento a los mecanismos de cooperación aplicados.

Este comportamiento es explicado por el esquema de evaluación de la efectividad de la cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala, con el que se modeló este caso. Debido a la percepción de daño por reconocimiento de la amenaza de racionamiento divulgada desde el año 2000, se inicia una dinámica de crecimiento de la confianza y de la cooperación de largo plazo que explican la reducción en la demanda de electricidad en California en 2001. La Figura **5-15** de la página 120 presenta los resultados de simulación para la percepción y reconocimiento de amenaza de racionamientos para California 2001, que aumenta como consecuencia de la alerta divulgada sobre la fragilidad del sistema.

La velocidad de crecimiento de la confianza de cooperación se incrementa gracias al aumento en la percepción y reconocimiento de amenaza de racionamiento. La Figura **5-16** de la página 121 presenta los resultados de simulación para la confianza de cooperación Caso Crisis de Electricidad California 2001. Dicha confianza de cooperación es la responsable de la reducción alcanzada durante la crisis. El mecanismo de percepción de daño por deterioro del recurso permitió las reducciones iniciales de la demanda que permitieron que el ciclo de refuerzo de la cooperación incrementara la confianza que hizo posible superar la crisis.

Con los resultados alcanzados en la cooperación, aparece la tentación de desertar. No obstante, la tentación de desertar es controlada por los mecanismos de cooperación de corto plazo, de largo plazo y de percepción de daño. En la medida que se reducen las expectativas de racionamiento, la confianza de cooperación y la cooperación comienzan a reducirse debido a su depreciación, lo que incrementa la tentación de desertar. La Figura **5-17** de la página 122 presenta los resultados de simulación para la tentación de desertar en el modelo del Caso California 2001.

La acumulación de cooperación de largo plazo o cooperación como norma, ofrece soporte a la

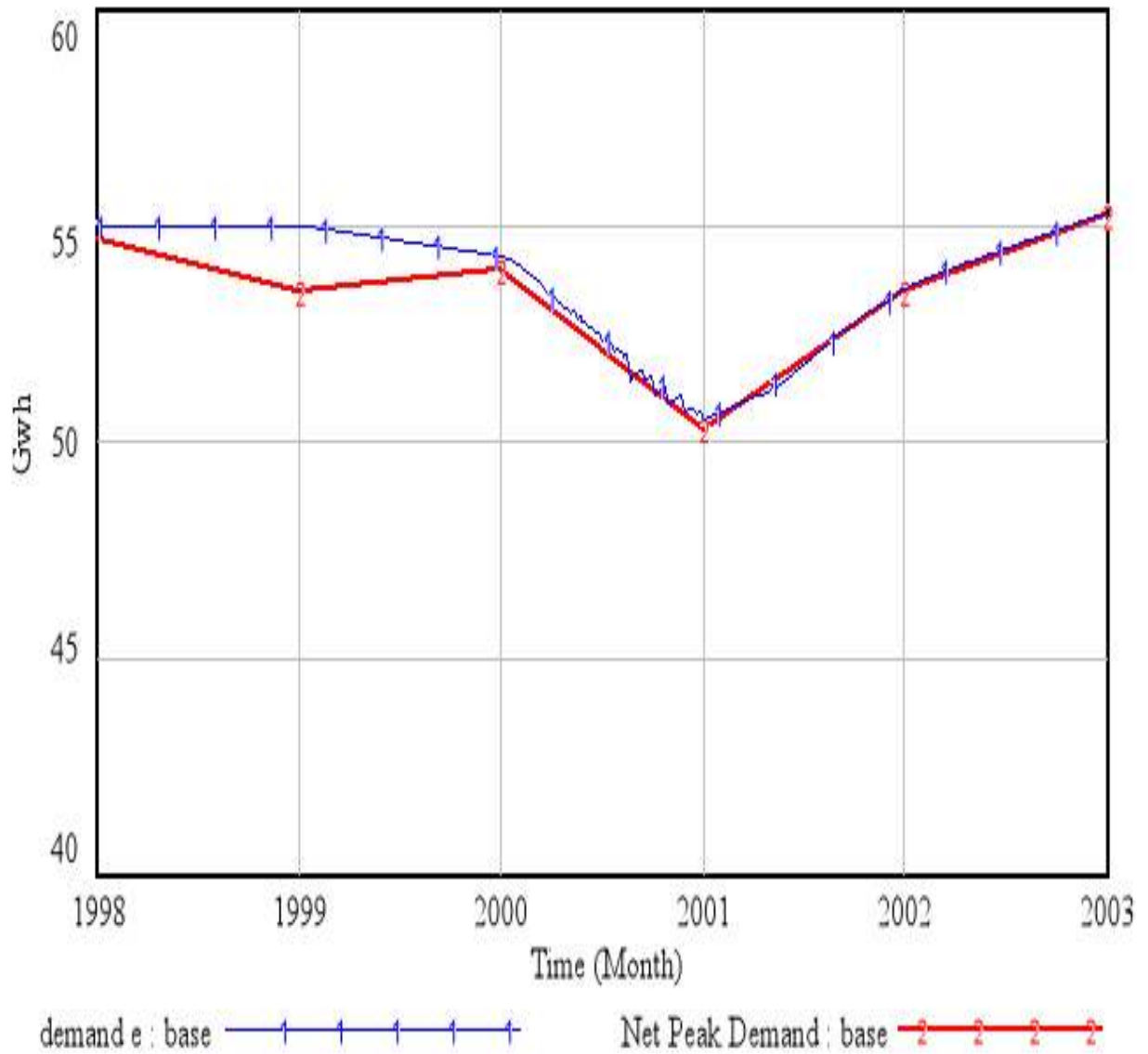


Figura 5-14: Datos y resultados de simulación para la demanda caso California 2001

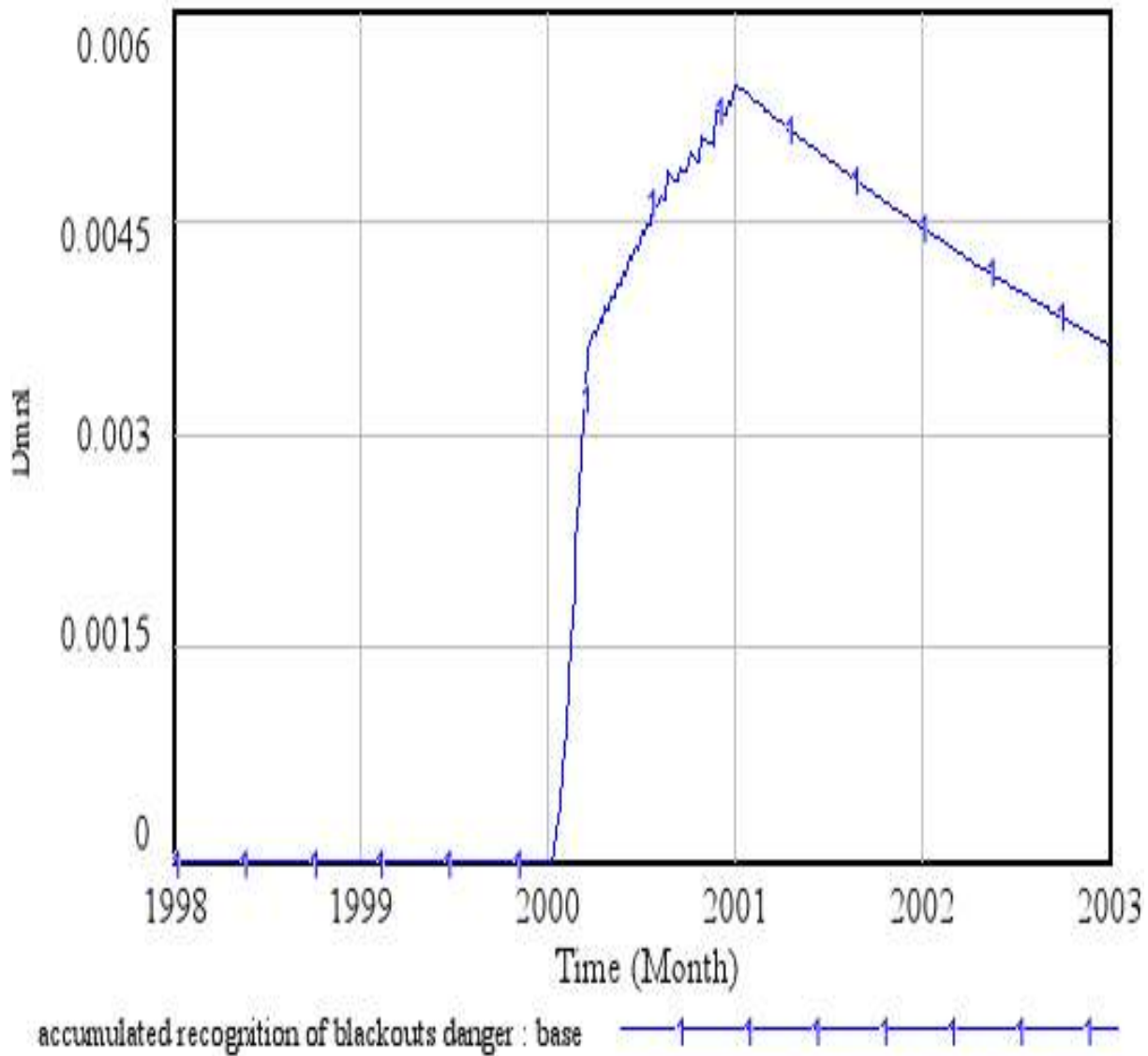


Figura 5-15: Resultados de simulación para percepción y reconocimiento de amenaza de racionamientos para California 2001

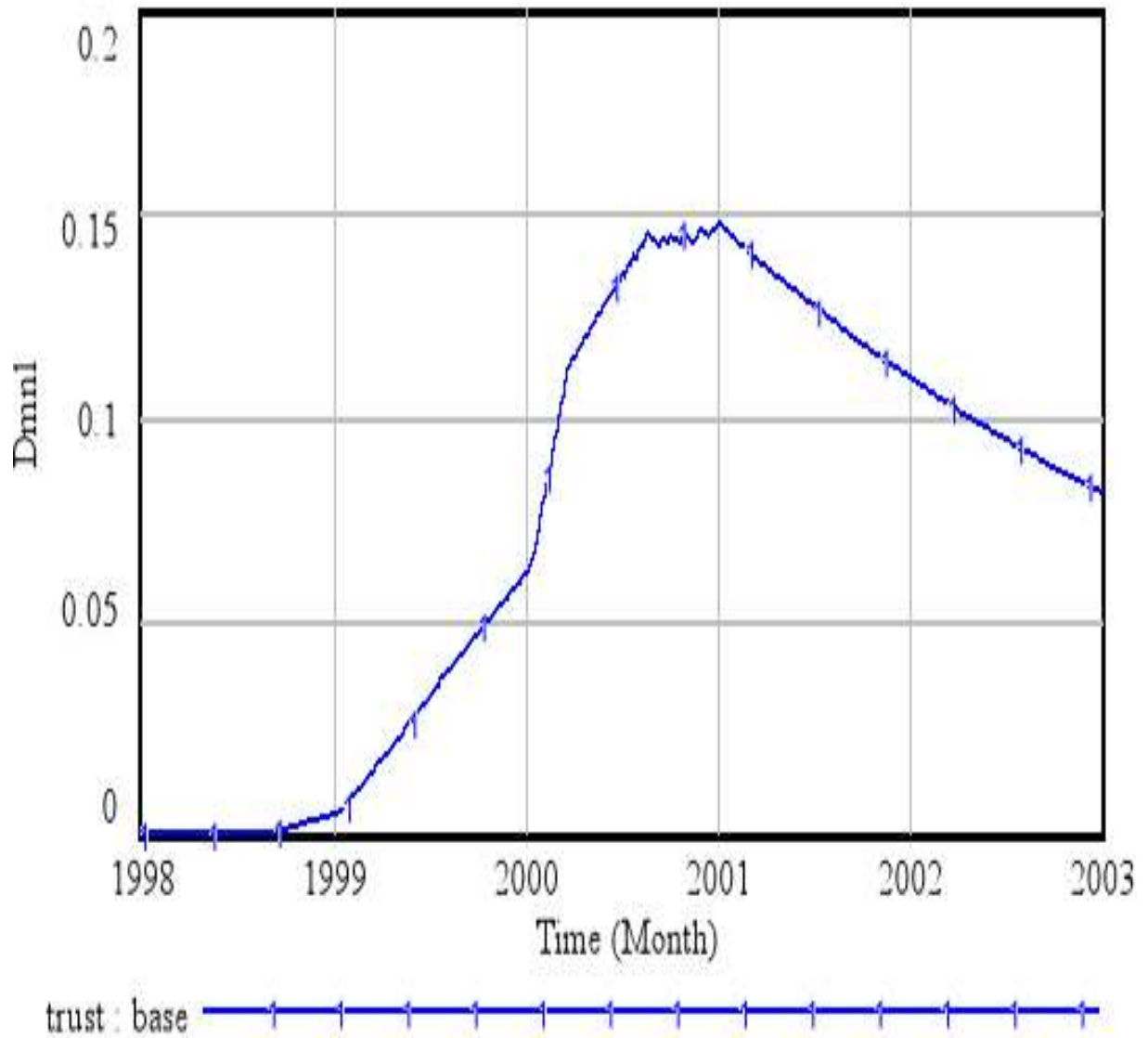


Figura 5-16: Resultados de simulación para la confianza de cooperación para el caso de la Crisis de California 2001

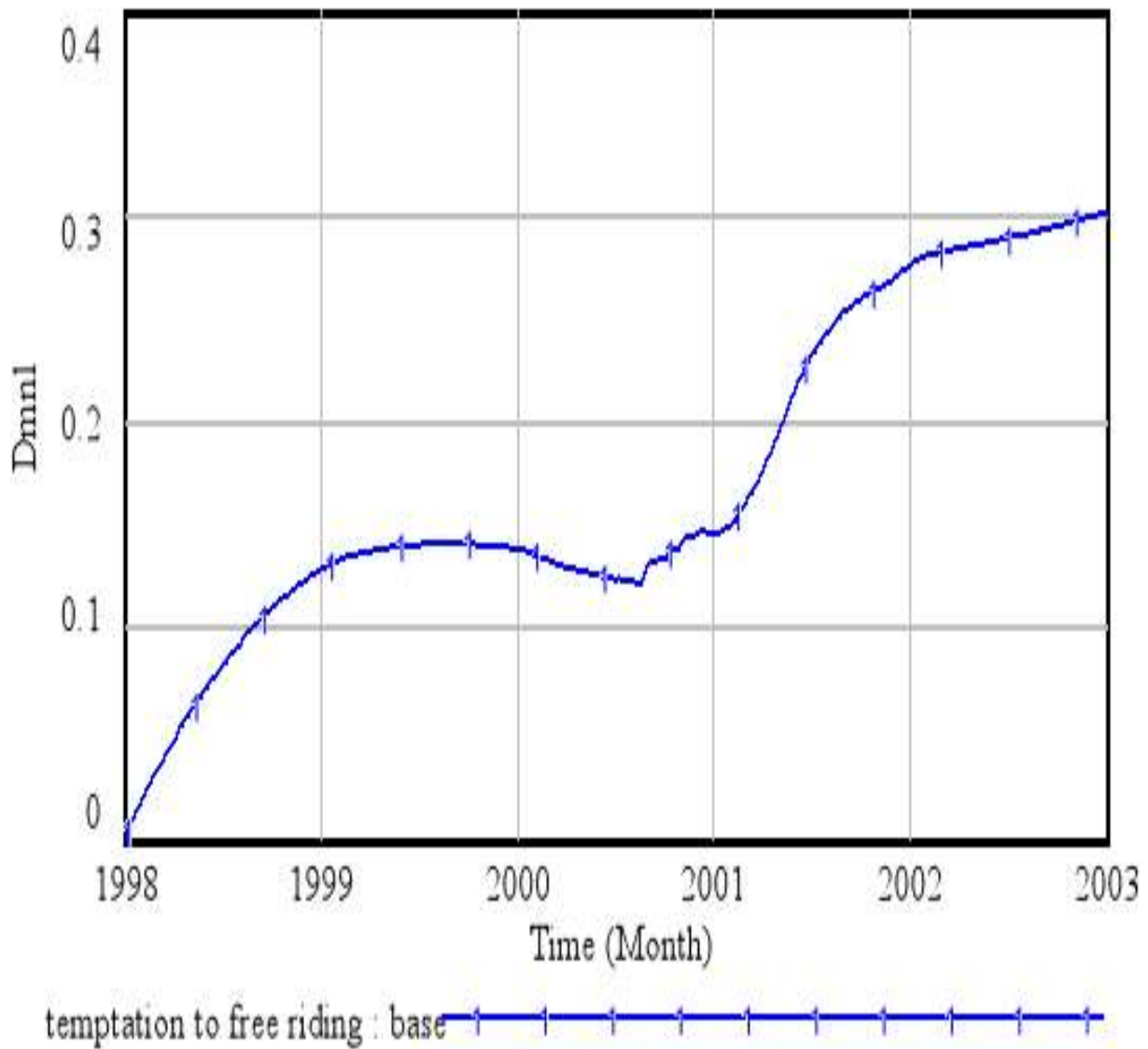


Figura 5-17: Resultados de simulación tentación de desertar caso California 2001

reducción alcanzada en la demanda por el modelo durante 2001. Al reducirse la percepción de amenaza de racionamiento, se reduce el número de experiencias de cooperación y la confianza de cooperación, por lo que se va depreciando la capacidad de cooperación como norma en el mediano plazo. La Figura 5-18 en la página 124) presenta los resultados de simulación para la cooperación como norma de largo plazo para el modelo del caso de la Crisis de Electricidad de California 2001.

El comportamiento del margen simulado da cuenta de lo ocurrido en 2001, 2002 y 2003 como se presenta en la Figura 5-19 de la página 125. En el 2000 se ilustra el efecto de la activación de los mecanismos de cooperación que hicieron posible la reducción en los años posteriores. En la medida que no había el suficiente reconocimiento de la amenaza de racionamiento, no se espera que el margen ajuste en los años previos al reconocimiento del peligro de racionamiento. No obstante, el modelo ilustra como se va activando el mecanismo, con lo que se va aproximando aproximando a la reducción alcanzada en la crisis de 2001.

Evaluación efectividad mecanismos de cooperación Crisis California 2001

La Tabla 5-9 de la página 126 presenta los resultados de la evaluación de la efectividad de los mecanismos de cooperación utilizados en la crisis de electricidad de California 2001.

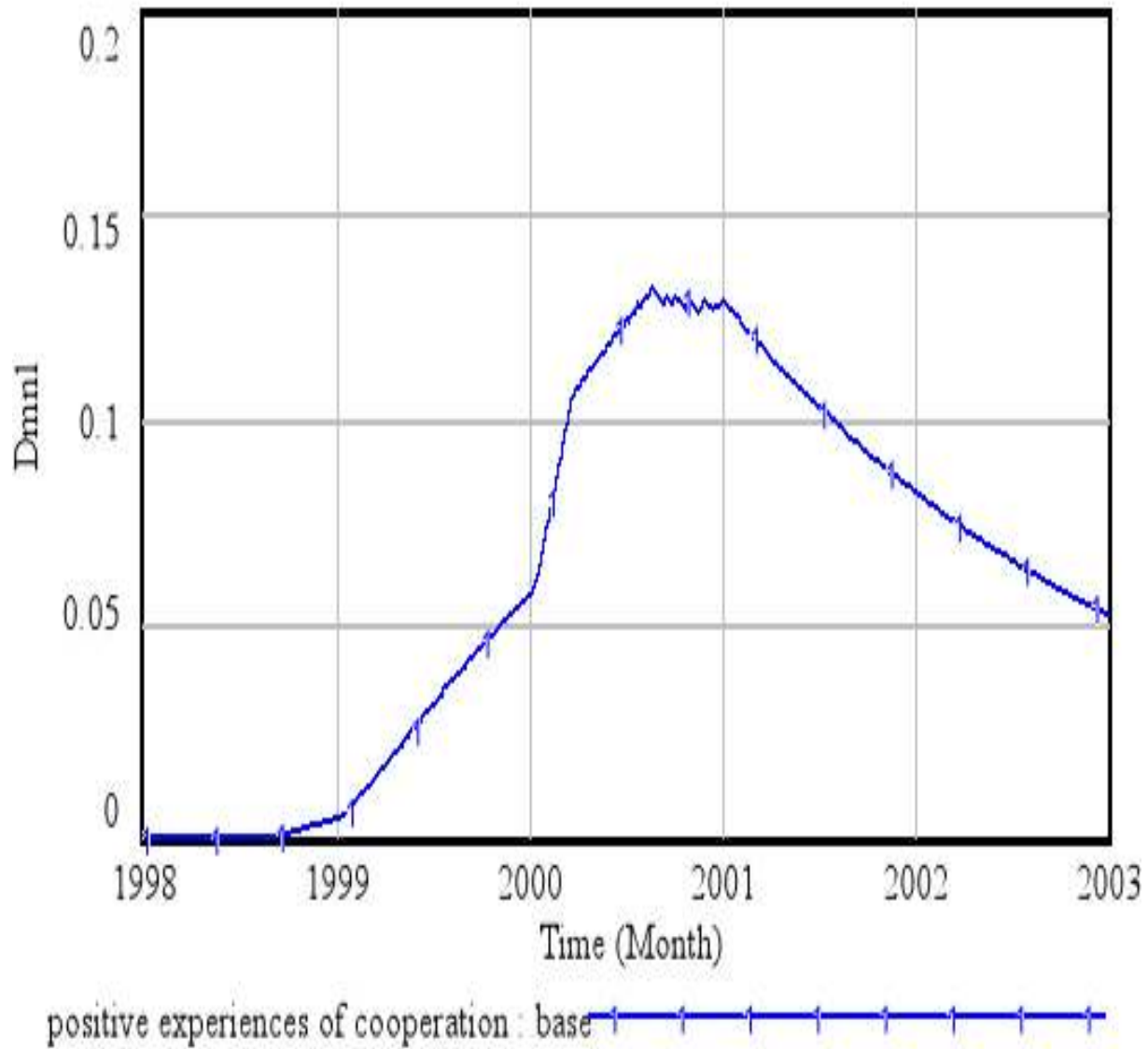


Figura 5-18: Resultados de simulación para la cooperación de largo plazo caso California 2001

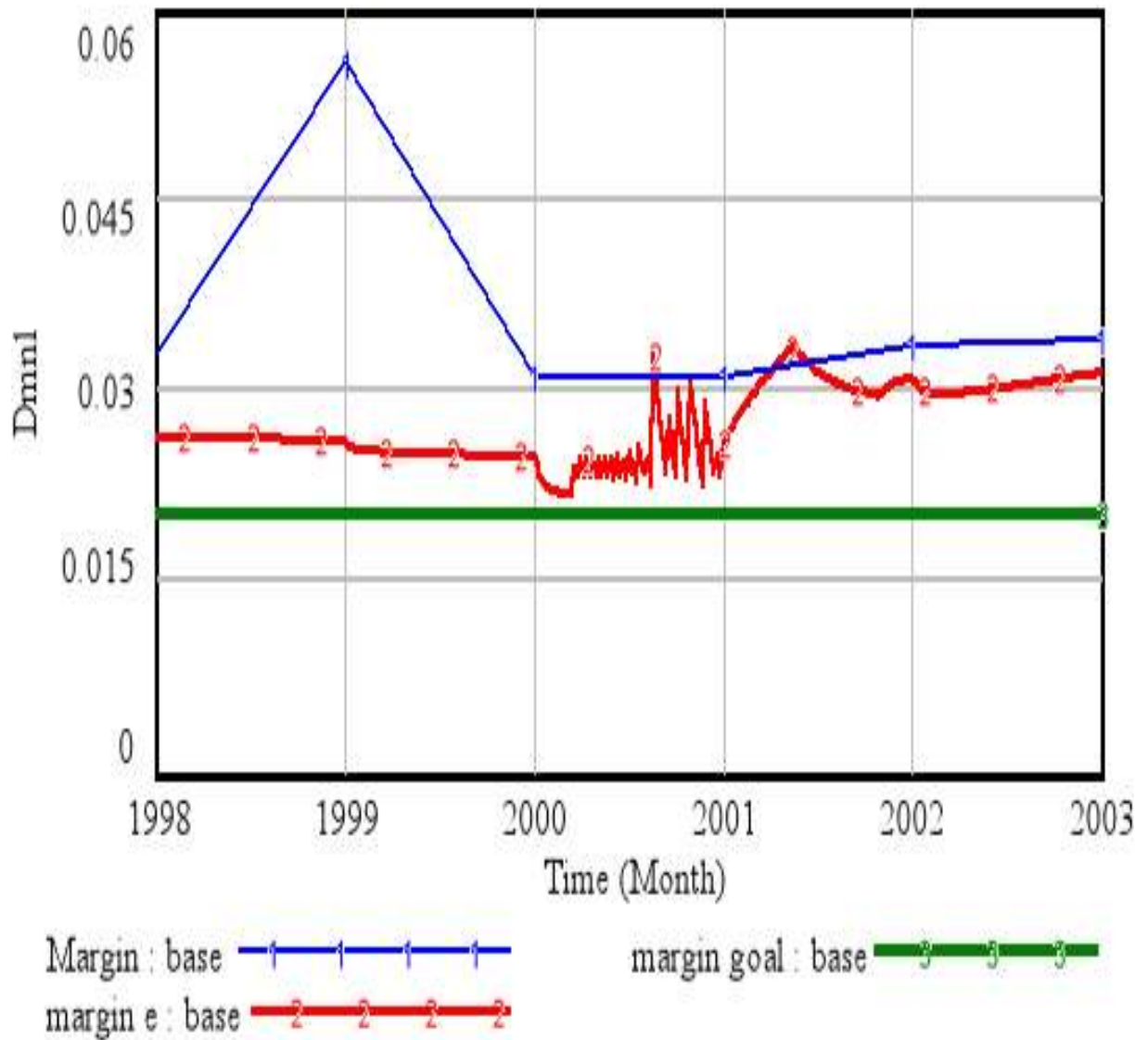


Figura 5-19: Margen para el caso California 2001.

Criterios	Evaluación
Recurso	
¿Se alcanza un nivel de uso sostenible del recurso?	Se logra superar la crisis, pero de mantenerse los mecanismos se habría podido sostener el recurso por más tiempo.
Cooperación	
¿Es sostenible?	A pesar que se supera la crisis gracias a la cooperación generada, no se sostiene en el tiempo la aplicación de los mecanismos, por lo que la cooperación decae en el largo plazo.
¿Tiende hacia un Pareto Superior?	Si, pero debido a que no se mantiene la aplicación de los mecanismos no se sostiene la tendencia hacia Pareto Superior.
Aprendizaje	
¿El mecanismo fomenta el aprendizaje de cooperación como norma?	Si se fomenta, pero no se mantienen los mecanismos para sostener la cooperación.
Tentación Desertar	
¿Controla la Tentación de Desertar?	La cooperación por confianza, la percepción de daño y la cooperación de largo plazo consiguen contener la tentación de desertar lo suficiente para superar la crisis, pero debido a que se suspenden los mecanismos, poco a poco retoma fuerza la tentación de desertar en el largo plazo.
Percepción de Daño	
¿La percepción de daño produce cooperación?	La percepción de daño produce una mejoría en la cooperación antes de iniciar los racionamientos y permite generar la confianza de cooperación necesaria para superar la crisis.
Confianza	
¿Se fomenta cooperación a pesar de las condiciones iniciales de la confianza de cooperación?	A pesar de haber simulado condiciones iniciales cero para la confianza de cooperación, los mecanismos permiten generar cooperación basada en confianza.
Complejidad dinámica	
¿Los mecanismos permiten enfrentar la complejidad dinámica?	Las vidas medias de la cooperación por confianza, la percepción de daño y la cooperación como norma fueron suficientes para superar la complejidad dinámica de la situación.

Tabla 5-9: Evaluación Criterios de efectividad mecanismos aplicados a la crisis de California 2001.

5.3. Resultados Pruebas Estadísticas.

Se presenta el Tabla 5-10 de la página 127 en donde se hace la síntesis de los resultados de las estadísticas de Theil para el modelo del caso de la crisis de electricidad de California 2001.

Data	net peak demand
Model	demand
Cont points	6
MSE	0.48
RMSPE	0.01
Data Mean	53.53
Simulation Mean	53.8
STD Dev Data	1.6
STD Dev Simulation	1.62
r	0.92
r^2	0.85
U(M)	0.15
U(S)	0
U(C)	0.85
Theil's Check	1

Tabla 5-10: Pruebas Estadísticas para Demanda Datos contra Simulación Caso Crisis de Electricidad California 2001.

5.4. Simulaciones Comparadas

A continuación se presentan simulaciones comparadas tanto para el modelo de caso de la crisis de electricidad de Colombia 1992 como para el modelo de caso de la crisis de electricidad de California 2001. Estas simulaciones persiguen evaluar la capacidad del modelo de dar cuenta de la cooperación en los casos y el grado de efectividad alcanzado por los mecanismos de cooperación aplicados.

La Tabla **5-11** de la página 129 compara el desempeño de las variables demanda y cooperación relativa para los modelos de la crisis de Colombia 1992 y California 2001. Los cambios en cooperación son consistentes con la aplicación de los mecanismos de cooperación en cada caso.

La Tabla **5-12** de la página 130 presenta la relación entre la percepción de daño y la confianza de cooperación. A pesar de que ambos modelos asumen confianza inicial de cooperación cero, gracias a percepción de daño se logra un crecimiento sostenido de la confianza de cooperación. Esta situación se presenta en los dos modelos evaluados.

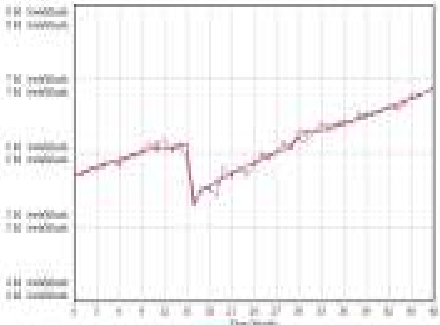
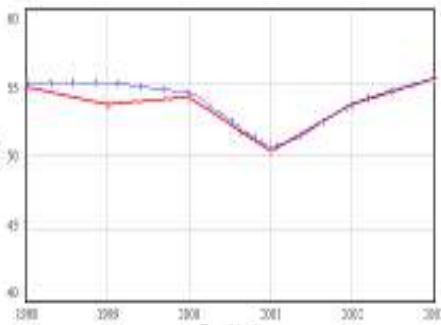
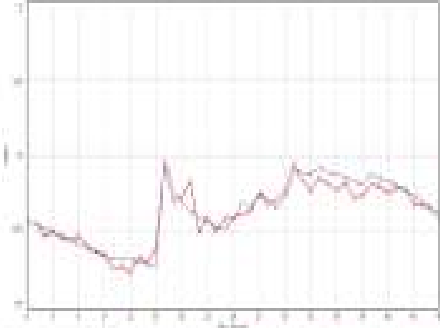
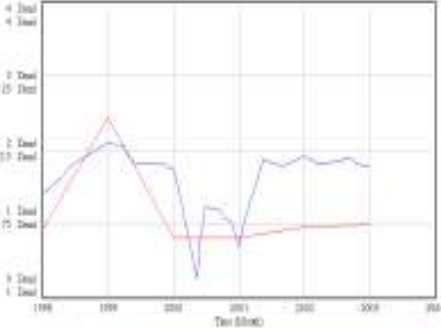
Variable	Caso Colombia 1992	Caso California 2001
<i>Demanda</i>	 <p>a) Datos (azul), Modelo (rojo). El modelo da cuenta de la demanda, inclusive de la reducción de la demanda antes del racionamiento (debido a la percepción de daño por la posibilidad de racionamiento) y de su sostenimiento luego de haber terminado el racionamiento (debido a la acumulación de aprendizaje de cooperación durante el racionamiento).</p>	 <p>b) Datos (rojo), Modelo (azul). El modelo describe cómo se reduce la demanda gracias a la percepción de daño por la posibilidad de racionamiento.</p>
<i>Cooperación Relativa</i>	 <p>c) Datos (rojo), Modelo (azul). El modelo aproxima la cooperación relativa alcanzada.</p>	 <p>d) Datos (rojo), Modelo (azul). El desempeño del modelo es más limitado para este caso. No obstante los datos y el comportamiento del modelo permiten suponer que efectivamente se presentó cooperación en dicha situación.</p>

Tabla 5-11: El mecanismo da cuenta de la Demanda y de la Cooperación relativa en los modelos diseñados para el caso de la crisis de electricidad de Colombia 1992 y de California 2001.

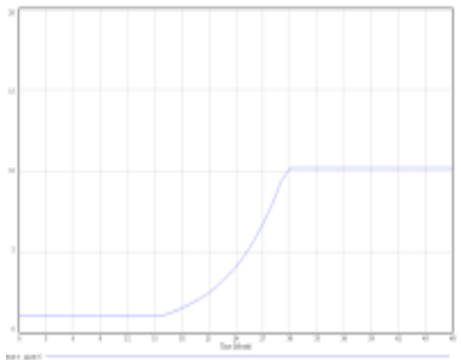
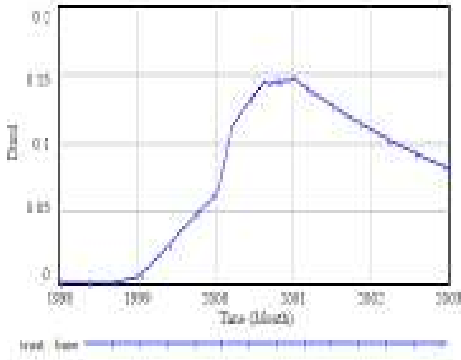
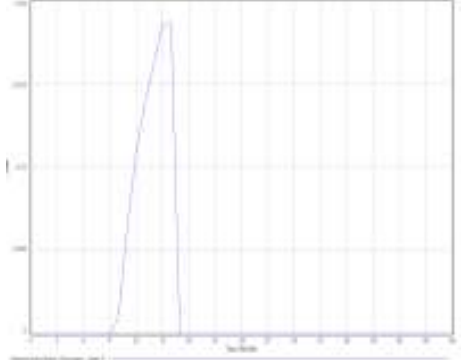
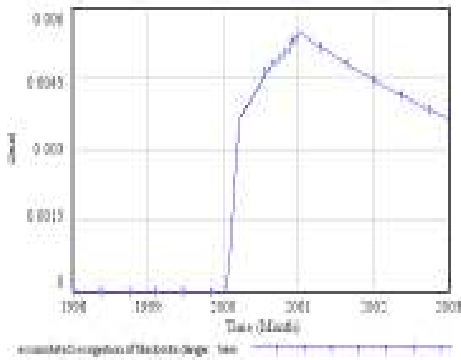
Variable	Simulaciones Caso Colombia 1992-1993	Simulaciones Caso California 2001
<i>Confianza de cooperación</i>	 <p data-bbox="391 947 849 1031">a) Modelo (azul). La confianza de cooperación crece en la medida en transcurrir el tiempo de racionamiento.</p>	 <p data-bbox="875 947 1333 1052">b) Modelo (azul). La confianza de cooperación crece fuertemente gracias al reconocimiento del daño por la posibilidad de racionamiento, que explica las reducciones alcanzadas.</p>
<i>Reconocimiento Amenaza de Racionamiento</i>	 <p data-bbox="391 1528 849 1612">c) Modelo (azul). La amenaza de racionamiento previa al racionamiento explica la reducción lograda antes de iniciar la restricción.</p>	 <p data-bbox="875 1528 1333 1633">d) Modelo (azul). El reconocimiento de la amenaza de racionamiento explica la reducción en la demanda que redujo a su vez la intensidad del racionamiento aplicado.</p>

Tabla 5-12: El comportamiento de la Confianza de Cooperación y del Reconocimiento de Amenaza de Racionamiento guardan consistencia con el mecanismo institucional diseñado.

La Tabla **5-13** de la página132 ilustra la relación dinámica entre la tentación de desertar y la cooperación como norma. La cooperación como norma es un mecanismo que permite modular la tentación de desertar, como se observa tanto en las simulaciones para el caso de la crisis de electricidad de Colombia 1992 como en el caso de la crisis de California 2001.

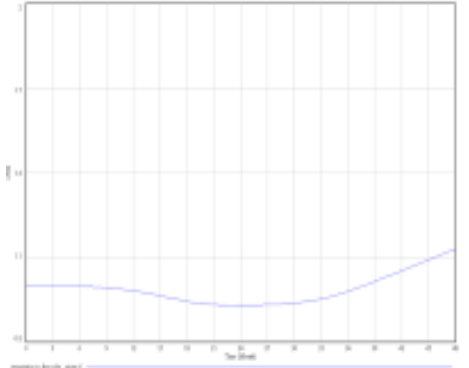
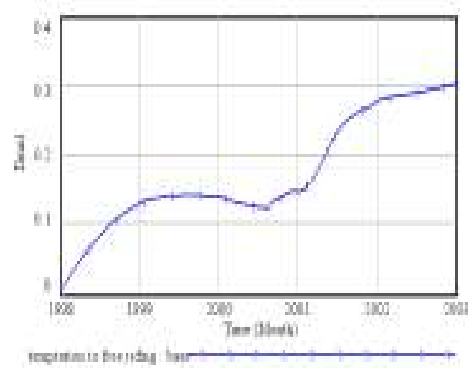
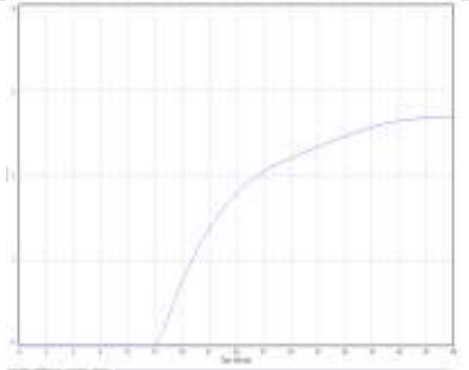
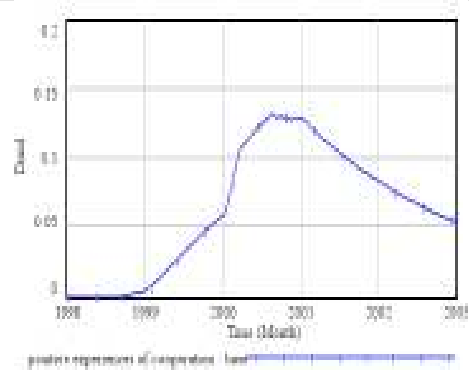
Variable	Simulaciones Colombia 1992	Simulaciones California 2001
<i>Tentación de desertar</i>	 <p data-bbox="391 877 857 982">a) Modelo (azul). Durante la crisis el modelo muestra que la tentación de desertar tuvo su punto más bajo durante el racionamiento.</p>	 <p data-bbox="868 877 1343 982">b) Modelo (azul). En este caso, la tentación de desertar aumentó a medida que se fue superando la crisis.</p>
<i>Cooperación de Largo Plazo. (Adopción Cooperación como Norma)</i>	 <p data-bbox="391 1486 857 1715">c) Modelo (azul). La adopción de una norma de cooperación en el largo plazo va ocurriendo a medida que se coopera en el corto plazo durante el racionamiento. Su crecimiento sostenido explica el por qué el nivel de demanda se sostuvo al mismo nivel que durante el periodo de racionamiento luego que este se hubiera suspendido.</p>	 <p data-bbox="868 1486 1343 1715">d) Modelo (azul). La adopción de la norma de cooperación no se muestra sostenible en el largo plazo para este caso debido a que la intensidad del racionamiento y su tiempo de implementación no permitió una acumulación suficiente de experiencias de cooperación de corto plazo.</p>

Tabla 5-13: El comportamiento de la Tentación de Desertar y la Cooperación de Largo plazo guardan consistencia con el esquema de evaluación de la efectividad de la cooperación diseñado.

5.5. Análisis de Sensibilidad Comparado

Con el propósito de evaluar la robustez de los resultados en condiciones de incertidumbre, se ofrecen los siguientes ejercicios de análisis de sensibilidad. Se pretende cuestionar si los resultados anteriores pueden variar dentro de un rango plausible de incertidumbre (Sterman, 2000).

El análisis de sensibilidad comparado evaluó el comportamiento de los diferentes tiempos de vida media y el tiempo de ajuste del retardo en la información sobre el estado de la demanda en cada caso. Se asumió una variación 1 y 10 para todas las variables evaluadas mediante la aplicación de una distribución uniforme con 200 corridas.

Las gráficas de análisis de sensibilidad obtenidas ofrecen los intervalos de confianza para las variables simuladas con su respectiva probabilidad, con lo que se definen los límites de confianza dinámica para cada una de las variables (Sterman, 2000).

5.5.1. Tiempo Ajuste Retardo Casos Crisis Electricidad

La Tabla 5-14 de la página 134 ilustra los resultados del análisis de sensibilidad comparado para las variables percepción de daño, demanda, tentación de desertar, cooperación como norma y confianza. Existe más certidumbre en cuanto al comportamiento de las variables en el caso de Colombia 1990 que en el caso de California 2001. Esto se explica debido a dos condiciones. La magnitud de la percepción de daño inicial, lo que permitió acumular confianza de cooperación y cooperación como norma. La incertidumbre en el comportamiento del modelo comienza a aparecer luego que dejan de aplicarse los mecanismos. En el caso de California 2001 si bien la incertidumbre es mayor, esto se debe a que los mecanismos se aplicaron durante menos tiempo. No obstante, la probabilidad de funcionamiento efectivo continúa siendo alta para las variables estudiadas.

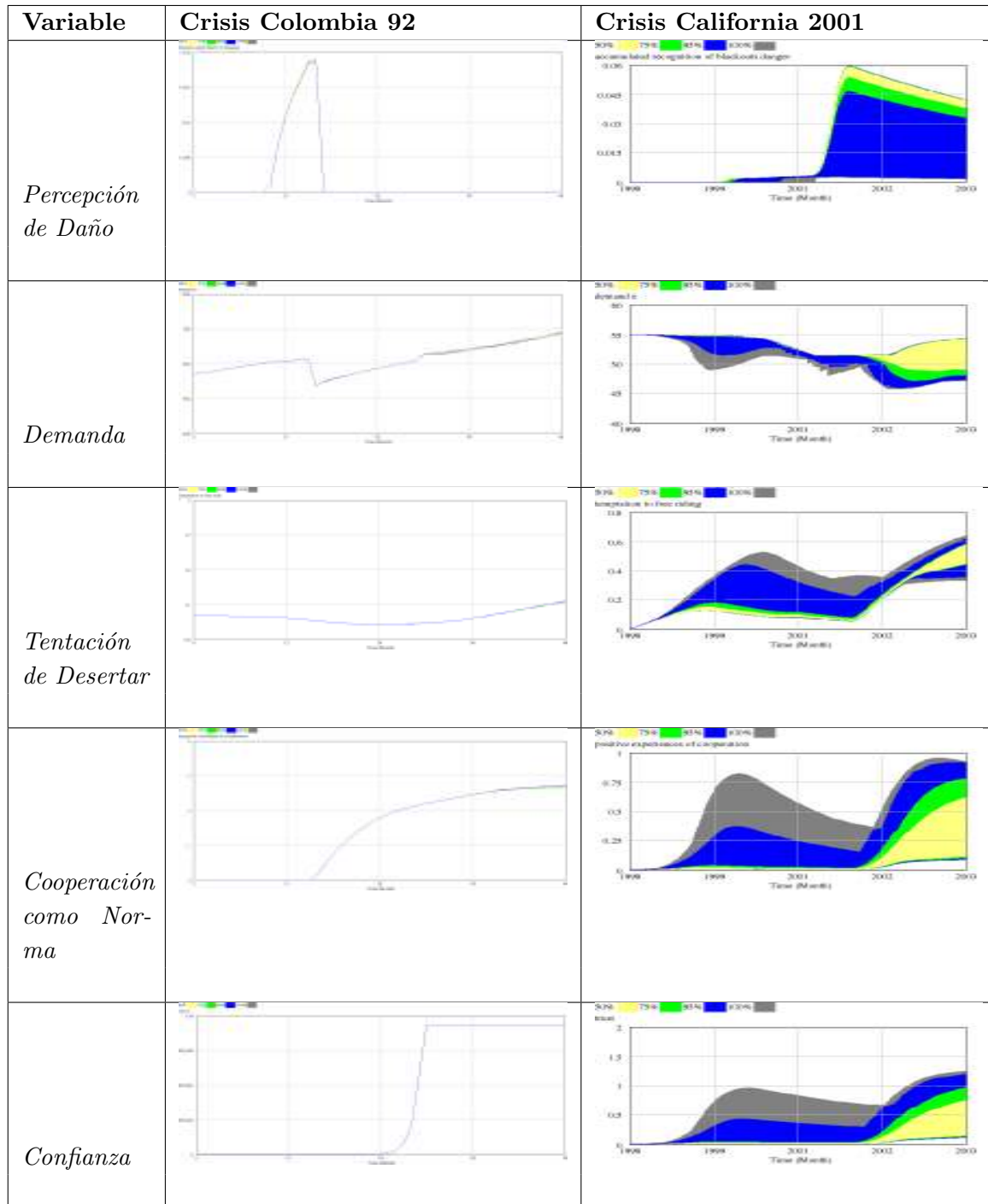


Tabla 5-14: Análisis de Sensibilidad Tiempo Ajuste Retardo Casos Crisis Electricidad

5.5.2. Vida Media Tentación Desertar

La Tabla **5-15** de la página 136 ilustra los resultados del análisis de sensibilidad comparado de la variable vida media de tentación de desertar para las variables percepción de daño, demanda, tentación de desertar, cooperación como norma y confianza. El comportamiento para el modelo de la crisis de Colombia 1992 ofrece menos incertidumbre que el modelo de la crisis de California 2001. Cabe anotar que la incertidumbre en el comportamiento de las variables analizadas aumenta progresivamente luego que dejan de aplicarse los mecanismos y se van cumpliendo las vidas medias de variables importantes como la percepción de daño, la confianza y la cooperación como norma. La variabilidad de la tentación de desertar supone mayor incertidumbre en cuanto al comportamiento del modelo, no obstante que se mantienen las tendencias de las variables.

5.5.3. Vida Media Cooperación de Largo Plazo

La Tabla **5-16** de la página 137 ilustra los resultados del análisis de sensibilidad comparado de la variable vida media de cooperación como norma para las variables percepción de daño, demanda, tentación de desertar, cooperación como norma y confianza. En estas pruebas ambos modelos incrementan la incertidumbre luego que los demás mecanismos se han interrumpido y el sostenimiento de la cooperación depende de la cooperación como norma en el largo plazo. Esto significa que la incertidumbre en la duración de la cooperación como norma de largo plazo trae inestabilidad si los demás mecanismos de cooperación no se mantienen operando.

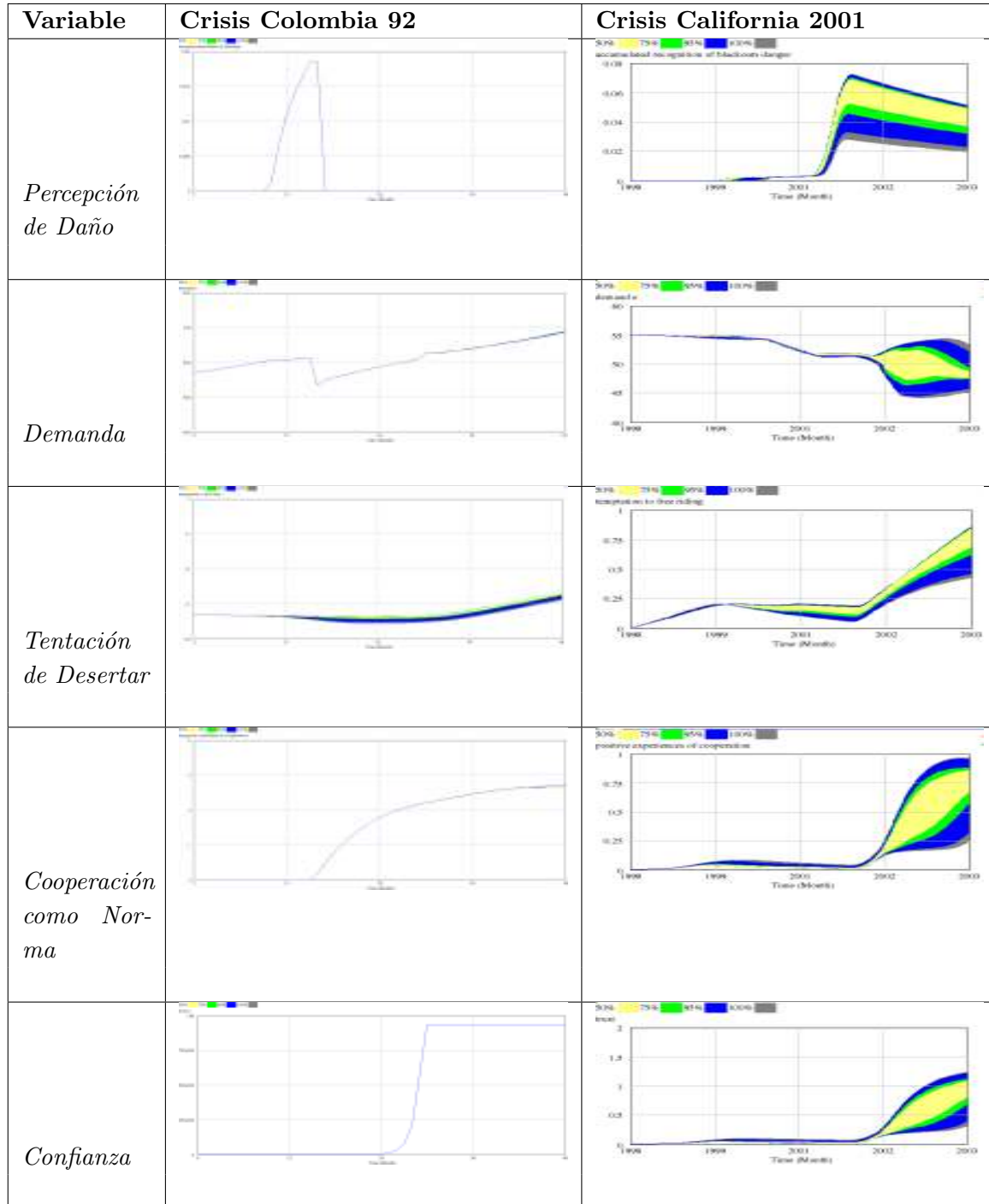


Tabla 5-15: Análisis de Sensibilidad Vida Media Tentación Desertar

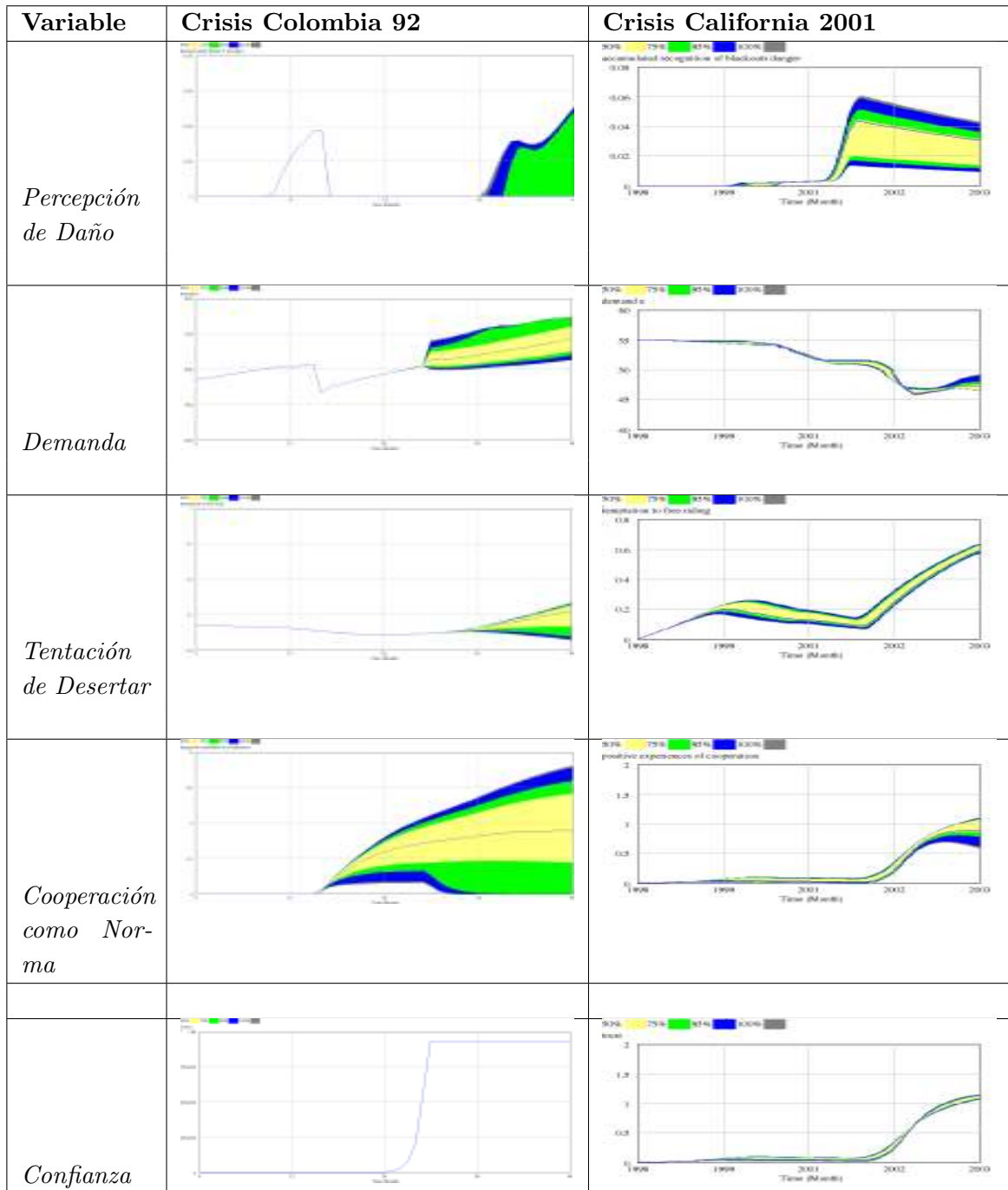


Tabla 5-16: Análisis de Sensibilidad Vida Media Cooperación de Largo Plazo

5.5.4. Vida Media Confianza

La Tabla **5-16** de la página 137 ilustra los resultados del análisis de sensibilidad comparado de la variable vida media de confianza para las variables percepción de daño, demanda, tentación de desertar, cooperación como norma y confianza. El análisis sugiere que la incertidumbre en el comportamiento de los modelos en función de la incertidumbre en la vida media de la confianza de cooperación es reducida. Esto se constituye en un indicador de efectividad de los mecanismos de cooperación en su conjunto, pues permiten mantener con baja incertidumbre la promoción de la cooperación.

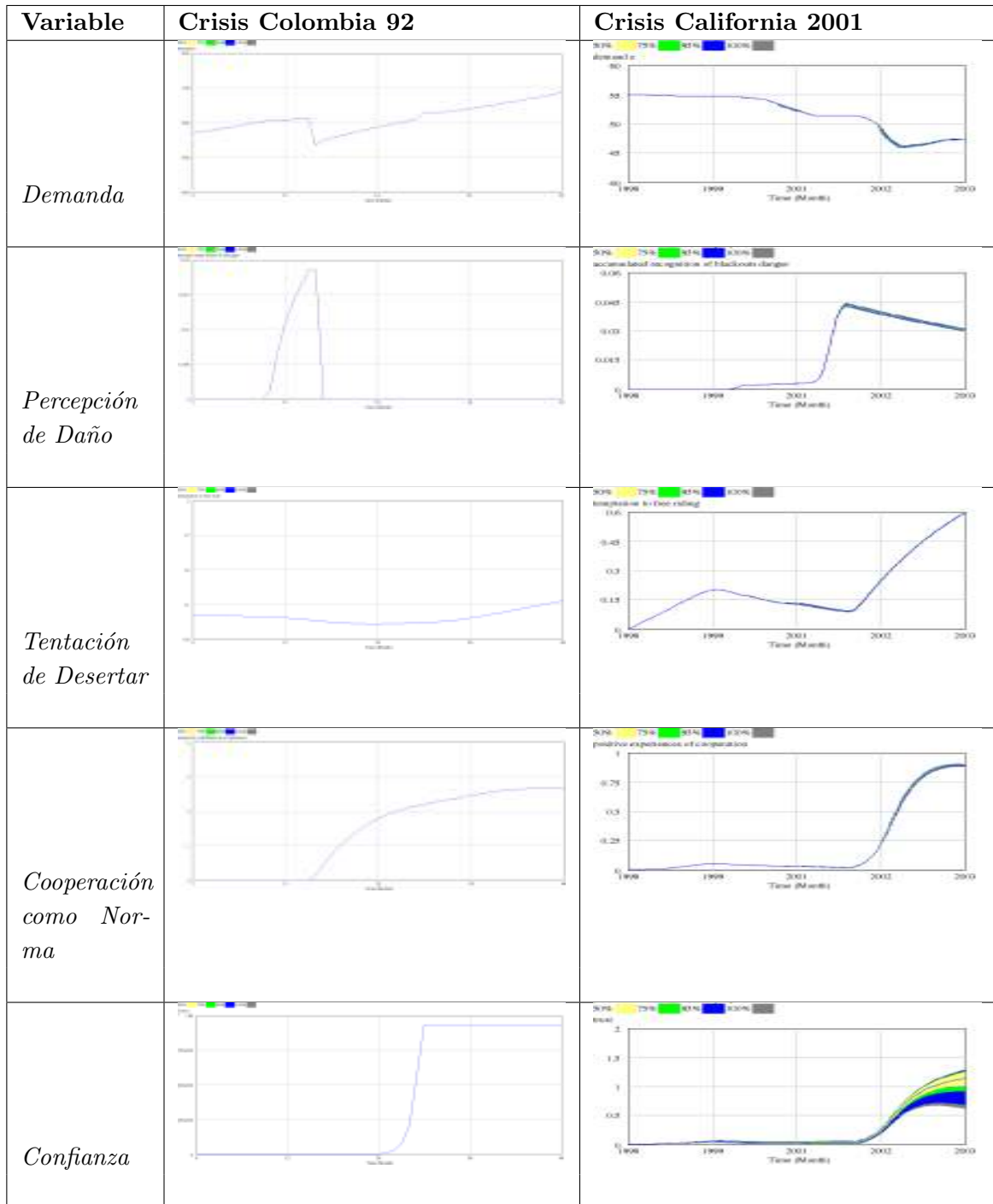


Tabla 5-17: Análisis de Sensibilidad Vida Media Confianza

5.6. Ejercicios de Análisis de Sensibilidad Adicionales

Se realizaron ejercicios de análisis de sensibilidad para evaluar la incertidumbre que se integra al sistema al variar uniformemente la vida media de la cooperación como norma, que representa el tiempo de permanencia del aprendizaje que permite la adopción de la cooperación como norma. La Figura 5-20 de la página 141 ilustra la variabilidad que sobre la demanda de electricidad produce una variación por la incertidumbre en la vida media de la cooperación como norma. La magnitud del retardo que define el tiempo de conservación o duración de la cooperación como norma supone una variabilidad en la efectividad de la cooperación alcanzada para el caso. La Figura 5-20 de la página 141 presenta los resultados del análisis de sensibilidad realizados sobre la variable demanda en el modelo sobre la crisis de electricidad de Colombia 1992 variando de manera uniforme la variable vida media de la cooperación como norma, que permite evaluar la efectividad de la gestión realizada mediante el mecanismo de cooperación como norma. Antes y durante el racionamiento realizado no hay variabilidad como consecuencia de la variabilidad en el tiempo de ajuste de la cooperación como norma. Un mes antes de finalizar el racionamiento comienza la variabilidad entre 6 y 7.4 Mega vatios con un 95 % de confianza. La Figura 5-20 muestra los límites de confianza para la demanda de electricidad en una muestra de 200 simulaciones.

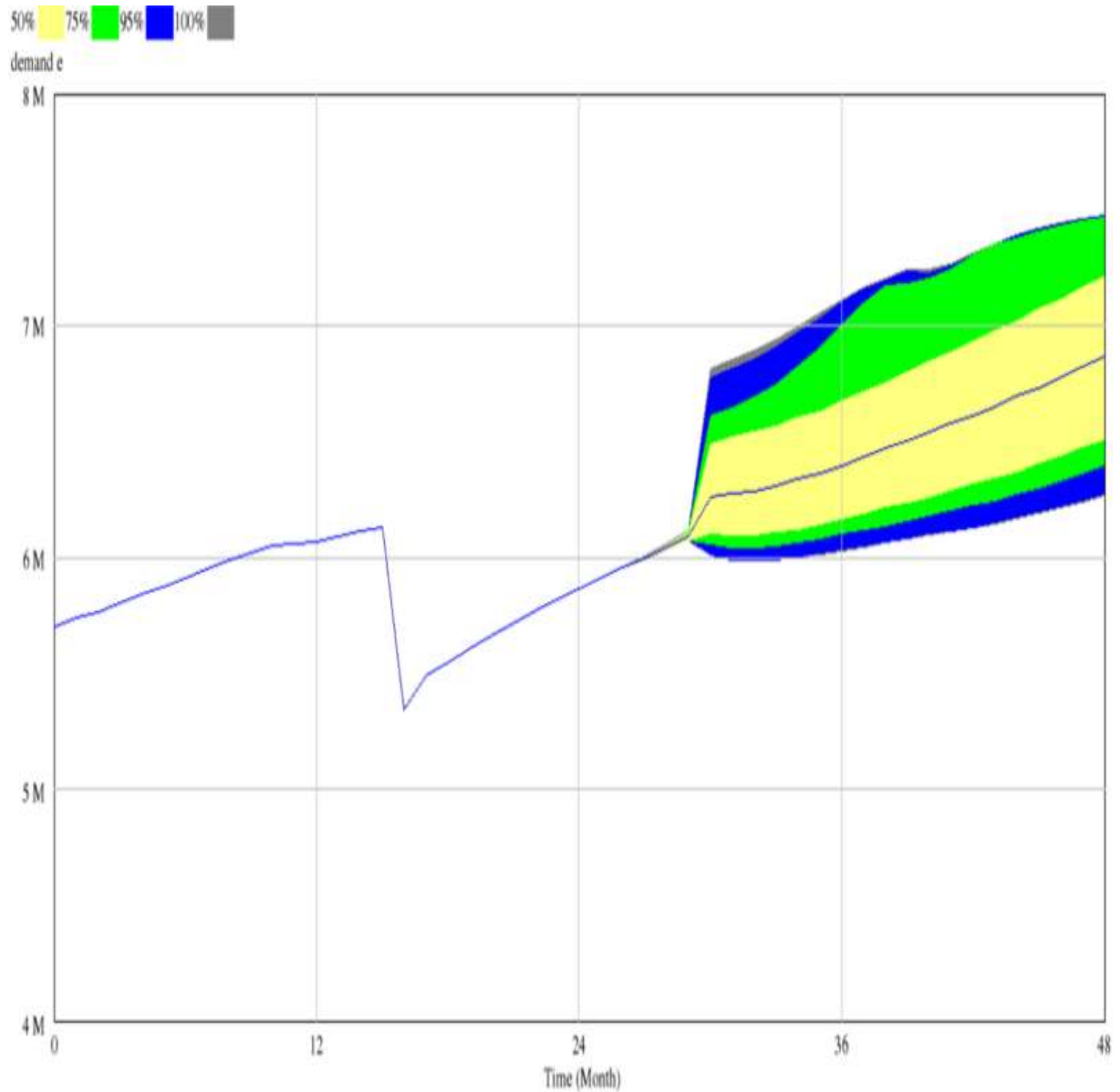


Figura 5-20: Análisis de sensibilidad para la vida media de cooperación de largo plazo. Efectos de la complejidad dinámica en la gestión de la cooperación en el caso de la Crisis de electricidad de Colombia 1992

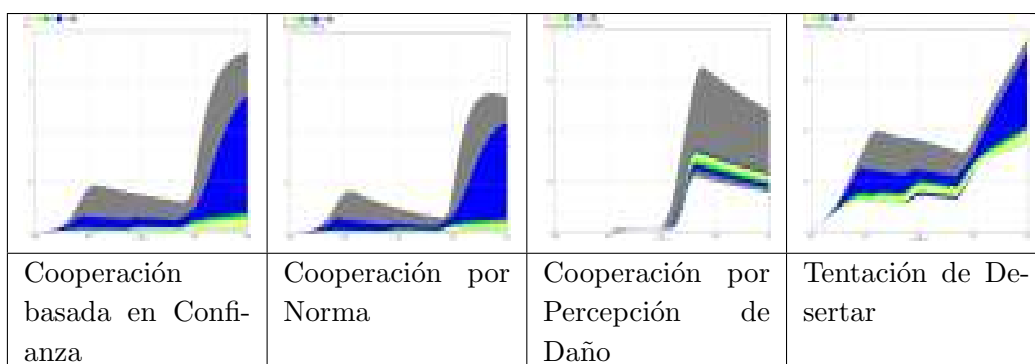


Tabla 5-18: Análisis de Sensibilidad por variabilidad del tiempo ajuste retardo de información sobre los mecanismos evaluados y la tentación de desertar para el Caso de la Crisis de Electricidad de California 2001.

El análisis de sensibilidad desarrollado para cada una de las variables supuso evaluar variabilidad para el rango definido para cada una de ellas con una distribución uniforme con la que realizaron 200 corridas. La Tabla 5-18 de la página 142 ilustra el funcionamiento de la gestión de la cooperación basada en mecanismos sobre la demanda de electricidad en el modelo sobre el caso de la crisis de electricidad de Colombia 1992 como consecuencia en la variabilidad del tiempo de ajuste en retardo que sostiene la intensidad del mecanismo de cooperación como norma. Se utilizó una distribución uniforme para generar simulaciones para tiempos de ajuste entre 1 y 10 meses, valores alrededor del tiempo de ajuste de referencia de 5,3 meses. La amplitud del intervalo de confianza se debe a los efectos de la tentación de desertar que se enfrenta mediante los mecanismos de cooperación utilizados en la gestión y por los ciclos de refuerzo de los mecanismos de cooperación por confianza y cooperación como norma. Esto se ilustra en la Tabla 5-18 de la página 142

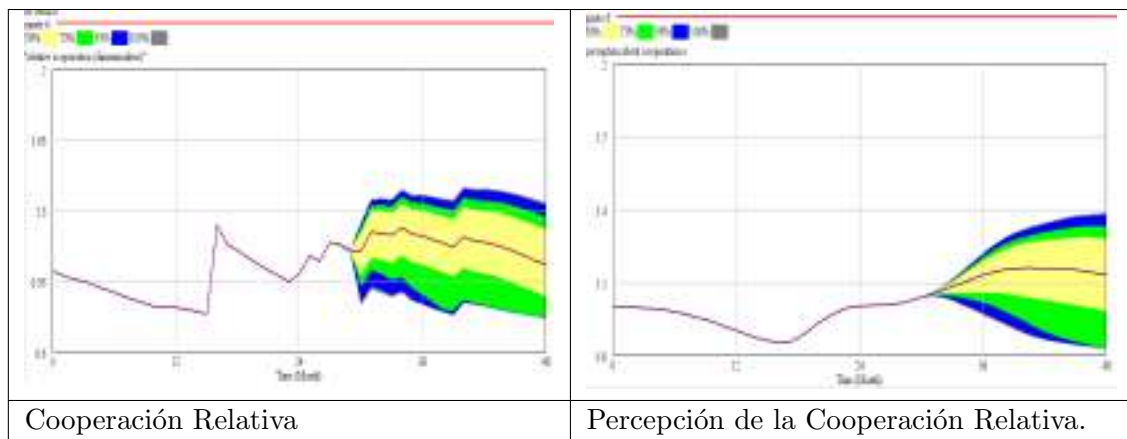


Tabla 5-19: Análisis de sensibilidad de la vida media de cooperación de largo plazo para la Cooperación relativa y su Percepción para el Caso de la Crisis de electricidad de Colombia 1992.

La Tabla 5-19 de la página 143 presenta el análisis de sensibilidad de la vida media de cooperación de largo plazo para la Cooperación relativa y su Percepción para el Caso de la Crisis de electricidad de Colombia 1992.

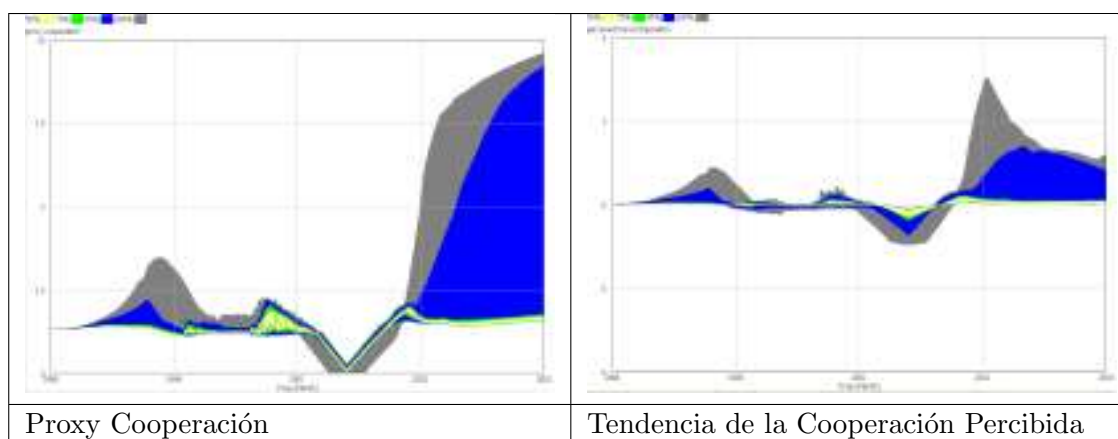


Tabla 5-20: Análisis de Sensibilidad del efecto de la variabilidad del tiempo de ajuste de retardo sobre la Cooperación y la Tendencia de Cooperación Percibida Caso Crisis de Electricidad California 2001.

Se concluye, que la efectividad de la cooperación alcanzada es sensible a la variabilidad de la magnitud del retardo en la información sobre el margen del sistema. No obstante, los resultados del análisis de sensibilidad suponen una alta probabilidad de desempeño efectivo de los mecanismos de cooperación aplicados durante la crisis de electricidad de Colombia 1992.

Se realizó una análisis de sensibilidad con la variable retardo para percibir la tendencia de cooperación para el Caso de la Crisis de Electricidad de California 2001. El valor de referencia de la variable es 2. El análisis de sensibilidad realizó 200 simulaciones tipo Monte Carlo que generaron valores uniformemente distribuidos entre 1 y 10. La Figura 5-21 de la página 145 presenta el Análisis de Sensibilidad por variabilidad del tiempo de ajuste del retardo de información sobre la Demanda Caso Crisis California 2001.

En la Tabla 5-20 de la página 144 se puede observar cómo los mecanismos utilizados reducen el espacio de confianza asegurando la reducción de la demanda por cooperación. A pesar de la variabilidad que presentan los gráficos, los mecanismos de cooperación son efectivos durante la mayor parte del horizonte de simulación en la variable demanda. Esto sugiere que en tiempos de crisis y a pesar de los retardos y la variabilidad incluida en el tiempo de ajuste, los mecanismos de cooperación pueden ser efectivos en la reducción de la demanda en crisis de electricidad.

El análisis de sensibilidad ilustra el efecto que la variabilidad del tiempo de ajuste del retardo de información sobre el estado del recurso tiene sobre el proxy de cooperación y la tendencia de cooperación percibida se presenta en la Tabla 5-20 de la página 144.

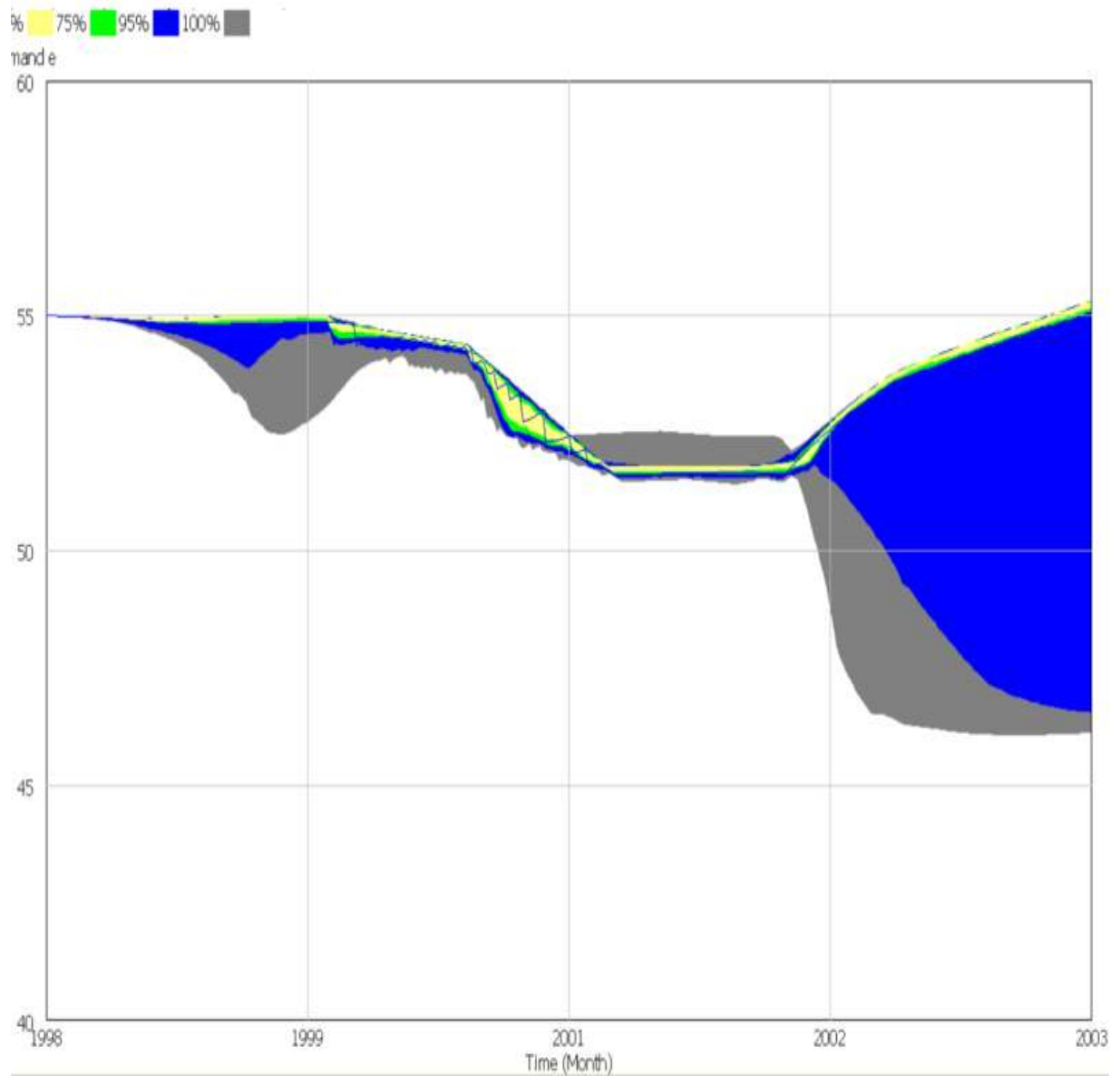


Figura 5-21: Análisis de Sensibilidad por variabilidad del tiempo de ajuste del retardo de información sobre la Demanda Caso Crisis California 2001.

5.7. Discusión

Se ha presentado el constructo para evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. Se evaluaron dos crisis de electricidad como casos frente a los criterios de evaluación de caso propuestos: la crisis de electricidad de Colombia 1992 y la de California 2001. Los casos evaluados resultaron aptos para ser considerados como situaciones de dilema social de recurso agotable de gran escala en las que se aplicaron mecanismos de cooperación. Luego de presentados al detalle los dos casos, se describieron los modelos desarrollados con base en el constructo de evaluación, se presentaron ejercicios de simulación, análisis de sensibilidad y ejercicios de simulación comparada entre los dos casos, con el objeto de evaluar la capacidad del constructo diseñado de dar cuenta de la cooperación en los casos. Las simulaciones y análisis de sensibilidad se han utilizado como pruebas de falsación de la hipótesis dinámica. Los resultados obtenidos luego de realizar estas actividades son los siguientes:

1. **El constructo de evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación diseñado integra como unidad mecanismos de cooperación considerados en la literatura.**

El constructo diseñado permite la evaluación de la efectividad mecanismos utilizados para promover la cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. Para realizar la evaluación de la efectividad se integraron mecanismos específicos de cooperación referidos en la literatura como son: el de cooperación basada en confianza (Ostrom, 2000a), el de cooperación por percepción de daño (Schelling, 1958) y el de cooperación como norma (Biel et al., 1999). La integración como unidad propuesta en el constructo diseñado es novedosa, pues sugiere cómo dichos mecanismos se complementan para sostener la cooperación bajo las circunstancias particulares de los dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. No se ha encontrado en la literatura revisada una propuesta de integración de mecanismos como la propuesta en esta tesis. Como se describe a continuación, el constructo permite explicar, en el sentido de dar cuenta, la variación de la cooperación en estos dos casos asumidos (Véase Parra & Dyner (2010b,c)).

2. **El constructo de evaluación diseñado da cuenta de la cooperación en la crisis de electricidad de Colombia 1992 y de California 2001.**

La evaluación crítica de las simulaciones realizadas, el análisis de sensibilidad y las pruebas estadísticas aplicadas para los dos casos permiten sugerir que el constructo diseñado da cuenta de la variación de la cooperación durante tales crisis. En el caso de Colombia 1992, el constructo explica la reducción inicial previa al inicio de los racionamientos como un efecto de la percepción de daño. El sostenimiento de la reducción de la cooperación luego de finalizado el periodo de racionamientos se explica como

un resultado del aprendizaje de la cooperación como norma. En el caso de California 2001, la percepción de daño permitió evitar la realización de racionamientos con la magnitud anunciada al inicio de la crisis. La acumulación de experiencias de cooperación basada en confianza permitió mantener la reducción de la demanda y superar la crisis. Las simulaciones y los resultados del análisis de sensibilidad se explican en función de la estructura del constructo diseñado (Parra & Dyer, 2010b,c).

3. **La realimentación es la micro-estructura de la cooperación, por lo que la cooperación es sensible al deterioro o mejoramiento de las condiciones de complejidad dinámica.** El diseño del constructo de evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación aplicados en crisis de electricidad como dilemas sociales de recurso agotable de gran escala y su aplicación en la evaluación de los casos revisados permite hacer énfasis en la importancia de la realimentación como la micro-estructura de la cooperación. No hay mecanismo de cooperación que no requiera de la realimentación para su funcionamiento. De esta forma, todas las condiciones que afecten la realimentación afectarán a su vez a la cooperación. Este es el caso de los dilemas sociales de recurso agotable de gran escala, en donde la complejidad dinámica incrementa la dificultad que deben enfrentar los mecanismos de cooperación aplicados (Parra & Dyer, 2010b,c).
4. **Las pruebas aplicadas no lograron refutar la hipótesis.** Las pruebas de simulación, de análisis de sensibilidad y de simulación comparada entre los casos, permitió evaluar la plausibilidad de la hipótesis dinámica. Luego de las pruebas aplicadas, la hipótesis se mantiene vigente. Se sugiere que las pruebas realizadas son suficientes como logros que satisfacen los objetivos planteados. Los resultados de las pruebas estadísticas son sintetizados en las Tablas **5-21** de la página 148 y **5-22** de la página 149.

Item	Crisis Colombia 1992	Crisis California 2001
<i>Nombre variable de datos</i>	maximum demand	net peak demand
<i>Nombre variable modelo</i>	demand	demand
<i>Número de puntos</i>	45	6
<i>MSE</i>	4675.38	0.48
<i>RMSPE</i>	0,01	0,01
<i>Data Mean</i>	6080.62	53.53
<i>Simulation Mean</i>	6080.4	53.8
<i>STD Dev Data</i>	345.62	1,6
<i>STD Dev Simulation</i>	338.01	1,62
<i>r</i>	0.98	0.92
<i>r²</i>	0.96	0.85
<i>U(M)</i>	0	0,15
<i>U(S)</i>	0,01	0
<i>U(C)</i>	0,99	0,85
Theil's Check	1	1

Tabla 5-21: Resultados consolidados pruebas Theils para los modelos de la crisis de Colombia 1992 y California 2001.

Variable	Porcentaje de Error Raíz Media Cuadrada	Error Medio Cuadrado	$U(m)$	$U(S)$	$U(C)$	¿Refuta la hipótesis dinámica?
<i>maximun demand</i>	0,01	4675,38	0	0,01	0,99	No, pues el error es no sistemático
<i>net peak demand</i>	0,01	0,48	0,15	0	0,85	No, el error es no sistemático en la zona específica de la aplicación completa de los mecanismos.

Tabla 5-22: Síntesis de evaluación de las estadísticas de Theil para los modelos de la crisis de Colombia 1992 y California 2001

5. **Los mecanismos de cooperación evaluados enfrentaron las condiciones iniciales no propicias para la cooperación** En los dos casos abordados, se asumió las peores condiciones de confianza inicial de cooperación. No obstante los mecanismos fueron capaces de promover cooperación efectiva para superar la crisis (Parra & Dyn-er, 2010b,c).
6. **Los mecanismos de cooperación evaluados son efectivos para promover la cooperación en crisis de electricidad.** Se ha ilustrado la aplicación del constructo para el evaluación de la efectividad de los mecanismos de cooperación aplicados en las crisis de electricidad de California 2001 y Colombia 1992. Los mecanismos evaluados resultaron efectivos para promover la cooperación.
7. **El constructo de evaluación diseñado permite evaluar la efectividad de los mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.** Los casos de evaluación ilustran cómo los mecanismos de cooperación evaluados se complementan para hacer efectiva la cooperación. Para que aparezca la cooperación de largo plazo como norma se requiere de la cooperación basada en confianza, pero no se puede asumir que en todos los casos se contará con la confianza de cooperación inicial requerida. Para esto es necesaria la percepción de daño como mecanismo para promover la cooperación por confianza necesaria para acumular las suficientes experiencias positivas de cooperación que permitan sostener la cooperación en el largo plazo mediante el aprendizaje de la cooperación como norma. La cooperación basada en confianza puede sufrir por las condiciones de complejidad dinámica, por lo que los demás mecanismos aseguran que en caso de crisis que debiliten la cooperación basada en confianza, los demás mecanismos responden re-impulsando la cooperación.
8. **Se ha ilustrado una posibilidad novedosa de utilización de la Dinámica de Sistemas en la evaluación de mecanismos de cooperación.** Los casos ilustran un uso novedoso de la Dinámica de Sistemas en la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala (Parra & Dyner, 2010a,b,c).

6 Caso en Evolución: Cooperación en la Reducción de la Concentración de CO_2

Luego de presentar dos casos históricos sobre crisis de electricidad a continuación se presentan dos capítulos que suponen pruebas adicionales para el constructo de evaluación diseñado. En este Capítulo en particular se presenta un caso en progreso, a diferencia de los dos casos anteriores en los que se ha documentado históricamente la cooperación alcanzada y los mecanismos utilizados. Este caso permite ilustrar la utilidad del constructo para evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación aplicables en una crisis en desarrollo. Las condiciones de complejidad dinámica así como la alta inercia del sistema que caracterizan el caso de estudio abordado, suponen una prueba en condiciones extremas en la que se profundiza sobre las propiedades del esquema y mecanismos de cooperación en tales condiciones.

Este capítulo presenta como caso la crisis por el incremento de la concentración de Gases de Efecto Invernadero CO_2 en la atmósfera de la Tierra. Se ofrecen los principales argumentos reportados en la literatura para explicar dicho incremento en la concentración como un aumento relativo de las emisiones de CO_2 atribuidas al hombre, frente a la reducción paulatina de la capacidad de la naturaleza para atrapar Carbono (Shukla et al., 1990).

El cambio climático es un incremento anticipado en la temperatura promedio del planeta causada por tres causas fundamentales: el incremento de las concentraciones atmosféricas de CO_2 y Óxidos Nitrosos, Metano y Clorofluorocarbonados (CFCs) los cuales participan en el debilitamiento del Ozono estratosférico (Houghton et al., 1990). El incremento del nivel de CO_2 es también producto de la destrucción de los bosques húmedos (Shukla et al., 1990) y del material vegetal marino (Caldeira & Wickett, 2003).

Existe aún un debate sobre las posibles causas del Cambio Climático, aunque recientemente el consenso ha crecido sobre los factores antropogénicos como su causa más probable (Newton, 1993). Algunos científicos reconocen que existe una tendencia al calentamiento (Caldwell & Weiland, 1996). La temperatura de la Tierra pareció estabilizarse a finales de los años Ochenta, pero algunos científicos atribuyeron ese fenómeno a un efecto de enfriamiento consecuencia de las erupciones de los volcanes Santa Helena, el Chichón y el Pinatubo (Crowley, 2000). Científicos Daneses han descubierto una correlación entre la actividad solar y la fluctuación de la temperatura en la superficie de la Tierra (ReVelle & ReVelle, 1992). Algunos científicos suponen que la Tierra pasa por ciclos de calentamiento y enfriamiento independientes de las actividades humanas y consideran que dicho comportamiento de la Tierra responde a ciclos naturales (Boykoff & Boykoff, 2004). Recientes investigaciones

suponen una compleja relación entre el clima y oscilaciones masivas de los océanos en el Atlántico Norte y el Pacífico (Rahmstorf, 2002). No obstante, si la tendencia de incremento de la temperatura continúa, es probable que sean las actividades humanas las principales responsables de dicho incremento (Houghton et al., 2001). Aunque el impacto acumulativo del cambio climático es incierto, el problema no se origina por el Cambio Climático en sí mismo sino por la magnitud de dicho cambio (Houghton et al., 2001).

El efecto invernadero fue notado por primera vez en 1827 por el matemático Francés Jean-Baptiste-Joseph Fourier, aunque él no ofreció una explicación que relacionara dicho fenómeno con el Cambio Climático y las actividades humanas (Dufresne, 2006). En 1908 el físico y químico Suizo Svante Arrhenius fue el primero en relacionar las actividades humanas con las emisiones de Carbono y la temperatura mundial (Arrhenius, 1908). Sólo hasta 1957 se comenzó a monitorear desde una estación permanente en Manua Loa (Tans, 2010).

Hacia 1979, un consenso científico fue emergiendo sobre el crecimiento peligroso del CO_2 y otros gases de efecto invernadero y su efecto sobre el clima (Bodansky, 2001). En Diciembre de 1988 la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó una resolución sobre la Protección del Clima Global (Bodansky, 2001). Meses después se constituyó un panel de expertos legales y políticos sobre la protección de la atmósfera en Toronto y se constituyó una convención sobre Cambio Climático (Bodansky, 2001). En 1990 se presentó el informe final del primer grupo de trabajo del Panel Internacional para el Cambio Climático (IPCC) (Bodansky, 2001). Desde ese entonces, los científicos afirman que el incremento en los niveles de CO_2 están teniendo un efecto desastroso en el Clima de la Tierra (Rowlands, 1995).

El Cambio Climático ha incrementado el riesgo de extinción masiva de especies animales y vegetales (Thomas et al., 2004). Este fenómeno puede tener efectos en el suministro mundial de alimentos (Rosenzweig & Parry, 1994), en la salud de grupos humanos por la aparición o re-aparición de enfermedades ya superadas (Martens et al., 1995). Los efectos del Cambio Climático suponen cambios potenciales en el clima que favorecen eventos sorpresivos no esperados debido a la enorme complejidad de los procesos y interrelaciones involucrados, tales como los que suponen las relaciones entre los océanos, la atmósfera y los sistemas terrestres (Reilly & Schimmelpfennig, 2000; Schneider, 2004; Solomon et al., 2009). De todos estos sistemas se posee un pobre entendimiento (Schneider, 2004).

La severidad del Cambio Climático se manifiesta en su irreversibilidad. Solomon et al. (2009) suponen que la concentración de CO_2 en la atmósfera es irreversible por mil años luego de haber detenido completamente las emisiones de CO_2 . Se han pronosticado otros efectos irreversibles tales como reducciones en las precipitaciones en ciertas regiones y el crecimiento del nivel del mar (Solomon et al., 2009).

La discusión científica del presente explica el Cambio Climático como consecuencia del incremento de la concentración en la atmósfera de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Houghton et al., 1990). La atmósfera posee un sistema dinámico de conservación de la temperatura por medio del que se retiene calor que de otra manera sería liberado al espacio exterior (Mann et al., 1998).

Se considera que los gases de efecto invernadero de origen antropogénico y el aumento de su concentración durante el periodo comprendido desde el inicio de la era industrial hasta nuestros días explican el calentamiento global que sufre la tierra en el presente (Mackay, 2008; Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC, 2007).

Si se considera la atmósfera como un recurso compartido, los seres humanos enfrentan un dilema social de recurso de gran escala (Buck, 1998). Los individuos, empresas y naciones se pueden beneficiar en el corto plazo al liberar gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, pero los costos de dicho comportamiento son extremadamente altos para todos. Los mayores costos del calentamiento global los pagan los más pobres (Sterman & Sweeney, 2002).

La influencia de los gases de efecto invernadero sobre la temperatura se conoce como forzamiento radiativo (Shine, 2000). Para reducir el efecto radiativo de los GEI se requiere reducir su concentración en la atmósfera, por lo que mantener la velocidad con la que son liberados a la atmósfera no va a contribuir con la reducción de la temperatura en la atmósfera (Sterman & Sweeney, 2002).

El clima es un sistema complejo que puede describirse de manera relativamente simple. La temperatura de la tierra puede entenderse como un nivel en donde dos flujos determinan su variación en el tiempo. El forzamiento radiativo producido por los gases de efecto invernadero determina el incremento de la temperatura como consecuencia de que dichos gases retienen el calor en la atmósfera (Shine, 2000).

De esta forma la radiación solar queda atrapada en la atmósfera, lo que aumenta la temperatura (Shine, 2000). Sin la existencia de la atmósfera y el efecto invernadero, la radiación del sol sería emitida de nuevo al espacio. La cantidad de radiación emitida de nuevo al espacio depende de la composición de la atmósfera (Sterman & Sweeney, 2002). Gases como el CO_2 y el vapor de agua retienen calor en la atmósfera (Houghton et al., 1990).

La producción de gases de efecto invernadero por el hombre ha crecido de tal forma que ya tienen un impacto en la temperatura de la tierra (Hansen et al., 1997). Al aumentar la concentración de estos gases, aumenta su contribución al incremento de la temperatura, lo ha traído como consecuencia el deshielo de los glaciares y la reducción del hielo en invierno, el incremento del nivel del mar, así como la ocurrencia más frecuente de eventos climáticos extremos (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC, 2007). La Figura 6-1 en la página 154 presenta datos sobre la cantidad de CO_2 en la atmósfera medida en Manua Loa (Tans, 2010)

Los informes periódicos de los científicos concluyen que la mayor parte del calentamiento de los últimos 50 años es atribuible a las actividades humanas (Hansen et al., 1997). En todos los modelos de simulación del clima se presenta inercia (Sterman & Sweeney, 2002).

Sterman & Sweeney (2002) ofrecen una versión simplificada de los niveles y flujos más importantes que gobiernan la representación dinámica del clima, que se inspiran en el modelo de Fiddman (Sterman & Sweeney, 2002). Dicho modelo ofrece dos partes: una que representa el carbón retenido por ejemplo en los combustibles fósiles que no interactúa directamente con el clima y el segundo que representa el carbón en la atmósfera. En escala de tiempo

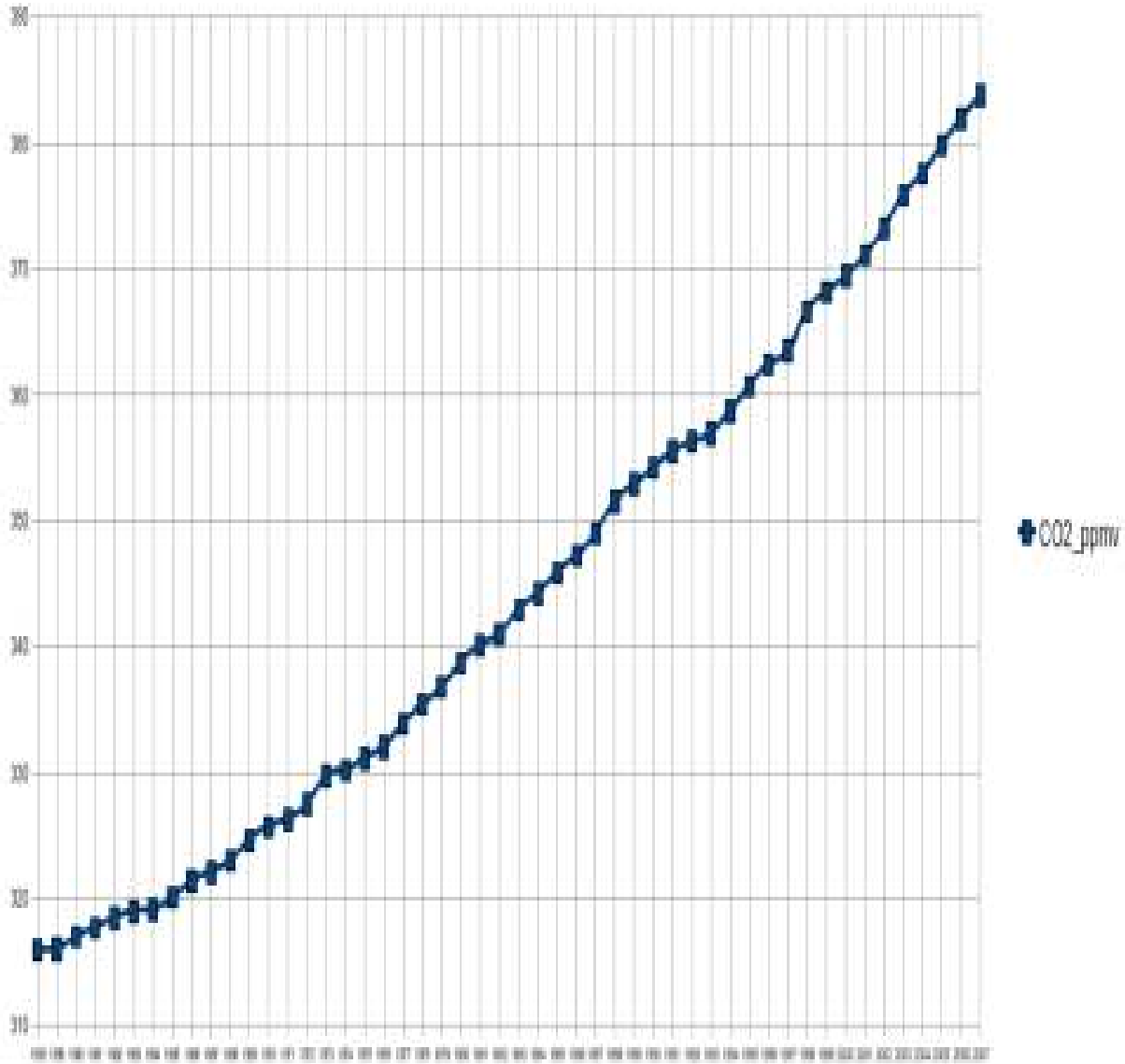


Figura 6-1: Cantidad de CO_2 en la atmósfera medida en Manua Loa (Tans, 2010).

geológico, el carbón de la atmósfera se convierte en combustible fósil.

6.1. Revisión cumplimiento de condiciones de caso.

A continuación se hace una revisión del cumplimiento de condiciones de caso. La Tabla **6-1** de la página 156 ofrece una evaluación de cumplimiento de todos los criterios predefinidos. La Literatura ofrece argumentos para asumir la atmósfera como un común global (Soroos, 1991; McGinnis & Ostrom, 1992). El aire limpio es un recurso encontrado en la atmósfera, y aunque no es extraído, llega a ser escaso en la medida que en ella se emiten contaminantes (McGinnis & Ostrom, 1992). Si las emisiones de Carbón son asumidas como un uso indebido o sobre uso de la capacidad de absorción del Carbón en el aire, la emisión de CO_2 de un país en particular reduce la capacidad de absorción disponible para otro país. Es casi imposible excluir a alguien de beneficiarse de la capacidad de absorción de la atmósfera (Buck, 1998). Así, la capacidad de la atmósfera para absorber CO_2 es un recurso altamente sustraible y con dificultad de exclusión (Dietz et al., 2003). Buck (1998) sugiere que no es posible hacer la extensión del marco conceptual de los comunes a los problemas de contaminación de la atmósfera. No obstante, en la tesis se utilizó un enfoque diferente a los anteriormente expuestos. Si bien es la Naturaleza la tiene una capacidad para secuestrar Carbón, principalmente mediante su captura por plantas como los árboles en los bosques y por la captura que realizan las algas marinas, y entendiendo que la tala de árboles o la contaminación de los mares reduce dicha capacidad, la tesis asume la reducción de la concentración de CO_2 en la atmósfera como una aproximación de la cooperación. Los incrementos en la concentración de CO_2 reducen no sólo la oportunidad de emisión de otros, sino que producen daños colaterales relacionados con el forzamiento radiativo adicional y su efecto en el aumento en la temperatura y en los daños que este aumento suponen en el clima. Es decir, el emitir CO_2 se constituye en una acción de tipo free riding que genera externalidades directas e indirectas que afectan el bienestar colectivo. El modelo diseñado, no supondrá los efectos que sobre la capacidad de absorción de Carbón tiene la tala de árboles. Se supondrá que la acción cooperativa a decidir es la magnitud de la reducción de las emisiones de CO_2 a la atmósfera.

Dilema Social	Elementos	Cumplimiento
	Acción de racionalidad individual	Emisión de CO_2 a la atmósfera.
	Objetivo Bienestar Colectivo	Reducir la concentración de CO_2 a los niveles de 1958
Bien Económico		
	Recurso Común Agotable	Capacidad de absorción de CO_2
	Uso por encima del nivel sostenible	Las emisiones de CO_2 han superado la capacidad de la naturaleza para absorberlas, razón por la que se acumula el CO_2 no secuestrado en la atmósfera, incrementando el efecto radiativo de los gases de efecto invernadero allí contenidos.
	Alta Sustractibilidad	La concentración adicional de CO_2 no absorbida por la naturaleza elimina la posibilidad de que otros emitan, así como incrementa la temperatura global con el deterioro que esto produce en el clima.
	Dificultad de Exclusión	Es casi imposible excluir a los beneficiarios de un clima adecuado o a los beneficiarios de la capacidad de captura de Carbono de la Naturaleza.
Grupo		
	Más de 10 individuos	Población total del Planeta 6,879,500,000 (U.S. Census Bureau, 2010)
	Características Heterogéneas	La población mundial es heterogénea
	No hay comunicación cara a cara	No se puede asumir la posibilidad de comunicación cara a cara, pero los medios de comunicación sociales.
	Existe realimentación	Con grandes retardos y distorsiones es posible conocer el estado del recurso y los resultados de las acciones de los demás.
	Retardos considerables	Grandes retardos en la información.
	Dificultades de Percepción	Dificultades en recolectar y reconocer información y cambios en la tendencias.
	Encuentros Indefinidos	
Intervención		
	Percepción de Daño	La relación entre las consecuencias del cambio climático y la acumulación de gases de efecto invernadero incrementan la percepción de daño.
	Posibilidad restricción apropiación	Es posible aplicar mecanismos de restricción de emisiones de CO_2 .
Aprendizaje	Cooperación de largo plazo	Existe la posibilidad de aplicar aprendizaje de cooperación.

Tabla 6-1: Evaluación cumplimiento de condiciones de caso Crisis del CO_2

6.2. Mecanismos de cooperación para la crisis de emisiones de CO_2

A continuación se presentan los mecanismos que se distinguen en el caso y que serán evaluados. Si bien aún se realizan discusiones sobre el diseño institucional más adecuado para enfrentar las emisiones de efecto invernadero, como los mercados de Carbono (Capoor & Ambrosi, 2007; Wara, 2007), Protocolo de Kyoto, que supone compromisos para estabilizar las emisiones de CO_2 (Protocol, 1997), Impuestos de Carbono (Whalley & Wigle, 1991; Nordhaus & Yang, 1996), la cooperación y sus mecanismos siguen haciendo parte de las alternativas que se discuten para abordar el problema (Barrett, 1999; McGinnis & Ostrom, 1992; Dietz et al., 2003; Ostrom, 2010).

- Cooperación basada en confianza. En el corto plazo, es posible generar cooperación. La confianza de cooperación permite realizar acciones cooperativas. Presenta como inconveniente que por sí sola no sostendría la cooperación en el largo plazo, debido a la gran inercia que presenta el sistema, pues no se podría reconocer los resultados de la cooperación pues sus manifestaciones de darán mucho tiempo después. Igualmente la cooperación no aparece si las condiciones iniciales de la confianza no son favorables.
- Cooperación como norma de largo plazo. El aprendizaje de la cooperación como norma sería una alternativa para sostener la cooperación en el largo plazo.
- Percepción de Daño. Los grandes problemas que ofrece el cambio climático pueden utilizarse en un mecanismo para promover la percepción de daño por deterioro del recurso.

6.3. Evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en la crisis del CO_2

Esta sección presenta el modelo desarrollado para evaluar mecanismos de cooperación hipotéticos para enfrentar la crisis del CO_2 en la atmósfera como dilema social de recurso agotable de gran escala. El modelo expresa el constructo diseñado para evaluar la efectividad de los mecanismos revisados. Se presenta la hipótesis dinámica, la estructura general del modelo, su alcance, fronteras y límites, una descripción de sus componentes, las simulaciones realizadas y las pruebas de validación aplicadas. No se utilizará el modelo desarrollado por Serman & Sweeney (2002) debido a que dicho modelo fue desarrollado con un propósito diferente al que se persigue en esta investigación. No obstante, en trabajos futuros sería posible y deseable integrar mecanismos de cooperación teniendo en cuenta una descripción más compleja de la inercia del Clima. Sin embargo, el modelo diseñado y su representación de la inercia del Clima son adecuados para evaluar la efectividad de los mecanismos de cooperación.

6.3.1. Hipótesis dinámica

Con base en el constructo de evaluación se presenta la Figura ?? de la página ??, en donde se expresa la hipótesis dinámica para este caso. Según nuestra hipótesis, solo si existe un reconocimiento de la relación entre la concentración de carbón en la atmósfera y el calentamiento global se reconocerá como una amenaza el deterioro de clima. Como recurso común se asume el aire limpio. Este recurso se agota en la medida que se incrementa la concentración de CO_2 en la atmósfera. Se asumió como objetivo de bienestar general la concentración de CO_2 correspondientes al año 1958. La percepción de daño depende de la relación que los individuos puedan hacer entre el incremento en la concentración de CO_2 y las manifestaciones del Cambio Climático. El retardo en reconocer dicha relación a su vez retrasaría la aplicación de las medidas que realmente pueden mitigar los efectos del calentamiento global. La enorme inercia que caracteriza el sistema podría llevar reducir la acción colectiva necesaria para mantener las medidas correctas, pues no sería posible percibir y reconocer efectos positivos en los esfuerzos de cooperación. Mecanismos de cooperación como la percepción de daño o el aprendizaje como norma de largo plazo serán evaluados, para determinar si ofrecen efectividad para mantener sostenible la cooperación por largos periodos de tiempo, como los que requiere esta crisis en función de su alta inercia.

Como se ilustra en la Figura 6-2 de la página 159, el recurso que en este caso estaría representado por la concentración de CO_2 en la atmósfera. Si se reduce dicha concentración, se estaría cooperando hacia el logro del objetivo, regresar a la concentración de CO_2 del año 1958. Los ciclos de la hipótesis dinámica son los siguientes:

- Expectativa de Daño: Ciclo de balance, que hace referencia a la expectativa de daño por deterioro del recurso, en donde a medida que aumenta la expectativa de daño por elevadas concentraciones de CO_2 en la atmósfera y sus efectos en el clima global, se reducirían las emisiones de CO_2 .
- Tentación de Desertar: Ciclo de balance, en el que a medida que se reduce la concentración de CO_2 aparecerían comportamientos oportunistas que llevarían a aumentar las emisiones de CO_2 .
- Cooperación: Ciclo de refuerzo, en donde a mayor confianza en la cooperación en la reducción en el sistema, mayor será la acción cooperativa, lo que reduciría la concentración de CO_2 . En sentido contrario, si aumenta la concentración de CO_2 , se reducirá la confianza de cooperación, lo que aumentará a su vez las emisiones de CO_2 y su concentración.
- Aprendizaje Social: Ciclo de refuerzo, en donde se realiza un aprendizaje sobre la cooperación como norma. Este mecanismo permitiría sostener la cooperación en el largo plazo, manteniendo de manera sostenida la reducción en la concentración de CO_2 y a largo plazo generar una disminución en su concentración de CO_2 .

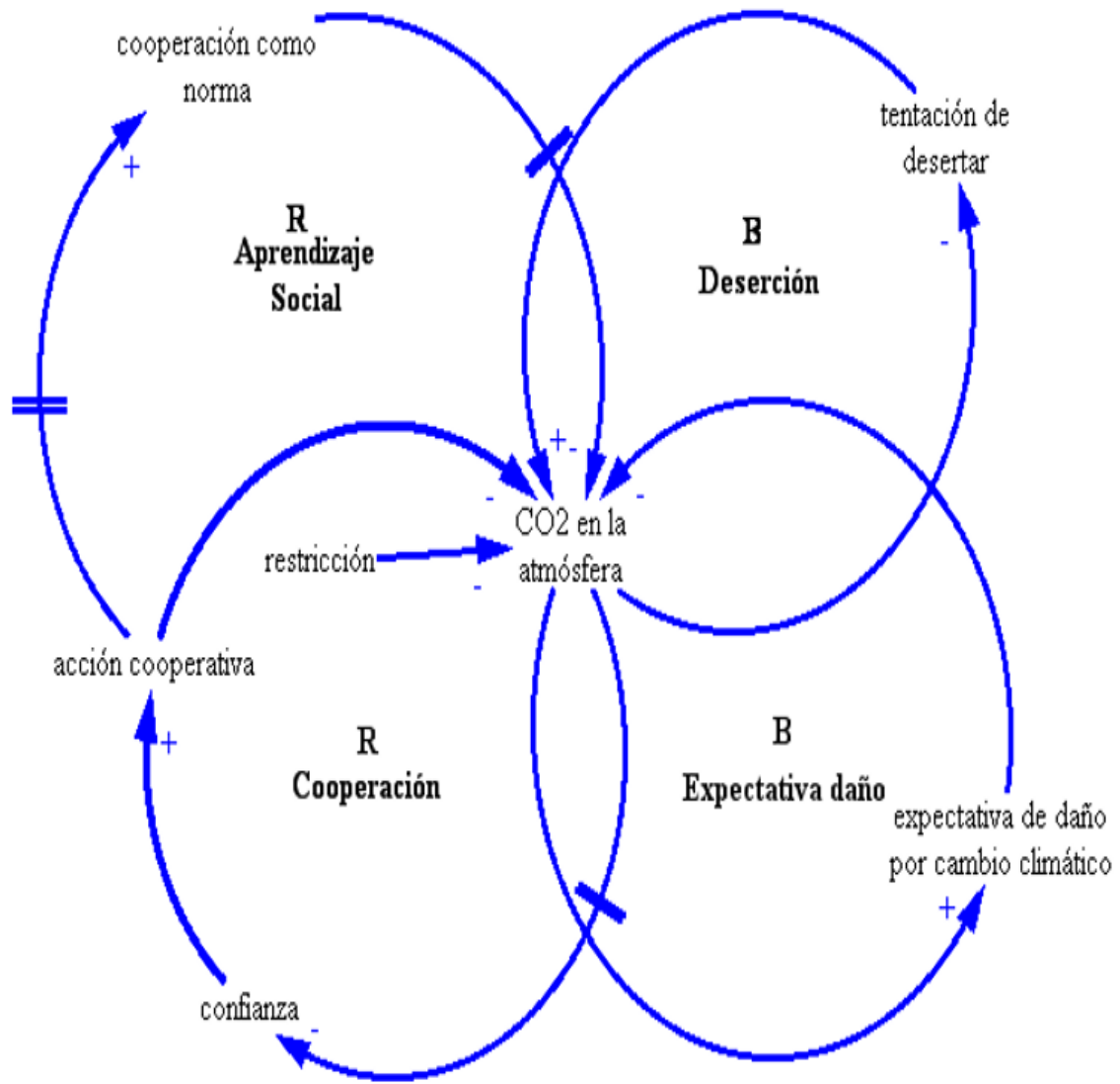


Figura 6-2: Hipótesis dinámica caso cooperación en la reducción de las emisiones de CO_2 en la atmósfera

6.3.2. Estructura general del modelo

La Figura 6-3 de la página 161 presenta los sectores fundamentales del modelo diseñado para evaluar el mecanismo de cooperación en la crisis del CO_2 en la atmósfera como dilema social de recurso agotable de gran escala. Los ciclos fundamentales explicados en la hipótesis dinámica articulan mediante niveles o ecuaciones diferenciales la confianza, la tentación de desertar, la percepción de daño y la concentración de CO_2 en la atmósfera. Cada una de las variables tiene un tiempo de vida media que determinará su residencia en su respectivo nivel.

6.3.3. Alcance del modelo

El Tabla 6-2 de la página 160 describe las variables definidas por la dinámica interna del modelo, que se denominan variables endógenas, las variables que el modelo usa pero a su vez no afecta, que se toman como datos históricos y las variables excluidas. De esta forma se definen los límites y fronteras del modelo.

Endógenas	Exógenas	Excluidas
Emisiones CO_2 Cooperación Confianza Percepción Amenaza Daño Free Rinding	Objetivo	Economía

Tabla 6-2: Fronteras del Modelo de reducción de CO_2 por cooperación como dilema social de recurso de gran escala.

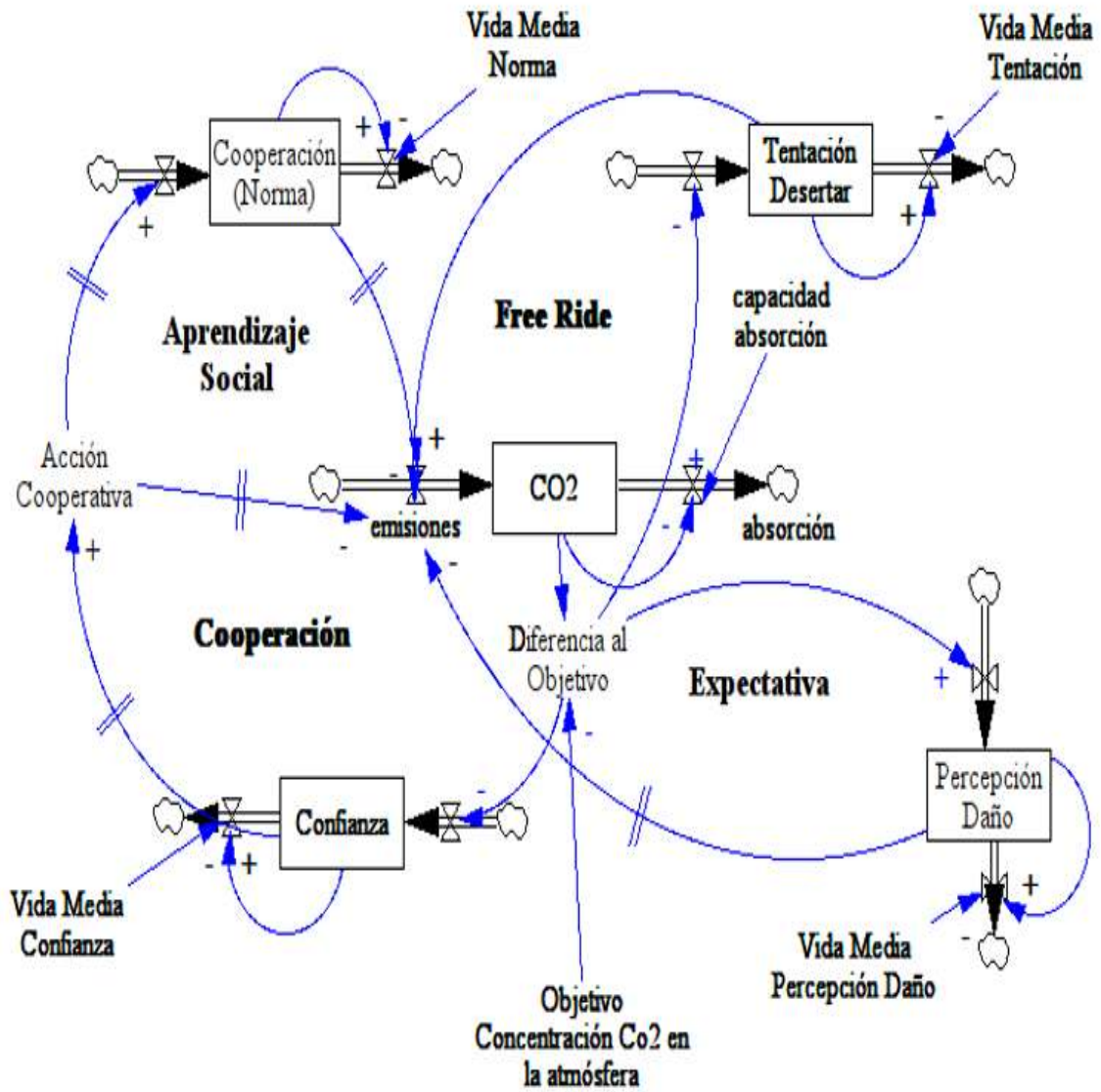


Figura 6-3: Estructura simplificada modelo reducción de CO_2 mediante cooperación como dilema social de recurso de gran escala.

6.3.4. Resultados de Simulación

Las simulaciones realizadas tienen por objeto evaluar la efectividad de la cooperación de los mecanismos de cooperación en la crisis de la concentración de CO_2 , así como intentar falsear la hipótesis dinámica.

La primera simulación supone como objetivo social llevar la concentración de CO_2 a niveles de 1958 (315 ppmv). Se asumen confianza inicial de cooperación cero y una vida media de aprendizaje de cooperación de largo plazo de 5 años. La Figura **6-4** de la página 163 ilustra los resultados de la simulación. Si bien los mecanismos logran detener la tendencia de crecimiento exponencial de la concentración de CO_2 , los mecanismos no son efectivos en el logro de la reducción hasta alcanzar el objetivo social definido.

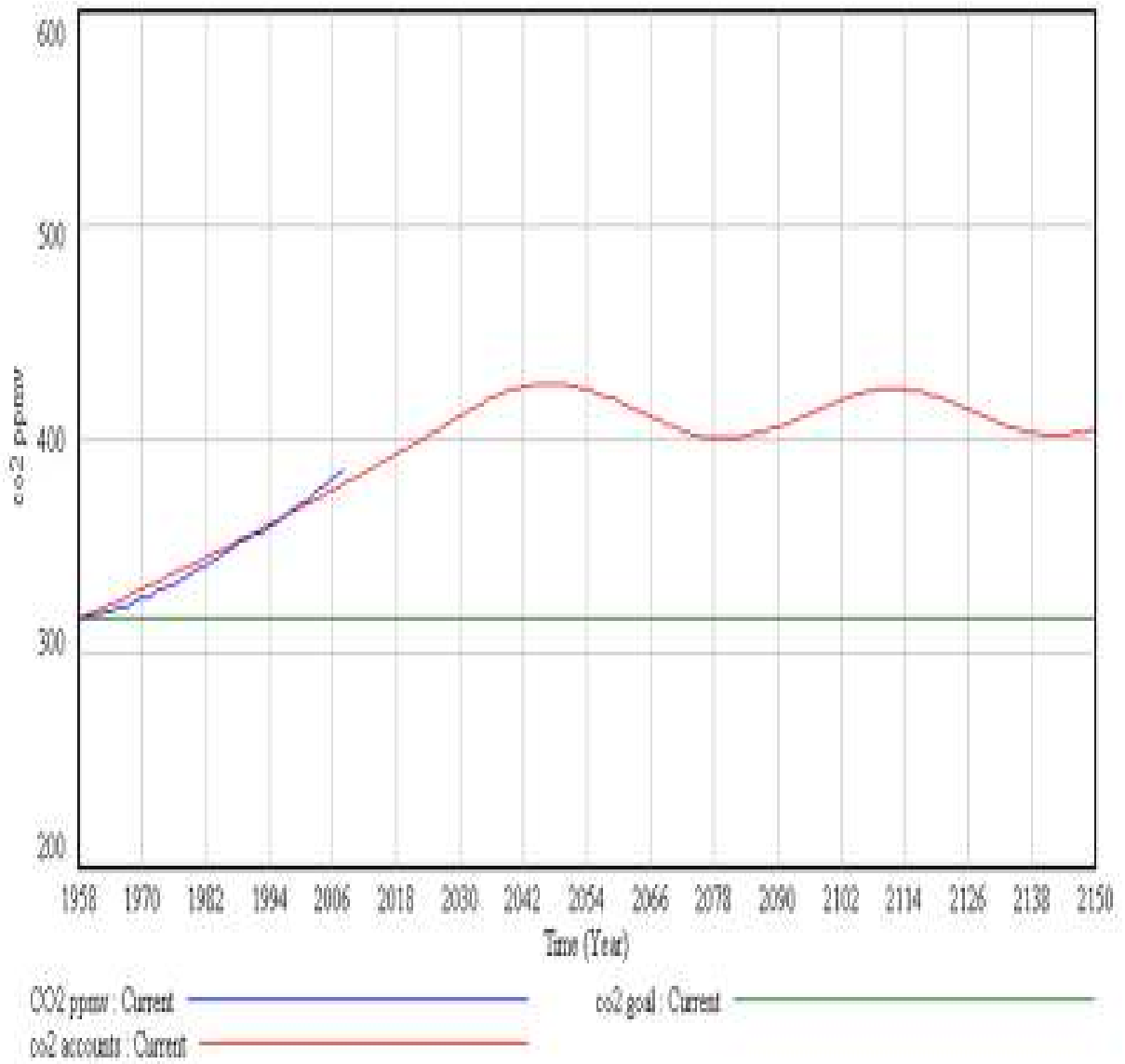


Figura 6-4: Simulación bajo un escenario de bajo nivel de aprendizaje de cooperación de largo plazo

El segundo experimento de simulación está dado por una alto aprendizaje social alrededor de la cooperación. En la Figura 6-5 en la página 165 se ilustran los resultados obtenidos en la simulación respectiva. Para este segundo experimento se tiene que el comportamiento del sistema inicialmente tiende a aumentar los niveles de CO_2 en la atmósfera, luego se consigue el objetivo social propuesto. La simulación asumió una vida media de cooperación como norma en 30 años. Los resultados de este experimento muestran inicialmente los niveles de CO_2 tienden a aumentar, pero a largo plazo y debido a esos altos niveles de aprendizaje alrededor de la cooperación, se pueden llegar a obtener niveles aceptables de dióxido de carbono en la atmósfera. En esta simulación, los mecanismos de cooperación son efectivos para lograr el objetivo social propuesto.

De acuerdo con la literatura y lo planteado previamente, se sugiere que la complejidad dinámica afecta el desempeño de la cooperación en el dilema de gran escala que supone la reducción de emisiones de CO_2 a la atmósfera, ya que a medida que aumentan los retardos en el modelo se dan menos posibilidades para una realimentación entre las acciones y sus efectos, y por ende a un menor aprendizaje alrededor de la cooperación.

En la reducción de los niveles de CO_2 en la atmósfera, es de gran importancia el papel que juegan los niveles de aprendizaje alrededor de la cooperación, ya que este puede llevar a que a largo plazo se logre tener un comportamiento estable del sistema. Cabe resaltar que la inercia misma de un sistema tan complejo, como el que implica la reducción de CO_2 en la atmósfera, trae consigo unos retardos muy grandes entre las acciones de los individuos y sus efectos, de manera que en las simulaciones realizadas, los resultados satisfactorios se dieron en un período varias décadas.

La Figura 6-6 en la página 166 presenta simulaciones para diferentes valores de vida media del reconocimiento de daño en el modelo de crisis de CO_2 . Con una vida media para el reconocimiento de daño de 33 años es posible regresar a niveles de concentración de CO_2 de 1958 hacia el año 2140. La variación de la vida media del reconocimiento de la percepción de daño y los resultados de las respectivas simulaciones permitirían confirmar que en los dilemas sociales de recurso agotable entre mayor la inercia y los retardos en la información sobre el estado del recurso y las acciones cooperativas de los individuos, más importante es mejorar los tiempos de vida media de las variables centrales de los mecanismos de cooperación, para mejorar su efectividad en el logro de la cooperación. A mayor vida media para reconocimiento de daño, se asume que el grupo cooperará por más tiempo gracias a la percepción de daño por deterioro del recurso. Los resultados de simulación son consistentes con este supuesto, pues a mayor vida media de reconocimiento de daño mejor el desempeño de la cooperación en la reducción de la concentración de CO_2 .

6.4. Resultados Pruebas Estadísticas de Validación Modelo Reducción CO_2 .

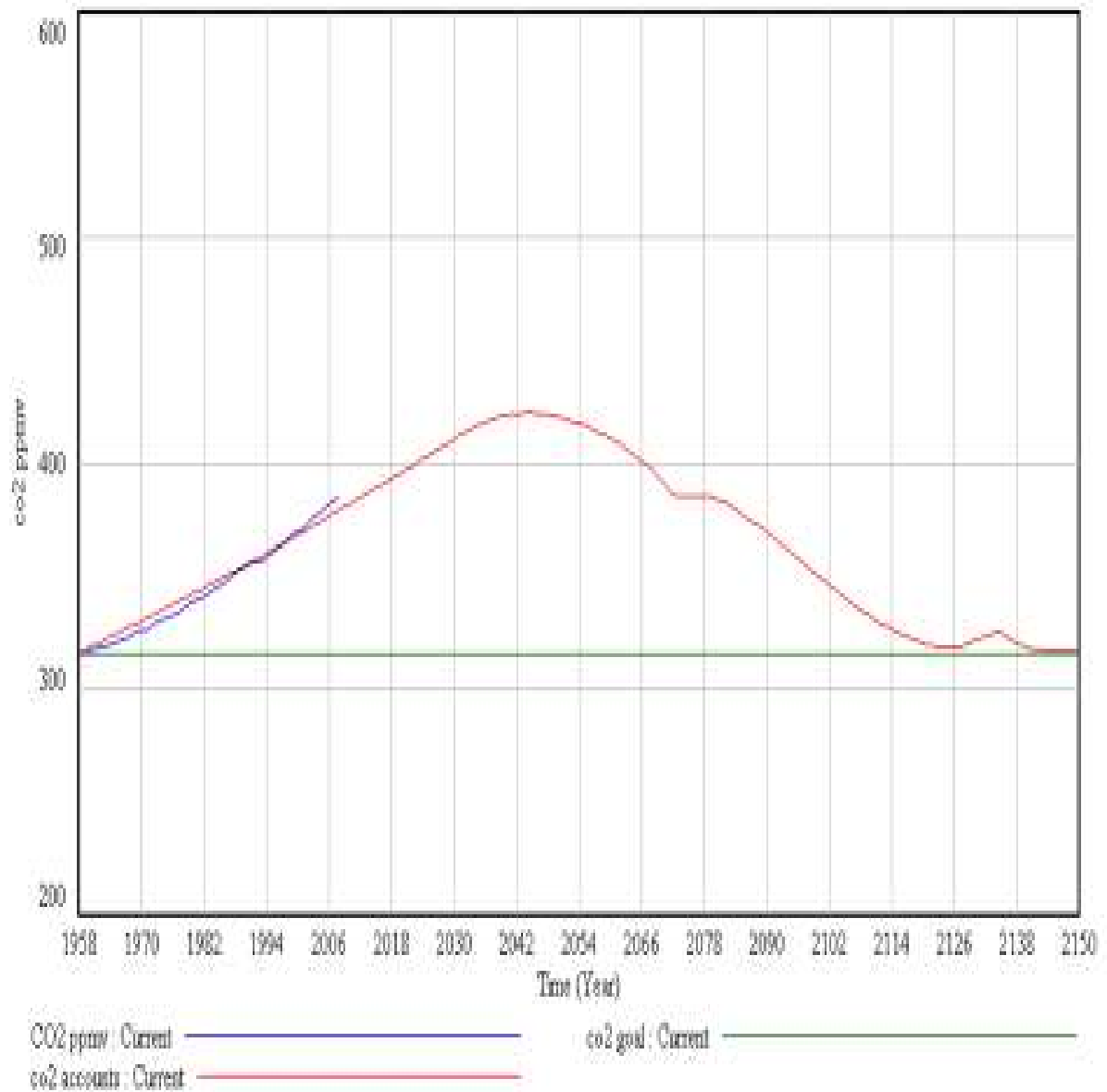


Figura 6-5: Simulación bajo un escenario de alto nivel de aprendizaje de cooperación de largo plazo

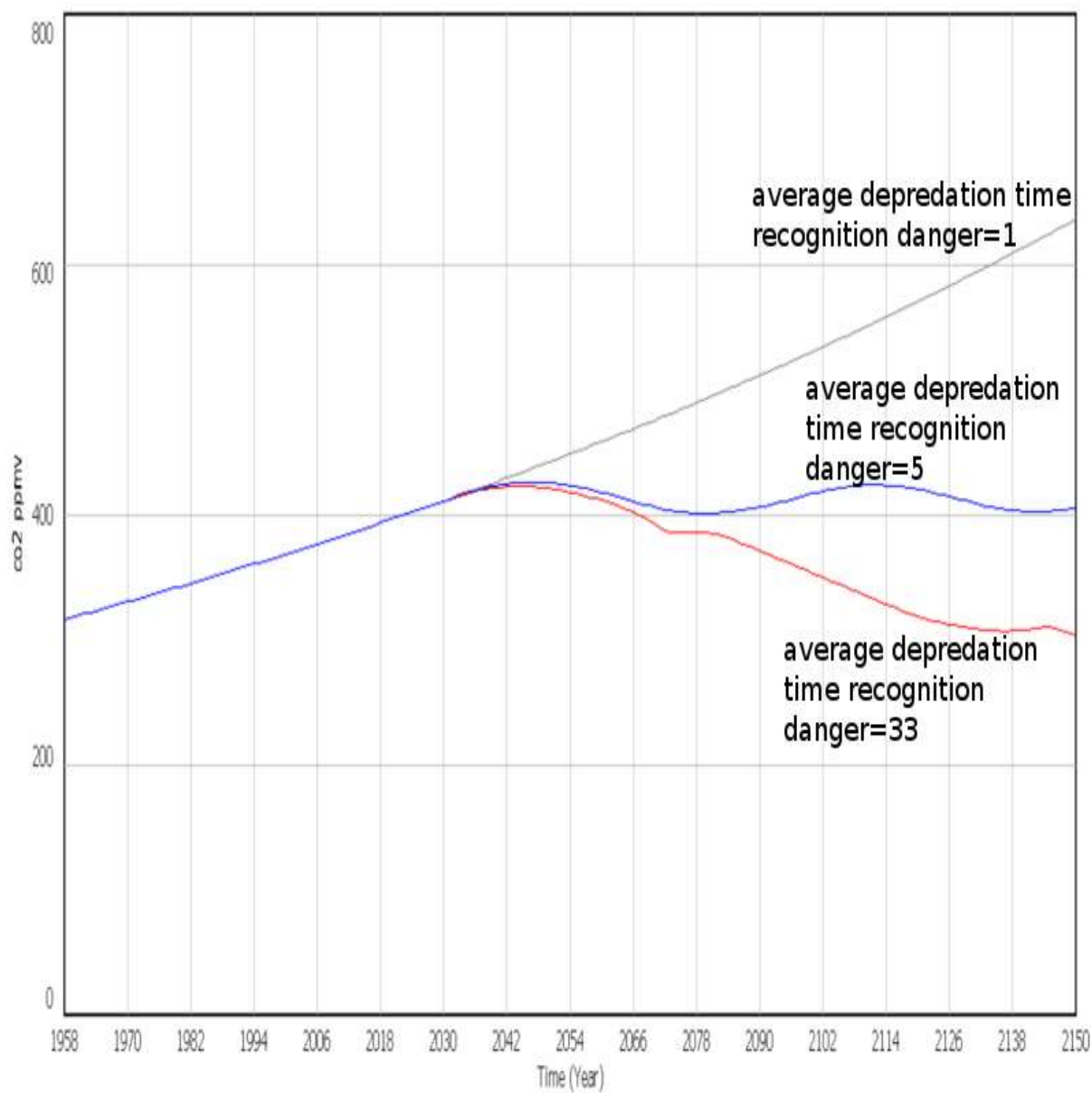


Figura 6-6: Simulaciones para diferentes valores de vida media del reconocimiento de daño en el modelo de crisis de CO_2 . Con una vida media para el reconocimiento de daño de 33 años es posible regresar a niveles de concentración de CO_2 de 1958 hacia el año 2140.

Data	CO_2 ppmv data
Model	CO_2 ppmv
Cont points	46
MSE	9.95
RMSPE	0.01
Data Mean	341.09
Simulation Mean	343.36
STD Dev Data	18.09
STD Dev Simulation	16.6
r	1
r2	0.99
U(M)	0.52
U(S)	0.22
U(C)	0.26
Theil's Check	1

Tabla 6-3: Pruebas Estadísticas para Demanda Datos versus simulación Caso Cooperación Reducción de CO_2 en la atmósfera.

La Tabla **6-3** en la página 167 presenta los resultados de las pruebas de validación estadística de Theil para el modelo de reducción de la concentración de CO_2 en la atmósfera.

6.5. Análisis de Sensibilidad

Con el propósito de evaluar la robustez de los resultados en condiciones de incertidumbre, se ofrece el siguiente análisis de sensibilidad. Se pretende cuestionar si los resultados anteriores pueden variar dentro de un rango plausible de incertidumbre (Sterman, 2000). El análisis de sensibilidad comparado evaluó el comportamiento de los diferentes tiempos de vida media y el tiempo de ajuste del retardo en la información sobre el estado de la concentración de CO_2 . Se asumió una variación 1 y 10 para todas las variables evaluadas mediante la aplicación de una distribución uniforme con 200 corridas. Las gráficas de análisis de sensibilidad obtenidas ofrecen los intervalos de confianza para las variables simuladas con su respectiva probabilidad, con lo que se definen los límites de confianza dinámica para cada una de las variables (Sterman, 2000).

6.5.1. Vida media tentación de desertar

La Tabla **6-4** de la página 169 presenta el resultado del análisis de sensibilidad para la variable vida media tentación de desertar sobre el comportamiento de las variables concentración de CO_2 , tentación de desertar, confianza, cooperación como norma y percepción de daño. En términos generales, las variables analizadas no se ven afectadas por la incertidumbre en la variación de la vida media de la tentación de desertar, salvo la tentación de desertar misma, cuya variación corresponde a los efectos que sobre ella producen los mecanismos de cooperación aplicados. A pesar de la incertidumbre, los mecanismos son efectivos para contrarrestar la tentación de desertar a pesar de la incertidumbre en la vida media de la tentación de desertar.

Concentración CO_2	Percepción de Daño
Tentación de desertar	Cooperación como Norma
Confianza	Tendencia Cambio CO_2

Tabla 6-4: Análisis de Sensibilidad Vida Media Tentación de Desertar

6.5.2. Vida media Cooperación como Norma

La Tabla **6-5** de la página 171 presenta el resultado del análisis de sensibilidad para la variable vida media Cooperación como Norma sobre el comportamiento de las variables concentración de CO_2 , tentación de desertar, confianza, cooperación como norma y percepción de daño. Las diferentes variables son insensibles a la incertidumbre en la vida media de la cooperación como norma, salvo la cooperación como norma misma. No obstante, la variabilidad de la vida media de la cooperación si afecta el desempeño de la cooperación como norma y la efectividad de la cooperación como norma en el largo plazo.

Concentración CO_2	Percepción de Daño
Tentación de desertar	Cooperación como Norma
Confianza	Tendencia Cambio CO_2

Tabla 6-5: Análisis de Sensibilidad Vida Media Aprendizaje Cooperación Norma Largo Plazo

6.5.3. Vida media percepción de daño

La Tabla 6-6 de la página 173 presenta el resultado del análisis de sensibilidad para la variable vida media percepción de daño sobre el comportamiento de las variables concentración de CO_2 , tentación de desertar, confianza, cooperación como norma y percepción de daño. Este análisis confirma el supuesto sobre la importancia de la percepción de daño como mecanismo de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. La incertidumbre en la vida media de la percepción de daño produce una variabilidad que va desde no producir efectos sobre el crecimiento exponencial de la concentración de CO_2 en la atmósfera hasta lograr el objetivo social. El reconocimiento de daño sufre la mayor variabilidad en función de la incertidumbre en la vida media de la percepción de daño. La tentación de desertar es sensible a niveles aceptables. Con la percepción de daño sucede de forma similar. La incertidumbre en la confianza de cooperación es importante puesto que la incertidumbre en vida media de la percepción de daño reduce las posibilidades de generar cooperación cuando las condiciones iniciales de la confianza no suficientes.

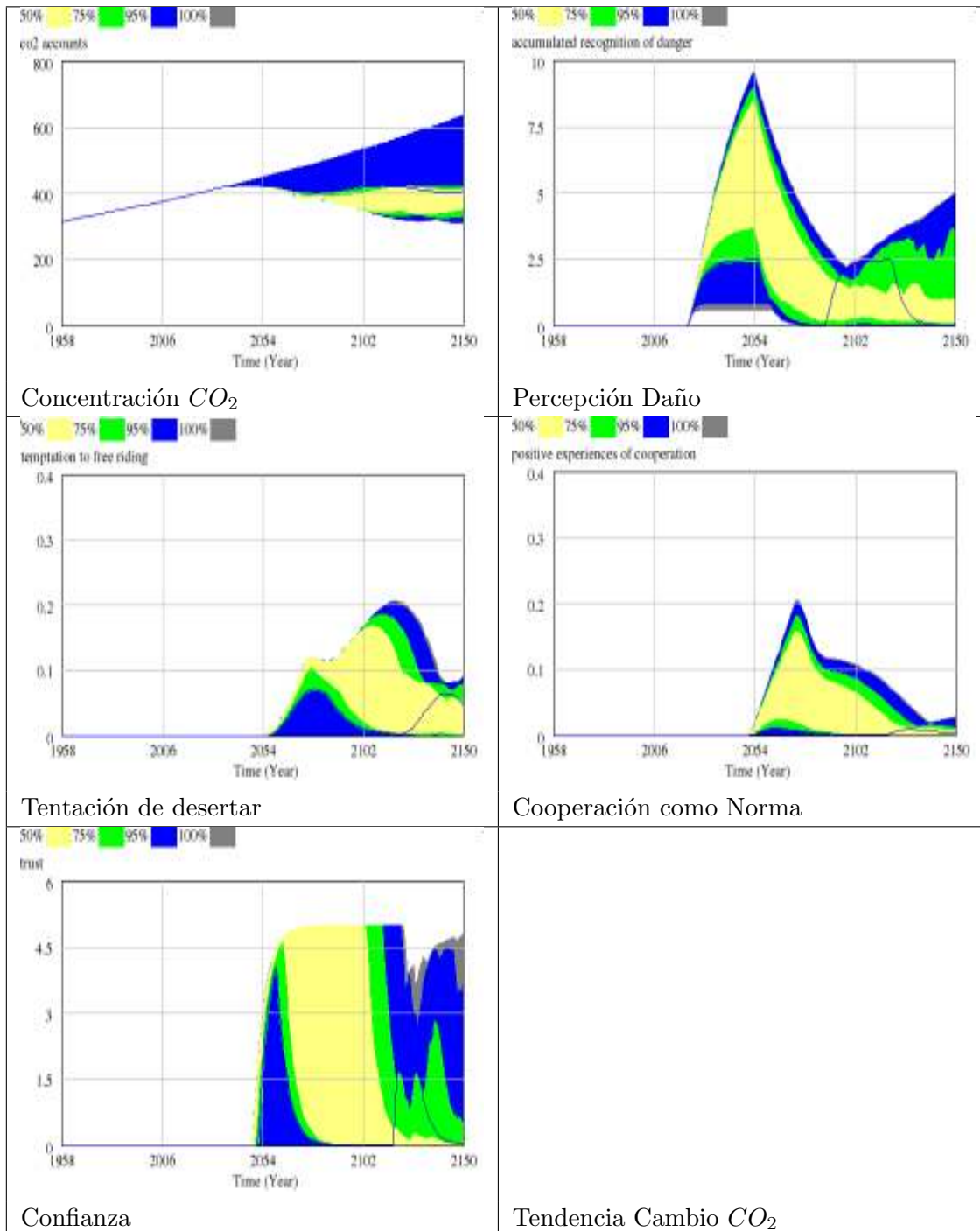


Tabla 6-6: Análisis de Sensibilidad Vida Media Percepción de Daño

6.5.4. Vida media Confianza

La Tabla **6-7** de la página 175 presenta el resultado del análisis de sensibilidad para la variable vida media confianza sobre el comportamiento de las variables concentración de CO_2 , tentación de desertar, confianza, cooperación como norma y percepción de daño. La concentración de CO_2 es relativamente insensible a la incertidumbre en la vida media de la confianza. Esto se puede explicar como consecuencia de la efectividad de los otros mecanismos de cooperación, que mantienen la cooperación a pesar de la incertidumbre agregada. La mayor incertidumbre se produce en la confianza de cooperación, debido a la dependencia a las condiciones iniciales de la confianza. No obstante, la mayor probabilidad se ubica hacia la promoción de niveles altos de confianza, como consecuencia de la acción de los otros mecanismos de cooperación. La sensibilidad de todas las variables estudiadas es consistente con el funcionamiento esperado del mecanismo o esquema de evaluación diseñado. La incertidumbre y variabilidad en el comportamiento de las variables estudiadas es consistente con la regulación esperada para los mecanismos de cooperación.

Concentración CO_2	Percepción Daño
Tentación desertar	Cooperación como Norma
Confianza	Tendencia Cambio CO_2

Tabla 6-7: Análisis de Sensibilidad Vida Media Confianza

6.5.5. Tiempo de ajuste percepción cambio tendencia CO_2

La Tabla **6-8** de la página 177 presenta el resultado del análisis de sensibilidad para la variable tiempo de ajuste percepción tendencia CO_2 sobre el comportamiento de las variables concentración de CO_2 , tentación de desertar, confianza, cooperación como norma y percepción de daño. La incertidumbre en el tiempo de ajuste en la percepción de la tendencia de la cooperación supone integrar sensibilidad a todas las variables estudiadas, aunque el comportamiento de los mecanismos de cooperación es consistente con lo esperado desde el constructo de evaluación. Los comportamientos eficientes de regulación de la cooperación poseen las mayores probabilidades en los análisis de sensibilidad y son consistentes con los supuestos del mecanismo de evaluación.

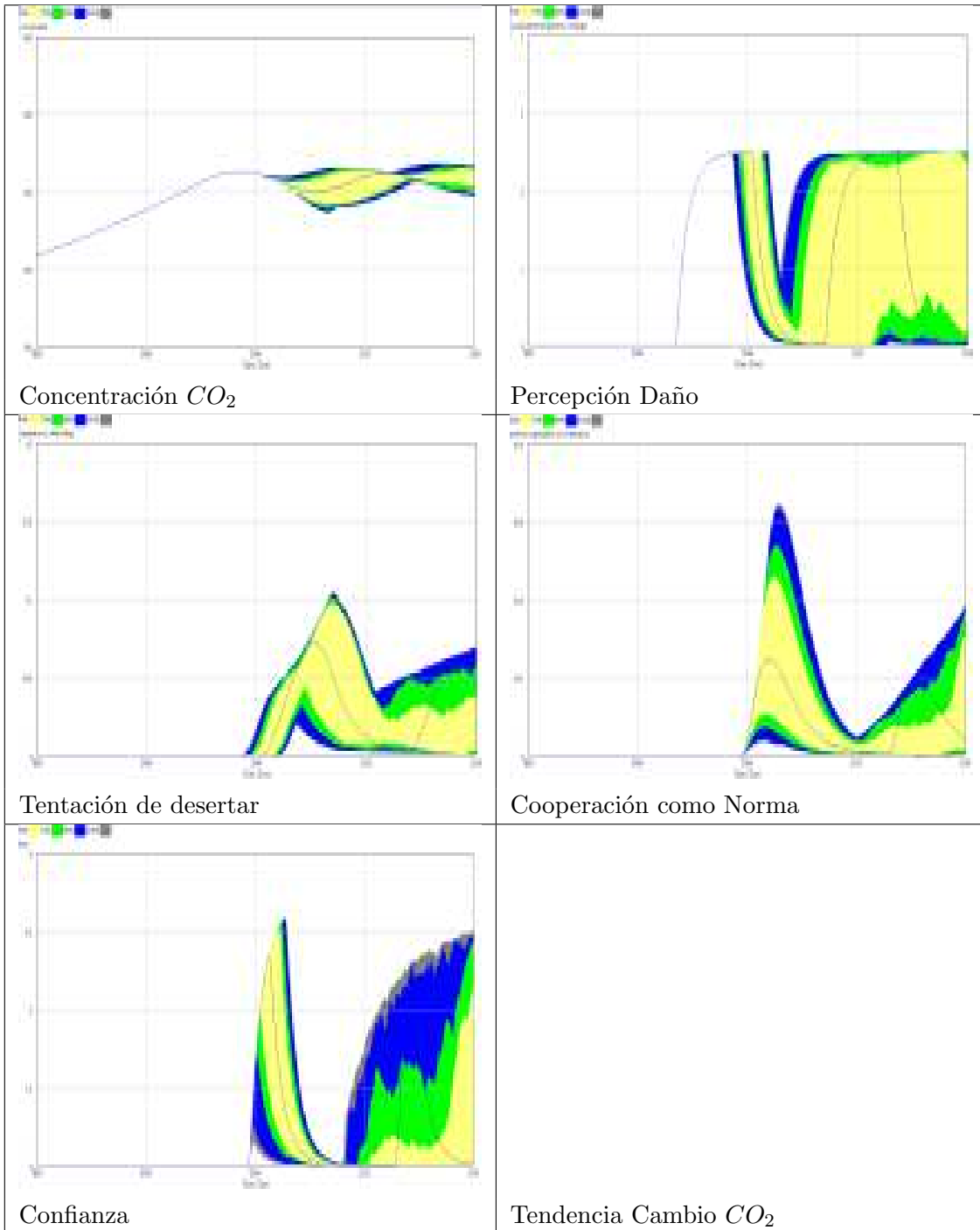


Tabla 6-8: Análisis de Sensibilidad Tiempo Ajuste Percepción Tendencia CO_2

6.6. Análisis de Sensibilidad Adicionales

Se realizaron 3 ejercicios de sensibilidad adicionales. El primero para el tiempo promedio de reconocimiento de la tendencia en la concentración de CO_2 , el segundo para el tiempo de ajuste del retardo para percibir la tendencia en la concentración de CO_2 y el tercero en donde se varió las dos variables anteriores de forma simultánea. En el primer ejercicio se estudió el tiempo promedio de reconocimiento de la tendencia en la concentración de CO_2 en la atmósfera. Se varió uniformemente la variable entre 1 y 20 años y se realizaron 200 simulaciones tipo Monte Carlo. Su valor de referencia era 10 años. Los resultados se sintetizan en la Figura **6-7** de la página 179.

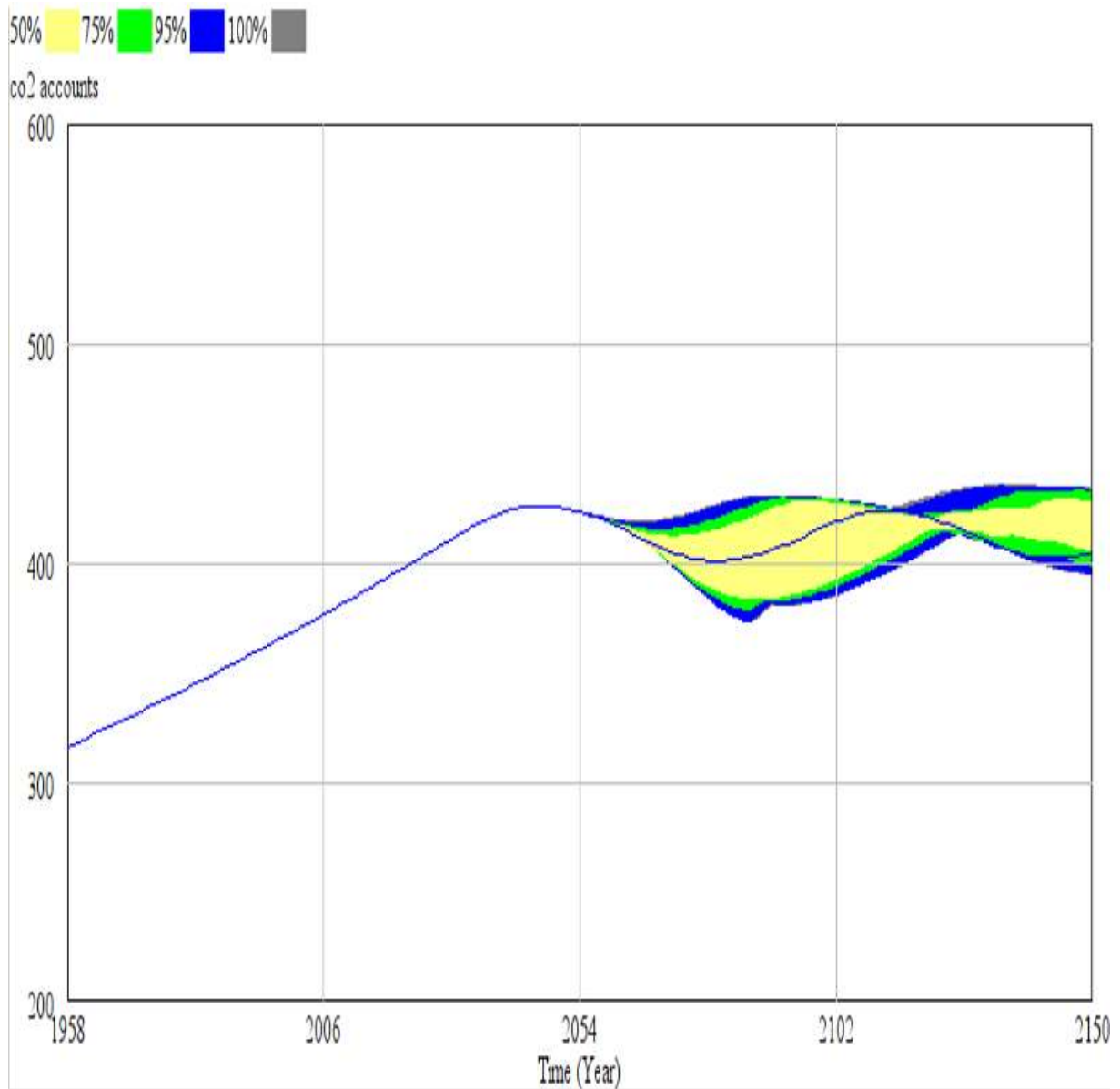


Figura 6-7: Análisis de Sensibilidad del tiempo promedio de reconocimiento de la tendencia en la concentración de CO_2 en la atmósfera para la concentración de CO_2

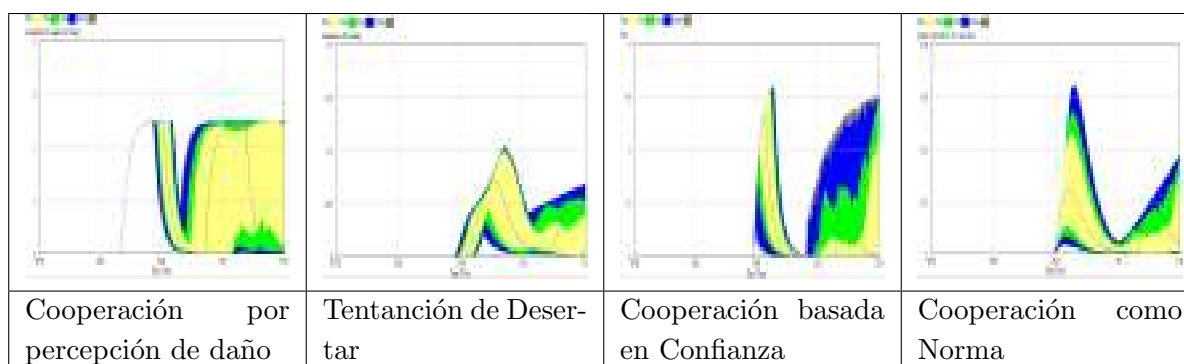


Tabla 6-9: Análisis de Sensibilidad del tiempo promedio de reconocimiento de la tendencia en la concentración de CO_2 para los mecanismos y la tentación de desertar.

La Figura 6-7 de la página 179 presenta los resultados de una simulación Monte Carlo sobre el modelo de Caso de la crisis de CO_2 y su posible intervención mediante los mecanismos de cooperación, en donde se ilustran los límites de confianza dinámica del modelo para el tiempo medio de reconocimiento de la tendencia de cooperación. La Figura muestra los intervalos de confianza para el 50 %, el 75 % y el 95 % en una muestra de 200 simulaciones. Dados los supuestos, existe un 50 % de oportunidad de que la concentración de CO_2 en la atmósfera se encuentre entre 380 y 420 ppmv para el año 2080. La incertidumbre se debe al efecto que sobre la efectividad de los mecanismos de cooperación tiene el tiempo promedio del retardo para reconocer la tendencia de cooperación. La Tabla 6-9 de la página 180 siguiente demuestra los efectos que tiene la incertidumbre sobre este tiempo promedio de reconocimiento en los distintos mecanismos.

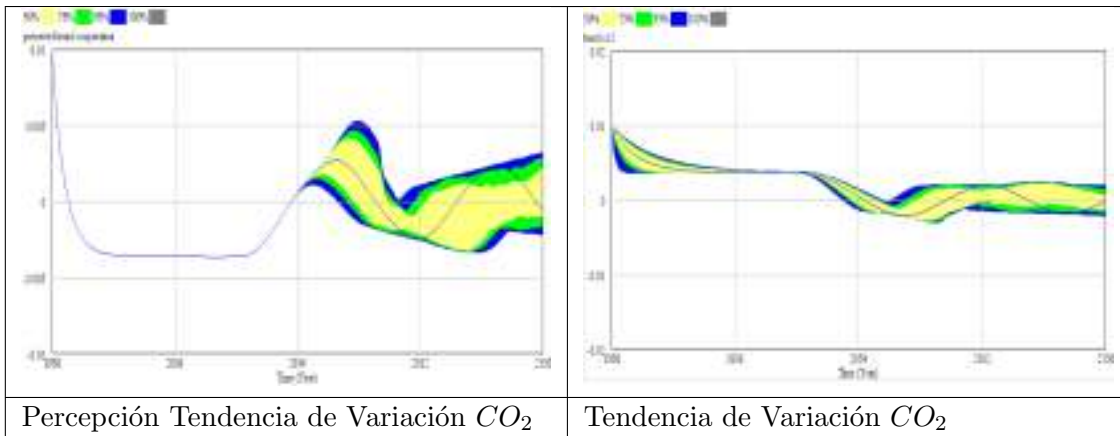


Tabla 6-10: Análisis de Sensibilidad del tiempo promedio de reconocimiento de la tendencia en la concentración de CO_2 para la Tendencia y la percepción de la variación CO_2

La Tabla 6-10 de la página 181 ilustra el efecto que la variabilidad de la variable estudiada supone en la tendencia de CO_2 y en su percepción. Los efectos de variabilidad se multiplican en la percepción.

El segundo ejercicio de análisis evaluó la sensibilidad del modelo a modificaciones uniformemente distribuidas para el retardo en percibir la tendencia de cooperación entre 1 y 20 años con un valor de referencia de 5 años para 200 simulaciones tipo Monte Carlo. Los resultados se sintetizan en la Figura **6-8** de la página 183.

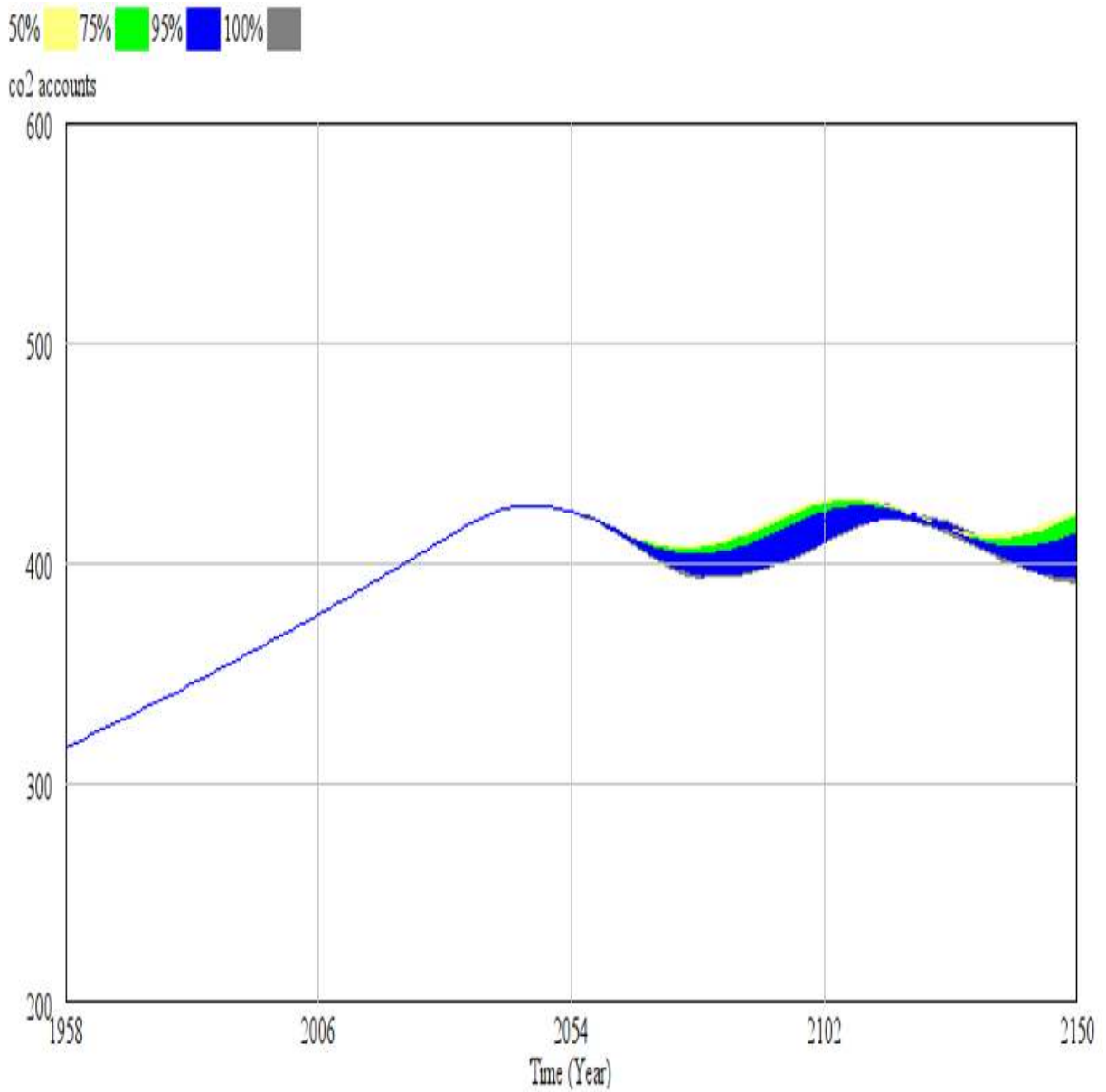


Figura 6-8: Análisis de Sensibilidad del retardo para percibir la tendencia de cooperación para la Concentración de CO_2

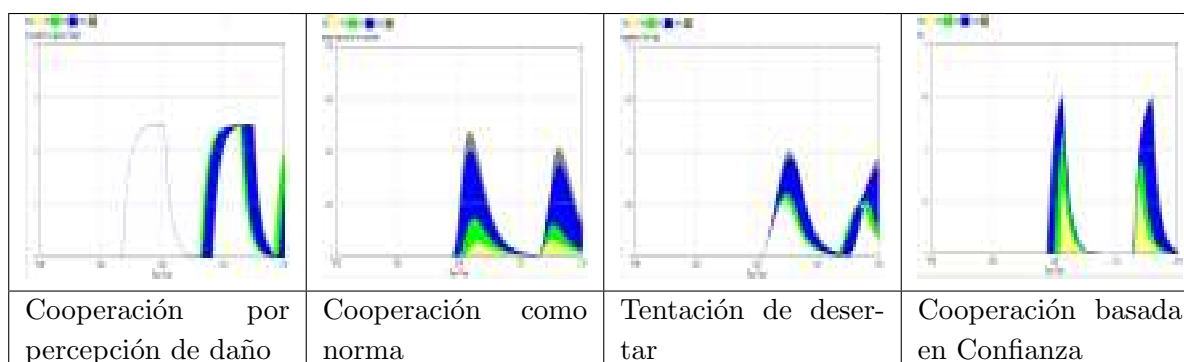


Tabla 6-11: Análisis de Sensibilidad del retardo para percibir la tendencia de cooperación para los mecanismos de cooperación y la tentación de desertar.

La Figura 6-8 de la página 183 ilustra como el efecto de variabilidad es menor para el tiempo promedio de retardo de la tendencia de cooperación aunque el nivel de reducción de la concentración posible es menor que el alcanzado por mecanismos en el caso anterior, al obtener un intervalo de confianza dinámica del 95 % para una reducción de la concentración de CO_2 entre 395 y 405 ppmv hacia el año 2075.

En la Tabla 6-11 de la página 184 se observa cómo la reducción en la amplitud de los intervalos de confianza y su incremento en probabilidad ocurre en cada uno de los mecanismos de cooperación, así como en la tentación de desertar.

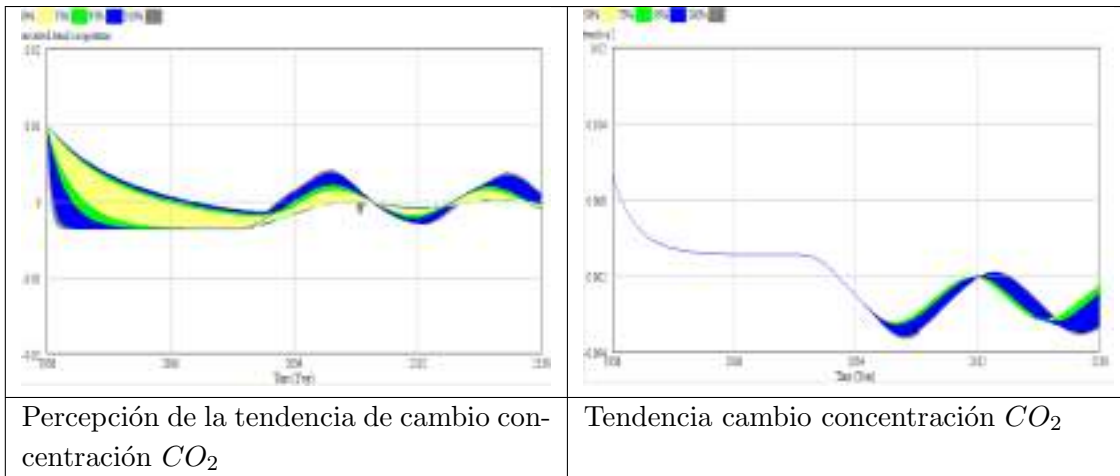


Tabla 6-12: Análisis de Sensibilidad del retardo para percibir la tendencia de cooperación para la tendencia y percepción de cambio de concentración CO_2 .

Los intervalos de confianza dinámica se reducen tanto para la tendencia de variación del CO_2 como para la percepción de dicha tendencia, como se ilustra en la Tabla 6-12 de la página 185.

El tercer ejercicio evaluó la sensibilidad combinada de las variables tendencia en la concentración de CO_2 y al retardo para percibir la tendencia de cooperación. La variable tiempo promedio de reconocimiento de la tendencia de CO_2 se varió uniformemente entre 1 y 20 años. La variable tiempo de ajuste retardo para percibir la tendencia de cooperación se varió de manera uniforme entre 1 y 5 años. Los resultados se sintetizan en la Figura **6-9** de la página 187.

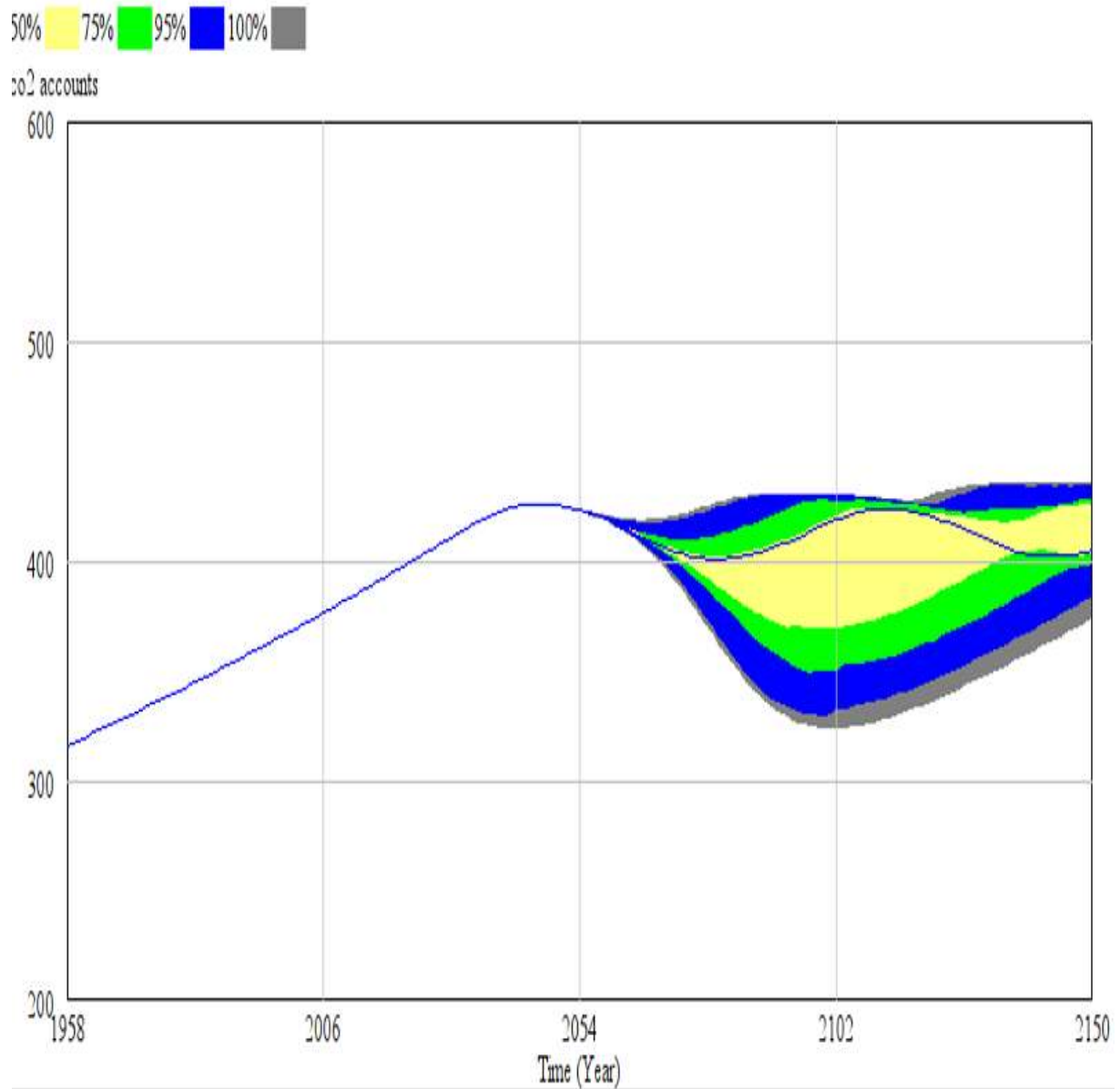


Figura 6-9: Análisis de sensibilidad combinada de las variables tendencia en la concentración de CO_2 y retardo para percibir la tendencia de cooperación para la concentración de CO_2 .

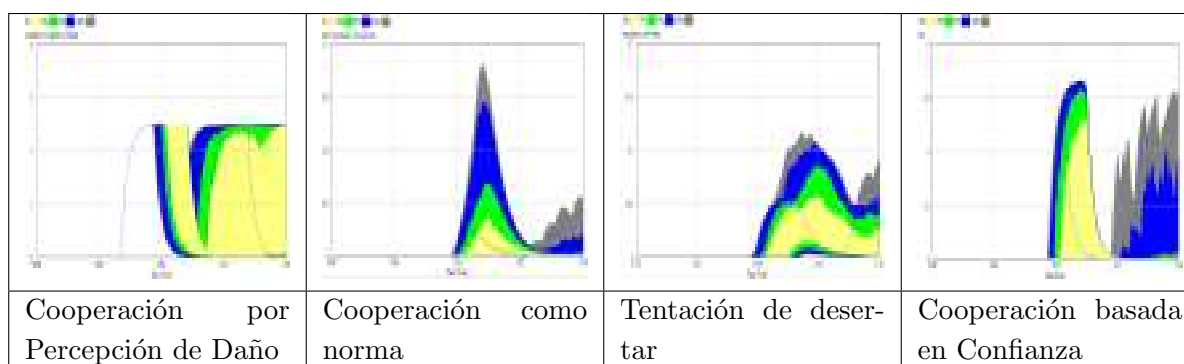


Tabla 6-13: Análisis de sensibilidad combinada de las variables tendencia en la concentración de CO_2 y retardo para percibir la tendencia de cooperación para los mecanismos de cooperación y la tentación de desertar.

El efecto combinado de las variables seleccionadas aumenta la amplitud de los intervalos de confianza dinámica. Para el año 2102, la simulación supone que la concentración de CO_2 en la atmósfera tiene un 95 % de situarse entre 330 y 420 ppmv. El aumento del efecto de la incertidumbre en las variables estudiadas es más que proporcional. Esto se ilustra en la Tabla 6-13 de la página 188.

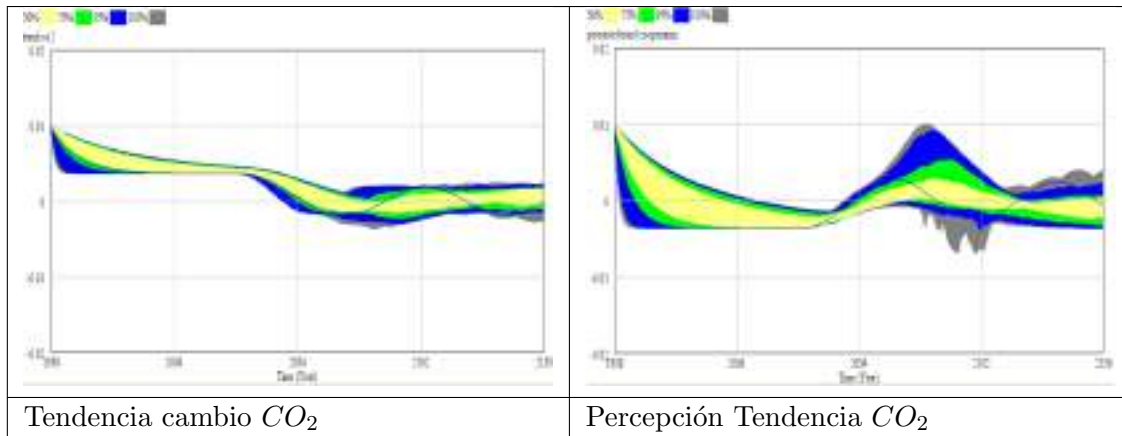


Tabla 6-14: Análisis de sensibilidad combinada de las variables tendencia en la concentración de CO_2 y retardo para percibir la tendencia de cooperación para la percepción y la tendencia de cambio de la Concentración de CO_2 .

La tendencia de variación del CO_2 y la percepción de dicha tendencia incrementan sus intervalos de confianza dinámica pero no lo hacen de manera proporcional. Esto se debe al efecto de control de los mecanismos de cooperación que reaccionan sobre la variabilidad insertada por los tiempos de ajuste de las variables analizadas. La Tabla 6-14 de la página 189 ilustra los efectos sobre tendencia combinada de las variables tendencia en la concentración de CO_2 y retardo para percibir la tendencia de cooperación para la percepción y la tendencia de cambio de la Concentración de CO_2 .

6.7. Evaluación de la efectividad de mecanismos en la crisis CO_2

La Tabla **6-15** de la página 191 presenta la evaluación de efectividad de los mecanismos de cooperación para la crisis de CO_2 mediante el constructo de evaluación diseñado.

Criterios	Evaluación
Recurso	
¿Se alcanza un nivel de uso sostenible del recurso?	Superar la crisis depende de que parámetros como la vida media de cooperación como norma y la vida media de la percepción de daño tengan la magnitud suficiente para sostener la cooperación a pesar de los grandes retardos y la inercia del sistema.
Cooperación	
¿Es sostenible?	La sostenibilidad depende de los valores que tomen parámetros como la vida media de las variables fundamentales de los mecanismos evaluados. Es posible una cooperación sostenible en el largo plazo, pero requiere un diseño cuidadoso que permita mantener el mayor tiempo posible el funcionamiento de los mecanismos de cooperación.
¿Tiende hacia un Pareto Superior?	Es posible, pero sólo con valores con magnitudes de vida media de los mecanismos lo suficientemente grandes para sostener la cooperación a pesar de los retardos y la complejidad dinámica.
Aprendizaje	
¿Se fomenta el aprendizaje de cooperación como norma?	Si se fomenta.
Tentación Desertar	
¿Controla la Tentación de Desertar?	La efectividad de los diferentes mecanismos de cooperación para controlar la tentación de desertar depende de que la vida media de los mecanismos tenga la suficiente magnitud.
Percepción de Daño	
¿La percepción de daño produce cooperación?	La percepción de daño produce cooperación que permite superar las deficiencias iniciales de la confianza, pero su eficiencia depende de la vida media de la percepción de daño.
Confianza	
¿Se fomenta cooperación a pesar de las condiciones iniciales de la confianza de cooperación?	A pesar de haber simulado condiciones iniciales cero para la confianza de cooperación, los mecanismos permiten generar cooperación basada en confianza.
Complejidad dinámica	
¿Los mecanismos permiten enfrentar la complejidad dinámica?	Las vidas medias de la cooperación por confianza, la percepción de daño y la cooperación como norma pueden superar la complejidad dinámica y la inercia del sistema siempre y cuando tengan la magnitud suficiente.

Tabla 6-15: Evaluación Criterios de efectividad mecanismos aplicados a la crisis de emisiones CO_2 .

6.8. Discusión

Se ha presentado un constructo para evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala aplicado en la evaluación de la concentración de CO_2 en la atmósfera. El caso evaluado resultó apto para ser considerado como una situación de dilema social de recurso agotable de gran escala en el que tendría aplicabilidad los mecanismos de cooperación. Luego de presentado al detalle el caso, se describió el modelo desarrollado con base en el constructo de evaluación, se presentaron ejercicios de simulación, análisis de sensibilidad, con el objeto de evaluar la capacidad del constructo diseñado de dar cuenta de la cooperación en el caso. Las simulaciones y análisis de sensibilidad se han utilizado como pruebas de falsación de la hipótesis dinámica. Los resultados obtenidos luego de realizar estas actividades son los siguientes:

1. **El constructo de evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación diseñado integra mecanismos de cooperación considerados en la literatura.**

A pesar de las diferencias específicas esperadas al utilizar el constructo en la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación aplicables a la crisis de la concentración de CO_2 , se encuentra que el constructo diseñado permite la evaluación de la efectividad de mecanismos utilizados para promover la cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.

2. **El constructo de evaluación diseñado da cuenta de la cooperación en situaciones hipotéticas en la crisis de la concentración de CO_2 .**

El evaluación de las simulaciones realizadas, el análisis de sensibilidad y las pruebas estadísticas aplicadas para el caso permiten sugerir que el constructo diseñado da cuenta de la variación de la cooperación durante tales crisis. En el caso de la crisis por el aumento de la concentración de CO_2 en la atmósfera, el tratamiento del caso permite hacer proyecciones en el tiempo de las consecuencias dinámicas que tendría la aplicación de los mecanismos de cooperación en una situación caracterizada por su inercia y complejidad dinámica. La aplicación de las pruebas a este caso permite hacer evaluaciones en condiciones extremas de complejidad dinámica y evaluar así sus efectos sobre la efectividad alcanzada por los mecanismos de cooperación. Los ejercicios realizados permiten vislumbrar las limitaciones que tienen los mecanismos de cooperación en este tipo de situaciones.

3. **La realimentación es la microestructura de la cooperación, por lo que la cooperación es sensible al deterioro o mejoramiento de las condiciones de complejidad dinámica.** Este caso permitió conocer los límites que tienen los mecanismos de cooperación. Si todos los mecanismos de cooperación se basan en la realimentación y si la complejidad dinámica condiciona el desempeño de los individuos en la toma de

Item	Modelo Crisis de Electricidad Colombia 1992 1993	Modelo Crisis de Electricidad de California 2001	Modelo de Institución para la Cooperación en la Reducción de CO_2
<i>Número de Retardos</i>	8	4	6
<i>Retardo de Mayor Magnitud</i>	5,3 meses	5 meses	20 años (7300 meses)
<i>Número de estructuras de representación de percepción</i>	1	2	2
<i>Número de Relaciones No Lineales</i>	14	8	9

Tabla 6-16: Resumen de elementos de complejidad dinámica incluidos en los modelos de caso diseñados

decisiones dinámicas, la efectividad de los mecanismos se podría ver reducida si la complejidad dinámica se incrementa. La inercia de la dinámica del Carbono y los retardos en la percepción del estado de la concentración de CO_2 en la atmósfera llevan al límite los mecanismos de cooperación. Las pruebas han permitido vislumbrar condiciones en las que los mecanismos son o no son efectivos en la promoción de la cooperación.

4. Las pruebas aplicadas no lograron refutar la hipótesis.

Las pruebas de simulación, de análisis de sensibilidad y de simulación comparada entre los casos, permitió evaluar la plausibilidad de la hipótesis dinámica. Luego de las pruebas aplicadas, la hipótesis se mantiene vigente. Se sugiere que las pruebas realizadas van más allá de lo requerido en los objetivos propuestos. Los resultados de las pruebas estadísticas son sintetizados en las Tablas **6-16** de la página 193 y **6-17** de la página 194.

Item	Crisis Colom- bia 1992	Crisis Califor- nia 2001	Crisis Emi- siones CO_2
<i>Nombre variable de datos</i>	maximum de- mand	net peak demand	CO2 ppmv data
<i>Nombre variable modelo</i>	demand	demand	CO2 ppmv
<i>Número de puntos</i>	45	6	46
<i>MSE</i>	4675.38	0.48	9.95
<i>RMSPE</i>	0,01	0,01	0,01
<i>Data Mean</i>	6080.62	53.53	341,09
<i>Simulation Mean</i>	6080.4	53.8	343,36
<i>STD Dev Data</i>	345.62	1,6	18,09
<i>STD Dev Simula- tion</i>	338.01	1,62	16,6
<i>r</i>	0.98	0.92	1
<i>r²</i>	0.96	0.85	0,99
<i>U(M)</i>	0	0,15	0,52
<i>U(S)</i>	0,01	0	0,22
<i>U(C)</i>	0,99	0,85	0,26
Theil's Check	1	1	1

Tabla 6-17: Resultados consolidados pruebas Theil para los modelos de Colombia 1992, California 2001 y Crisis CO_2

5. Los mecanismos de cooperación evaluados pueden enfrentar condiciones iniciales no propicias para la cooperación

En este caso se supuso confianza inicial de cooperación cero. No obstante esta condición desfavorable para la aparición de la cooperación, los mecanismos son efectivos logrando la cooperación siempre y cuando sus vidas medias tengan la magnitud suficiente para superar la tentación de desertar por la incertidumbre por los retardos y la inercia que caracterizan la situación.

6. Los mecanismos evaluados son efectivos bajo condiciones específicas que les permitan responder a la alta complejidad dinámica de la situación El sistema ofrece una alta inercia y complejidad dinámica, por lo que los mecanismos fueron efectivos cuando se configuraron para enfrentar las condiciones adversas de complejidad dinámica. En general, los mecanismos fueron más efectivos en la promoción y sostenimiento de la cooperación cuando fueron sus tiempos de residencia o vida media fueron superiores a los valores de referencia.

7. El constructo de evaluación diseñado permite evaluar la efectividad de los mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.

Este caso permitió evaluar la efectividad de los mecanismos de cooperación en situaciones aún en desarrollo, mediante su simulación, lo que permitió conocer las implicaciones dinámicas resultado de la aplicación de los mecanismos. De esta forma es posible mejorar los diseños de tales mecanismos. Este ejercicio permite sugerir en acciones que permitirían mejorar la vida media de dichos mecanismos, como estrategia para mejorar su efectividad en condiciones de altas inercia y complejidad dinámica.

8. Se ha ilustrado una posibilidad novedosa de utilización de la Dinámica de Sistemas en la evaluación de mecanismos de cooperación.

La evaluación de mecanismos de cooperación no sólo se puede aplicar a casos históricos de cooperación, sino que puede aplicarse para identificar elementos de diseño que puedan mejorar la efectividad de tales mecanismos en condiciones extremas.

Se ha presentado un caso de evaluación del constructo diseñado en condiciones particularmente extremas de complejidad dinámica. Las pruebas aplicadas han permitido entender los límites de los mecanismos en situaciones caracterizadas por retardos de gran magnitud. Este aprendizaje tiene aplicabilidad en la configuración de mecanismos efectivos de cooperación en este tipo de situaciones.

7 Casos Teórico-hipotéticos: Mini-Prototipos de Extensión y Relajación del Constructo

Luego de presentar los dos casos históricos sobre crisis de electricidad y un caso en progreso acerca de la crisis por sobre-concentración de CO_2 en la atmósfera, se presentan en este capítulo dos casos teórico-hipotéticos como mini-prototipos. Los nuevos casos tienen como propósito evaluar en condiciones modificadas el constructo, en las que se evalúa mediante la relajación del constructo las conclusiones hasta ahora obtenidas. Las modificaciones efectuadas permiten probar la consistencia del constructo, de la evaluación de efectividad con él realizada y las conclusiones derivadas hasta el momento. Se presentan 3 casos. Uno en cooperación en la generación cooperativa de electricidad por parte de usuarios auto-generadores, otro que revisa la congestión en una red de computadores como un dilema social de gran escala y finalmente uno que revisa la aplicabilidad del mecanismo de cooperación basado en confianza en la crisis del Ozono.

7.1. Evaluación Complementaria del Constructo mediante Relajación

Se han presentado 3 casos en los que se ha evaluado la efectividad de los mecanismos estudiados para enfrentar los dilemas sociales abordados. Los mecanismos fueron evaluados mediante el constructo de evaluación diseñado suponiendo su actuación combinada y su actuación aislada.

Si bien el mecanismo de cooperación basado en confianza fue probado en simulaciones asumiendo condiciones de confianza inicial cero, y si bien los mecanismos complementarios fueron capaces promover la cooperación inicial necesaria para generar la suficiente confianza de cooperación que permitiera el funcionamiento del mecanismo de cooperación basado en confianza a pesar de las condiciones iniciales desfavorables de la confianza, se procedió a realizar una prueba de relajación del constructo y de los mecanismos utilizados para evaluar si las conclusiones derivadas de los casos anteriores pueden encontrar sustento en los nuevos casos. Como ilustra la Literatura, el mecanismo de cooperación basado en confianza puede ser efectivo para promover la cooperación en condiciones muy específicas. Se ha ilustrado cómo

una versión dinámica de dicho mecanismo puede ser aplicada a dilemas sociales de recurso de gran escala a pesar que las condiciones son diferentes.

La importancia del mecanismo de cooperación basado en confianza se deriva del rol que juega con los demás mecanismos estudiados. Esta importancia es la que justifica realizar pruebas de relajación de los otros mecanismos para comprender mejor su funcionamiento y su dependencia a los demás mecanismos. El mecanismo de cooperación como norma se asumió como un proceso que permite el aprendizaje de la cooperación luego de un periodo en que se realiza cooperación de corto plazo. La cooperación de corto plazo sólo puede llevarse a cabo mediante dos de los mecanismos disponibles: el mecanismo de cooperación por confianza y la cooperación por percepción de daño. La cooperación por percepción de daño es contingente a la capacidad de los grupos para relacionar el deterioro de un recurso común con un deterioro en su bienestar. Este tipo de relaciones puede sólo darse en situaciones extremas de calamidad y peligro. No obstante la capacidad de generar la suficiente cooperación inicial del mecanismo de cooperación por percepción de daño, su funcionamiento es contingente al reconocimiento de la gravedad de la situación por parte del grupo. Es decir, su acción es contingente y de corto plazo.

Por lo anterior, si bien todas las situaciones que se modelan a continuación podrían ser referidas a todos los mecanismos estudiados, estas actividades de evaluación adicional se justifican para comprender mejor las condiciones y limitaciones en las que el mecanismo de cooperación basado en confianza puede ser aplicado en otras situaciones como las presentadas en este capítulo.

7.2. Un Caso en Provisión Cooperativa de Electricidad

Esta sección presenta el modelo diseñado para estudiar la cooperación en la generación de electricidad como un dilema social de gran escala. Se presenta el constructo como hipótesis dinámica, la estructura general del modelo, su alcance, fronteras y límites, una descripción de sus componentes, las simulaciones realizadas y las pruebas aplicadas.

Casi toda la energía generada por países como Colombia provienen de fuentes centralizadas conformadas por centrales hidroeléctricas y térmicas a Carbón o Gas (UPME, 2010). Este tipo de sistema es robusto, pero ineficiente en cuando a la energía desechada en forma de calor disipado en la transmisión (Green et al., 2004). De igual forma, la reducción de emisiones de CO_2 en la generación de electricidad supone un nuevo condicionante del diseño de este tipo de sistemas (Davis, 2007). El desarrollo de micro-redes de usuarios ofrece una oportunidad para integrar nuevas tecnologías de generación de electricidad en las que los mecanismos de cooperación podrían garantizar la provisión de este tipo de nuevos comunes y nuevas posibilidades de beneficio para las comunidades (Ackermann et al., 2001; Alanne & Saari, 2006). Las nuevas tecnologías de generación de electricidad abren nuevas posibilidades para el desarrollo de las comunidades (Alanne & Saari, 2006). Tecnologías tales como las turbinas mini-eólicas, los paneles solares foto-voltaicos y las pilas de hidrógeno ofrecen una

nueva oportunidad para la evaluación de mecanismos de cooperación en dilemas sociales. Suponga que los individuos tienen la posibilidad de elegir si cooperan o no cooperan en la provisión cooperativa de electricidad. Los individuos pueden decidir, hasta cierto punto, la capacidad de generación que pueden instalar y su nivel de consumo de dicha capacidad. De esta forma es posible que aparezcan excedentes de producción que pudieran ser subidos de nuevo a la red a través de redes eléctricas inteligentes. Esta situación configura un dilema social en la provisión de un recurso común agotable. Si los individuos no deciden cooperar en la generación de electricidad, el recurso sufrirá sub-provisión y todos perderán, pues no disfrutarán de la re-inversión que dicho recurso podría significar para el bienestar de la comunidad.

La Tabla **7-1** de la página 199 presenta la revisión de condiciones de caso para la cooperación en la generación cooperativa de electricidad. El esquema de evaluación se ha relajado en este caso, retirando los mecanismos de percepción de daño y cooperación como norma de largo plazo. Se ha mantenido la cooperación basada en confianza, lo que permitirá revisar las propiedades estructurales de comportamiento de esta estructura. El dilema social evaluado no se presenta en la apropiación sino en la provisión de un recurso común agotable, de esta forma se extiende el esquema de evaluación diseñado.

Dilema Social	Elementos	Evaluación
	Acción de racionalidad individual	Utilizar la electricidad generada para su uso individual exclusivamente y no proveer el recurso común.
	Objetivo Bienestar Colectivo	Maximizar la cantidad de electricidad proveída.
Bien Económico		
	Recurso Común Agotable	En la medida que se entrega electricidad para el uso colectivo, esta debe ser proveída por los miembros del grupo.
	Uso por encima del nivel sostenible	No se asume el problema del uso en este caso, sino el problema de provisión.
	Alta Sustractibilidad	Es altamente sustraible, si no se contribuye, dicha energía no estará disponible
	Dificultad de Exclusión	No es fácil excluir de los beneficios a posibles free riders.
Grupo		
	Más de 10 individuos	La situación se supone en grupos grandes.
	Características Heterogéneas	Se suponen características heterogéneas para los individuos.
	No hay comunicación cara a cara	Puede darse, pero no se asume como mecanismo principal para coordinar la acción colectiva en esta situación.
	Existe realimentación	Se supone que es posible conocer el estado del recurso y las acciones de los miembros del grupo sobre el recurso.
	Retardos considerables	No se conoce de manera instantánea el estado del recurso o el aporte del grupo.
	Dificultades de Percepción	Se suponen dificultades para reconocer cambios en la tendencia de información.
	Encuentros Indefinidos	El número de encuentros se asume indefinido, el sentido que no se asume un número pre-establecido de encuentros.
Intervención		
	Percepción de Daño	No se asumió.
	Posibilidad restricción apropiación	No se asumió.
Aprendizaje	Cooperación de largo plazo	No se asumió.

Tabla 7-1: Revisión condiciones de caso para la generación cooperativa de electricidad.

7.2.1. Constructo para la cooperación en la generación de electricidad

El constructo de evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala ha sido extendido y relajado. Extendido para cubrir un caso de *provisión* de un recurso común¹ y relajado al retirarse los mecanismos de percepción de daño y de cooperación como norma. La Figura 7-1 de la página 201 presenta la versión aplicada del constructo de evaluación. Con esta prueba es posible revisar si la estructura nuevamente supone la dependencia a las condiciones iniciales de la confianza. El constructo incluye las siguientes estructuras:

- **Ciclo de Balance: Free Riding.** La contribución de electricidad es la variable de aproximación a la cooperación de grupo. Si aumenta la contribución percibida, se incrementa la tentación de desertar, lo que reduce a su vez la energía contribuida.
- **Mecanismo de cooperación basado en confianza.** Ciclo de Refuerzo: Confianza de Cooperación. Si la percepción de contribución de cooperación se incrementa, se incrementará a su vez la confianza de cooperación, con lo que los individuos decidirán cooperar, lo que a su vez incrementará la electricidad contribuida. En sentido inverso, una disminución en la percepción de la electricidad contribuida implicará una reducción en la confianza de cooperación, con lo que se reducirá a su vez la cooperación, con una reducción de la energía contribuida.

7.2.2. Estructura general del modelo

La Figura 7-2 de la página 202 presenta el diagrama de niveles y flujos para el modelo diseñado. En la Figura se pueden distinguir las estructuras que representan dos ciclos que presentan el dilema social: la tentación de desertar y el mecanismo de cooperación basado en confianza.

¹En todos los anteriores casos presentados, se abordaron dilemas sociales en la apropiación del recurso.

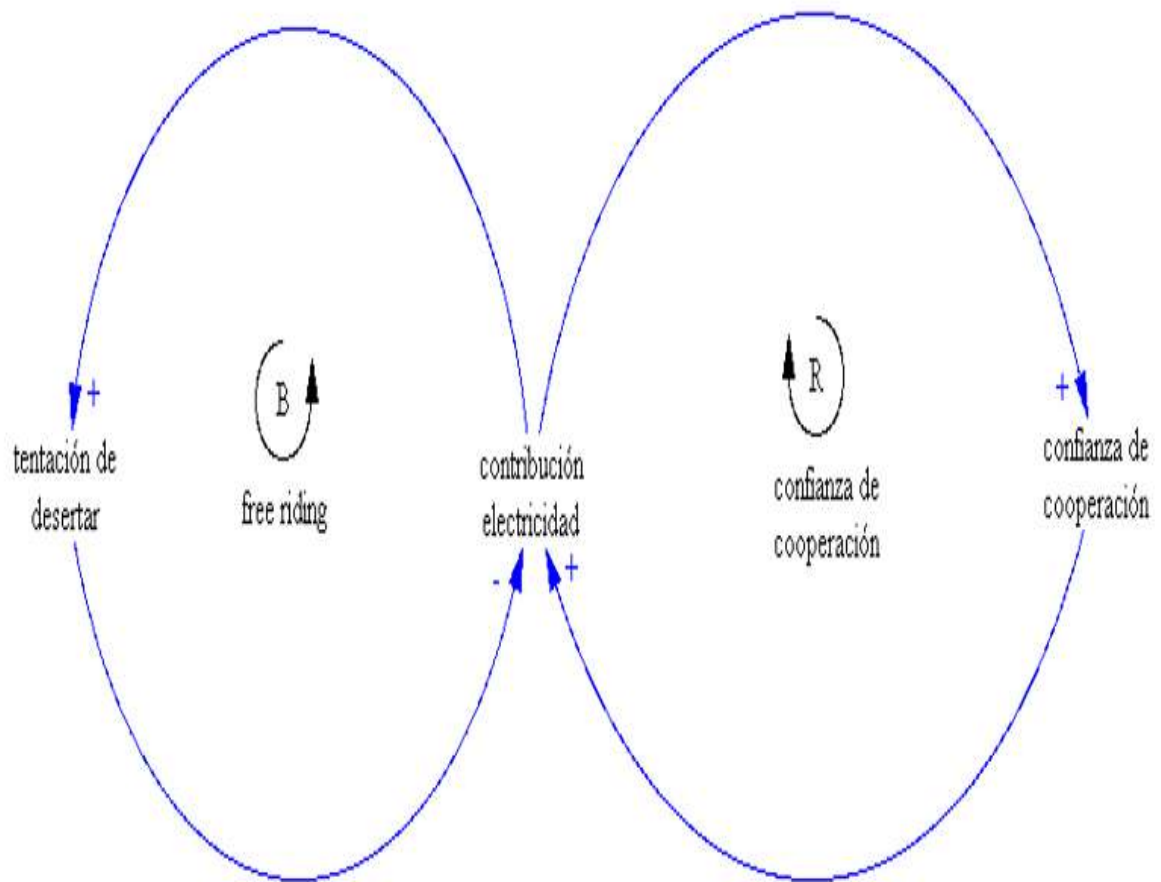


Figura 7-1: Constructo de evaluación expresado como hipótesis dinámica caso provisión de un recurso común en generación cooperativa de electricidad por pequeños usuarios

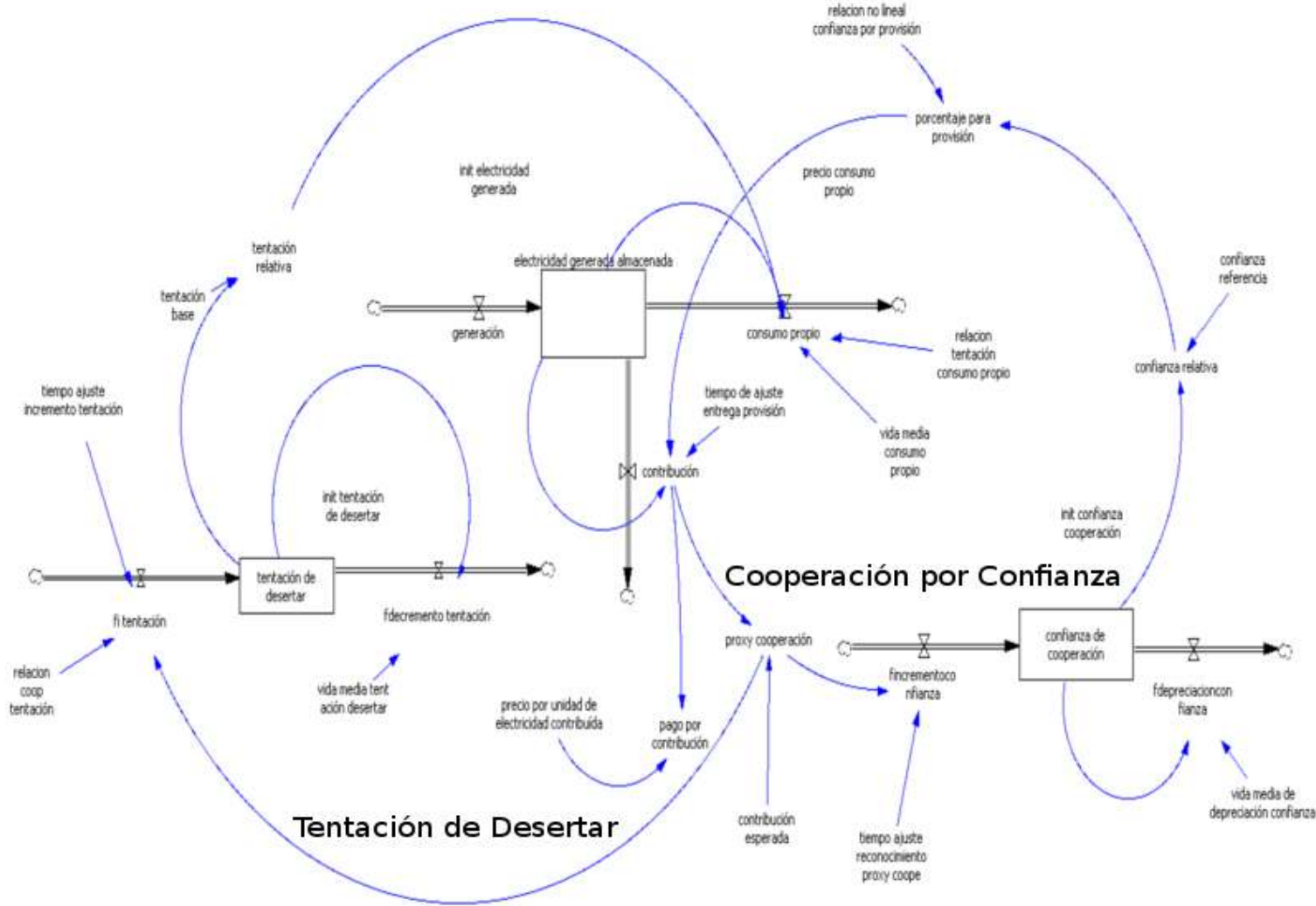


Figura 7-2: Representación de la estructura del modelo para el caso provisión de un recurso común en generación cooperativa de electricidad por pequeños usuarios.

7.2.3. Alcance del Modelo

La Tabla 7-2 de la página 203 presenta las variables del modelo de acuerdo a su carácter.

Endógenas	Exógenas	Excluídas
Consumo propio Confianza Tentación de desertar Electricidad generada almacenada Confianza de cooperación	Generación Vida media confianza	Percepción de daño Precio electricidad

Tabla 7-2: Fronteras del Modelo Cooperación en la Generación de Electricidad

7.2.4. Simulación

La simulación evaluó dos escenarios. Uno con un valor 0 y otro con un valor 10 para la confianza inicial de cooperación. Las simulaciones confirman la dependencia a la trayectoria de la confianza de cooperación. La Figura **7-3** de la página 205 presenta la simulación correspondiente para los dos escenarios.

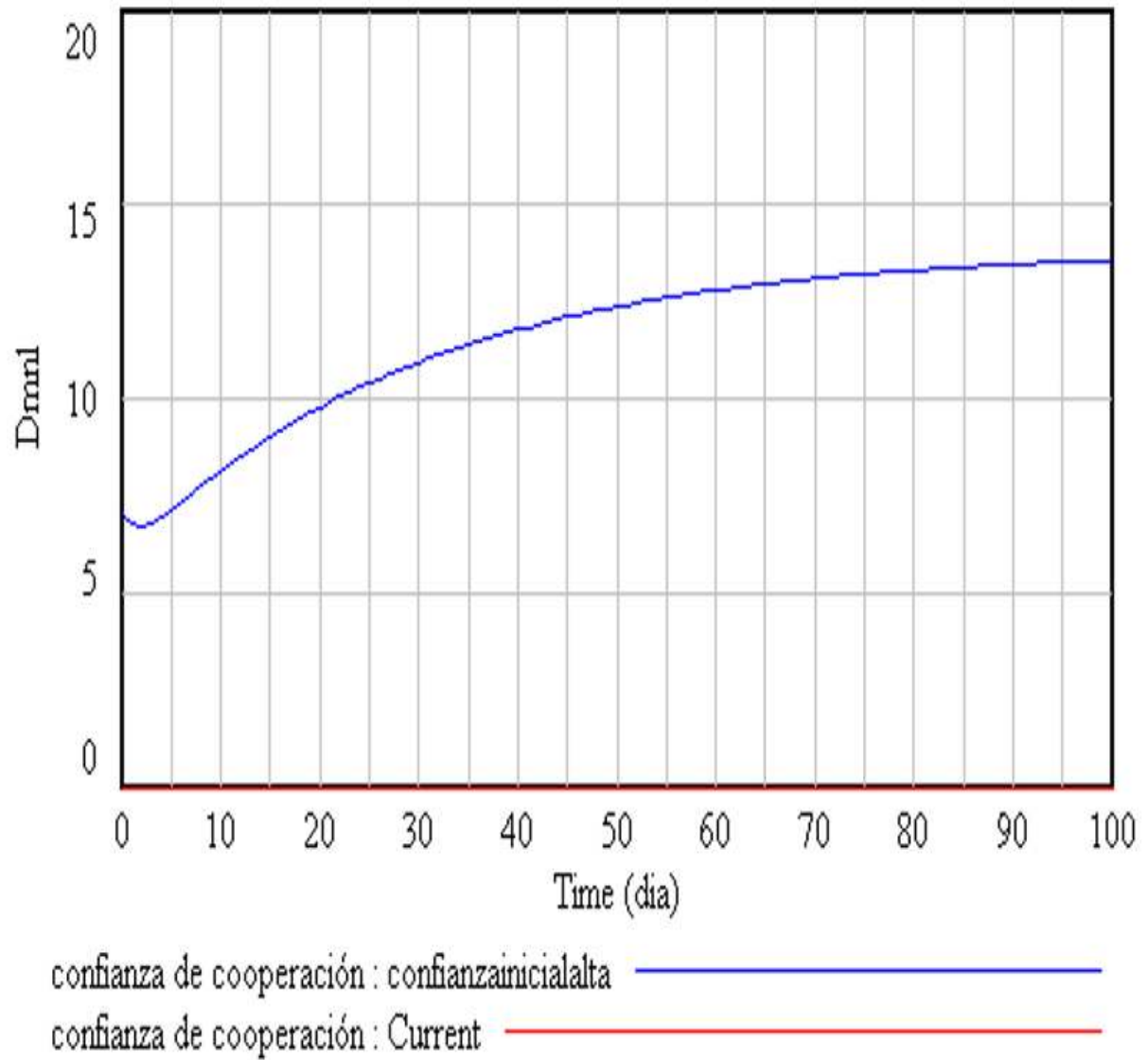


Figura 7-3: Resultado de simulación para la variable Confianza de cooperación con valores 0 y 10 iniciales para Confianza inicial.

206 Casos Teórico-hipotéticos: Mini-Prototipos de Extensión y Relajación del Constructo

La confianza condiciona la cooperación, lo cuál determina la contribución de electricidad alcanzada por el grupo. La Figura 7-4 de la página 207 ilustra dicha situación.

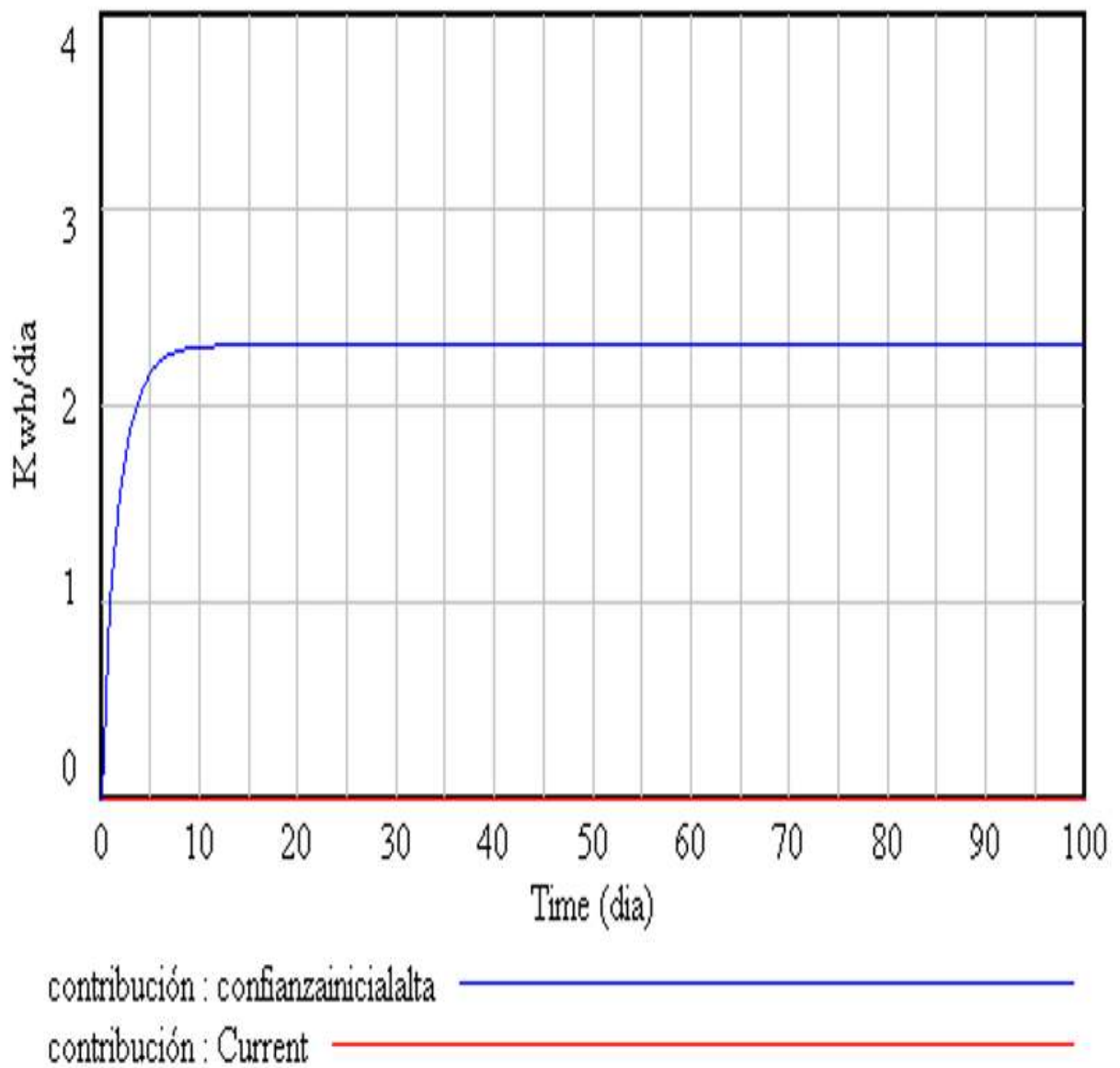


Figura 7-4: Resultado de simulación para la variable Contribución con valores 0 y 10 para confianza inicial

La tentación de desertar aparece sólo cuando se desarrolla cooperación. Si no existe confianza inicial de cooperación, no se genera cooperación, por lo que tampoco aparece la tentación de desertar. La Figura **7-5** de la página 209 presenta la tentación de desertar y cómo aparece o no aparece en función de la confianza.

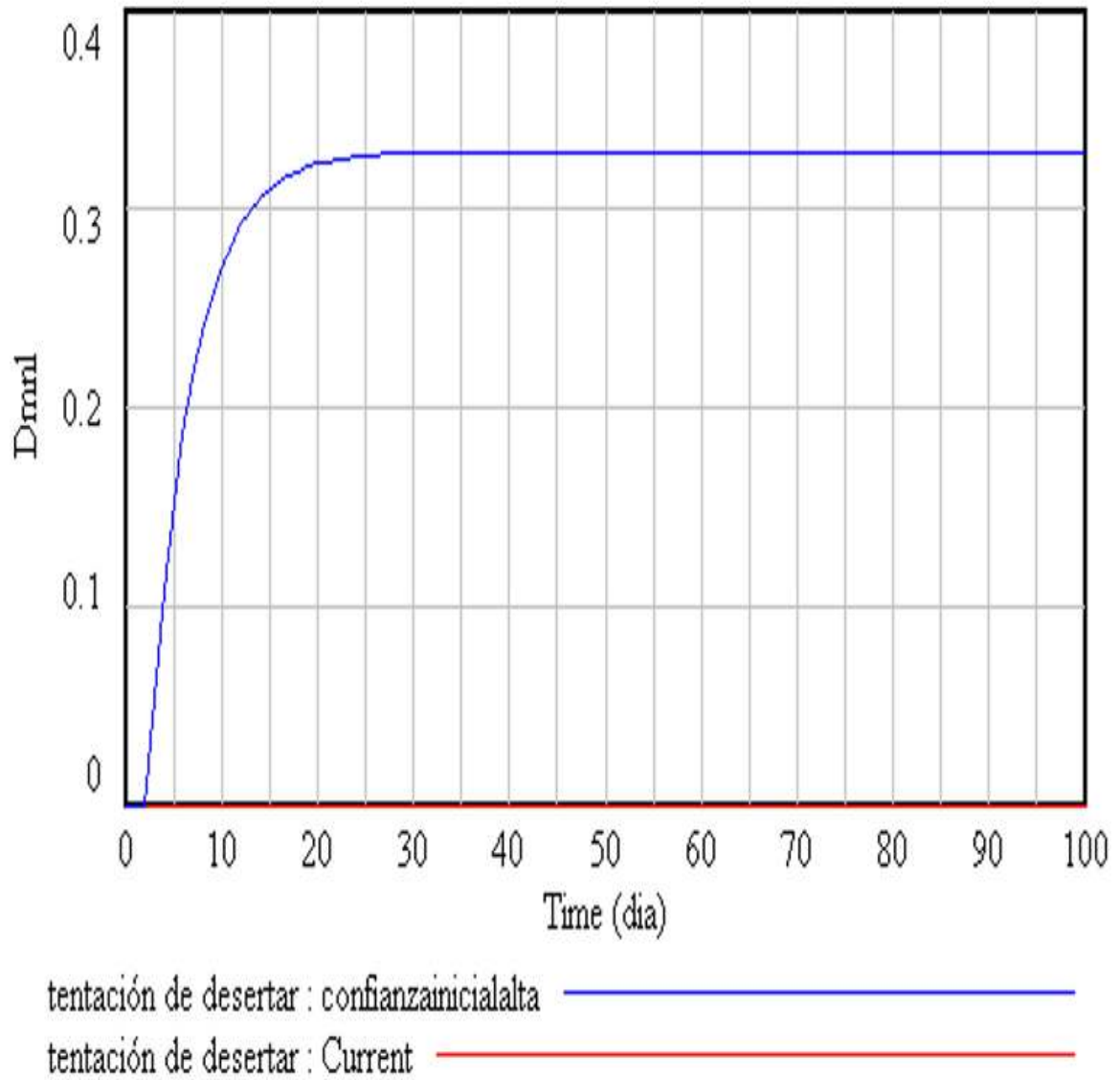


Figura 7-5: Resultados de simulación para la variable tentación de desertar con valores 0 y 10 para confianza inicial

7.2.5. Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad realizado a la confianza de cooperación confirma que su comportamiento depende de las condiciones iniciales en ausencia de la percepción de daño por el deterioro de la disponibilidad del recurso. La Figura 7-6 de la página 211 ilustra cómo a una variación uniformemente distribuida de la confianza inicial, aparece o no aparece la cooperación. Se sugiere como regla empírica que la cooperación depende de la confianza inicial de cooperación, en ausencia del mecanismo de percepción de daño y del mecanismo de cooperación como norma.

7.2.6. Evaluación de la efectividad del mecanismo para el caso en provisión cooperativa de electricidad

La Tabla 7-3 de la página 212 presenta la evaluación de la efectividad realizada al mecanismo de cooperación aplicado a este caso.

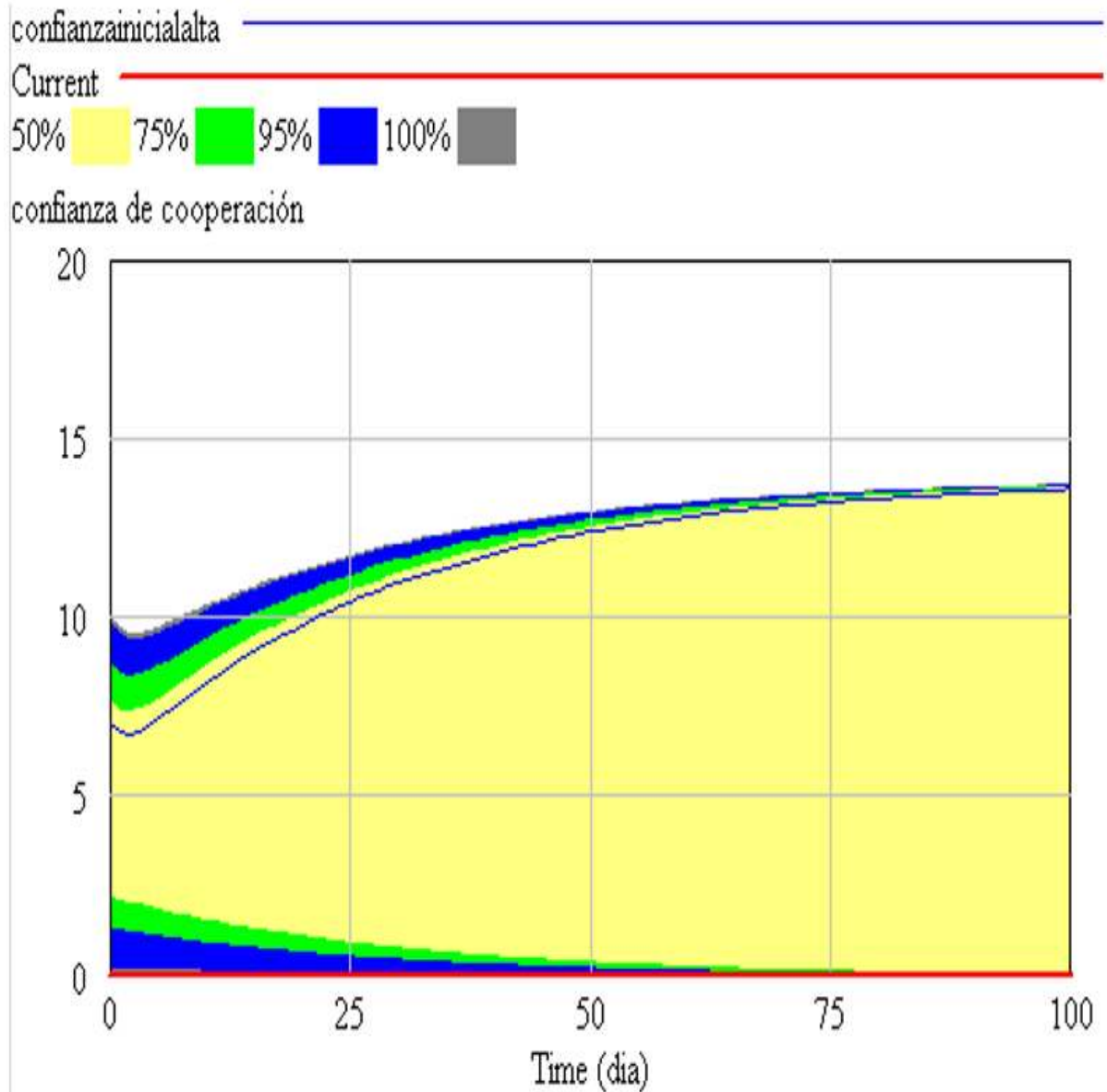


Figura 7-6: Análisis de sensibilidad para la confianza de cooperación.

Criterios	Indicador	Concepto Evaluación
Recurso		
	¿Se alcanza un nivel de uso sostenible del recurso?	Sólo si las condiciones iniciales de la confianza permiten la aparición de la cooperación.
Cooperación		
	¿Es sostenible?	Sólo si la confianza inicial es suficiente para promover la cooperación.
	¿Tiende hacia un Pareto Superior?	Sólo si la confianza inicial es suficiente para promover la cooperación.
Aprendizaje		
	¿El mecanismo fomenta el aprendizaje de cooperación como norma?	El caso no incluye mecanismo de cooperación como norma.
Tentación Desertar		
	¿Controla la Tentación de Desertar?	Si.
Percepción de Daño		
	¿La percepción de daño produce cooperación?	El caso no incluye mecanismo de percepción de daño.
Confianza		
	¿Se fomenta cooperación a pesar de las condiciones iniciales de la confianza de cooperación?	No, la cooperación depende de las condiciones iniciales.
Complejidad dinámica		
	¿El mecanismo permite enfrentar la complejidad dinámica?	No, el mecanismo depende completamente de una realimentación perfecta.

Tabla 7-3: Evaluación Criterios de efectividad propuestos para evaluar mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala

Esta sección describió un modelo simplificado de la contribución cooperativa de electricidad por pequeños productores auto generadores. Este modelo permitió evaluar la dependencia de la cooperación a las condiciones iniciales de la confianza de cooperación. Las simulaciones y el análisis de sensibilidad realizados sugieren que en ausencia del ciclo de percepción de daño por deterioro en la disponibilidad del recurso, la cooperación depende en este caso de los valores iniciales de la confianza de cooperación.

7.3. Un Caso en Congestión en una Red

Esta sección presenta el modelo diseñado para estudiar la congestión en una red de computadores como un dilema social de recurso agotable de gran escala. Se presenta el constructo expresado como hipótesis dinámica, la estructura general del modelo, su alcance, fronteras y límites, una descripción de sus componentes, las simulaciones realizadas y las pruebas aplicadas.

El control de la congestión en redes es un tema de alta prioridad en la ampliación de la cobertura y el mejoramiento de la calidad del servicio (Floyd & Fall, 1999; Huberman & Lukose, 1997). El rápido crecimiento de Internet y de la demanda de uso de Internet para aplicaciones de voz y video obliga al diseño y utilización de tecnologías, en especial algoritmos (Chrysostomou et al., 2003). Como alternativa al incremento del ancho de banda, se sugiere el diseño de instituciones basadas en mecanismos de cooperación (Gevros et al., 2002). De esta forma, el uso de mecanismos de cooperación tiene una aplicación en instituciones para regular el uso del ancho de banda en redes de computadores (Floyd & Fall, 1999).

7.3.1. Evaluación criterios de caso para la congestión en una red de computadores

En consideración a que Internet es un recurso común en donde sus usuarios no pagan en proporción al uso que hagan de ella, es racional para los individuos consumir ancho de banda de manera egoísta mientras que suponen que sus acciones tienen poco efecto en el desempeño general de Internet (Huberman & Lukose, 1997). Debido a que cada individuo razona de esta forma, el desempeño total de Internet puede degradarse considerablemente, lo que hace que todo el mundo sea afectado (Greco & Floridi, 2004). La Tabla 7-4 de la página 214 presenta la evaluación de los criterios de caso para la congestión en Internet.

Dilema Social	Elementos	Evaluación
	Acción de racionalidad individual	Apropiar el mayor ancho de banda posible
	Objetivo Bienestar Colectivo	Mantener ancho de banda disponible para todos los usuarios todo el tiempo
Bien Económico		
	Recurso Común Agotable	Ancho de Banda
	Uso por encima del nivel sostenible	Durante ciertas horas pico, el número de solicitudes y la magnitud de las solicitudes supera la capacidad de ancho de banda disponible.
	Alta Sustractibilidad	El ancho de banda apropiado por un usuario no se encuentra disponible para los demás mientras se encuentre en uso.
	Dificultad de Exclusión	No es fácil ni se acostumbra realizar exclusión de apropiadores.
Grupo		
	Más de 10 individuos	En la gran mayoría de las situaciones, el número de usuarios es mucho más de 10, llegando a los millones.
	Características Heterogéneas	Los usuarios tienen características heterogéneas.
	No hay comunicación cara a cara	No se puede asumir ni comunicación cara a cara ni siquiera comunicación mediada por tecnología.
	Existe realimentación	La realimentación consiste en la percepción de velocidad de respuesta a las peticiones realizadas en la red.
	Retardos considerables	No es instantáneo el percibir que las demoras en los tiempos de respuesta se deben a acciones no cooperativas, y es difícil determinar el estado del recurso por un usuario.
	Dificultades de Percepción	No se puede conocer si el grupo está cooperando, pues la percepción del tiempo de respuesta en la red se ve afectada por la complejidad y los retardos.
	Encuentros Indefinidos	Son indefinidos, no hay un número predeterminado de encuentros.
Intervención		
	Percepción de Daño	No se consideró este mecanismo.
	Posibilidad de restricción apropiación	No se consideró este mecanismo.
Aprendizaje	Cooperación de largo plazo	No se consideró este mecanismo.

Tabla 7-4: Revisión cumplimiento criterios de caso para la congestión en Internet.

En efecto, a pesar del crecimiento exponencial de Internet y de las nuevas oportunidades que este crecimiento ofrece para el acceso de información, la interactividad a escala global y la transformación económica, la red puede ser susceptible de dilemas sociales (Huberman & Lukose, 1997; Greco & Floridi, 2004). Como un recurso compartido, Internet es susceptible a congestiones (Gibbens & Kelly, 1999). Como los consumidores de un recurso común o los conductores de vehículos en las vías durante las horas pico, los usuarios de la red enfrentan dilemas sociales (Fu et al., 2007). Debido a que los usuarios no pagan en proporción al uso de la red, aparece como racional consumir ancho de banda mientras que asumen que su acción no tiene efecto en el desempeño general de la red (Gibbens & Kelly, 1999). No obstante, al experimentar el deterioro del ancho de banda y el consecuente deterioro de la velocidad de navegación, ellos pueden reducir o desistir de su uso, lo que libera ancho de banda que pueden ser nuevamente consumido, y así sucesivamente (Huberman & Lukose, 1997).

La percepción de congestión puede producir que los usuarios reduzcan su consumo de ancho de banda (Huberman & Lukose, 1997). Huberman & Lukose (1997) suponen en un caso simplificado de dilema social, que cinco usuarios tratan de maximizar su utilidad de uso del recurso, en donde dicha utilidad es proporcional a la velocidad con que ellos pueden tener acceso a información remota. Ellos fueron considerados cooperadores al decidir reducir su uso y no cooperadores si ellos consumían el ancho de banda de manera egoísta (Huberman & Lukose, 1997).

Huberman & Lukose (1997) encontraron que los individuos cambiaban su comportamiento de cooperadores y no cooperadores en función del tiempo de latencia, como indicador del ancho de banda. Huberman & Lukose (1997) sugieren que las grandes congestiones o tormentas en Internet son ocasionadas por el comportamiento agregado de individuos que enfrentan un dilema social (Huberman & Lukose, 1997).

7.3.2. Constructo expresado como hipótesis dinámica

La hipótesis dinámica representa una versión simplificada del constructo que incluye el mecanismo de cooperación basado en confianza, cuya efectividad será evaluada en un dilema social en una red de computadores, que se presenta en la Figura 7-7 de la página 216. Los ciclos definidos son los siguientes:

- **Mecanismo de cooperación basado en confianza: Ciclo de Balance: Confianza de cooperación.** Como resultado de la percepción de disponibilidad del recurso, que aproxima a la cooperación de los demás individuos usuarios de la red, se establece la confianza de cooperación, lo que a vez condiciona tanto el tiempo de permanencia en la red como el número de usuarios que realizan nuevas conexiones.
- **Ciclo de Refuerzo: Tentación de desertar.** Si mejora el ancho de banda relativo, se realizan nuevas conexiones y aumenta el tiempo de conexión promedio. Las nuevas conexiones reducen el ancho de banda disponible.

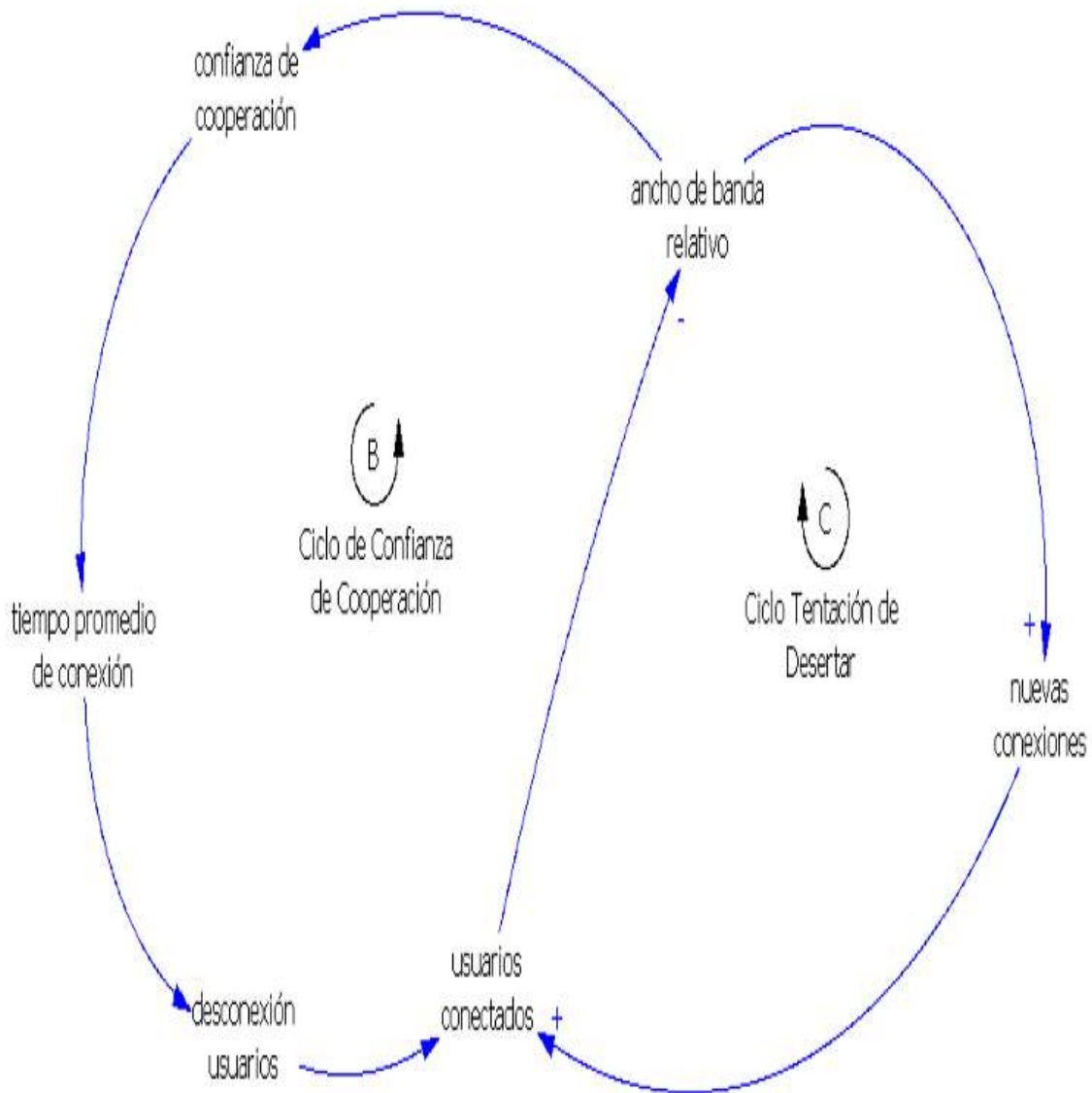


Figura 7-7: Hipótesis dinámica para un modelo simplificado de dilema social en una red de computadores.

7.3.3. Estructura general del modelo

Las Figuras 7-8 de la página 218 y 7-9 de la página 219 presentan el diagrama de flujos y niveles para el modelo diseñado. Se describe cómo el ancho de banda depende del número de usuarios conectados, que a su vez depende de los nuevos usuarios y del tiempo medio de conexión por usuario. La red tiene un ancho de banda teórico que se reparte en partes iguales a cada uno de los usuarios. De esta forma, los usuarios comparan si el ancho de banda que les corresponde es aceptable o no, con lo que deciden cooperar o desertar de acuerdo a dicha aproximación de cooperación.

Se conserva la historia de la cooperación en la confianza, que tiene una vida media que determina su depreciación en el tiempo. La confianza acumula percepciones de cooperación en el tiempo, que a su vez permiten nuevas acciones cooperativas como reducir el tiempo de conexión o el número de conexiones nuevas.

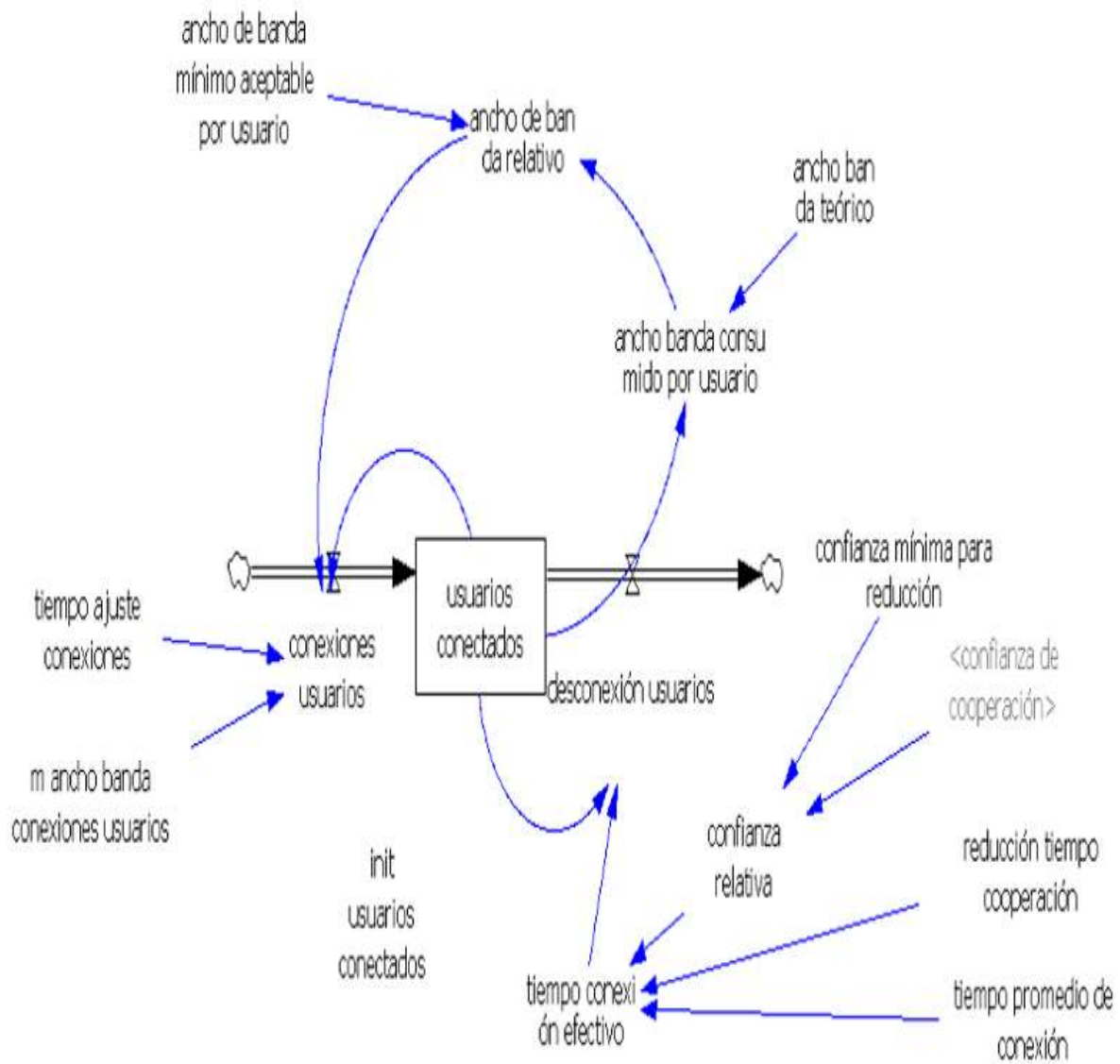


Figura 7-8: Diagrama de niveles y flujos para el caso de congestión sector ancho de banda

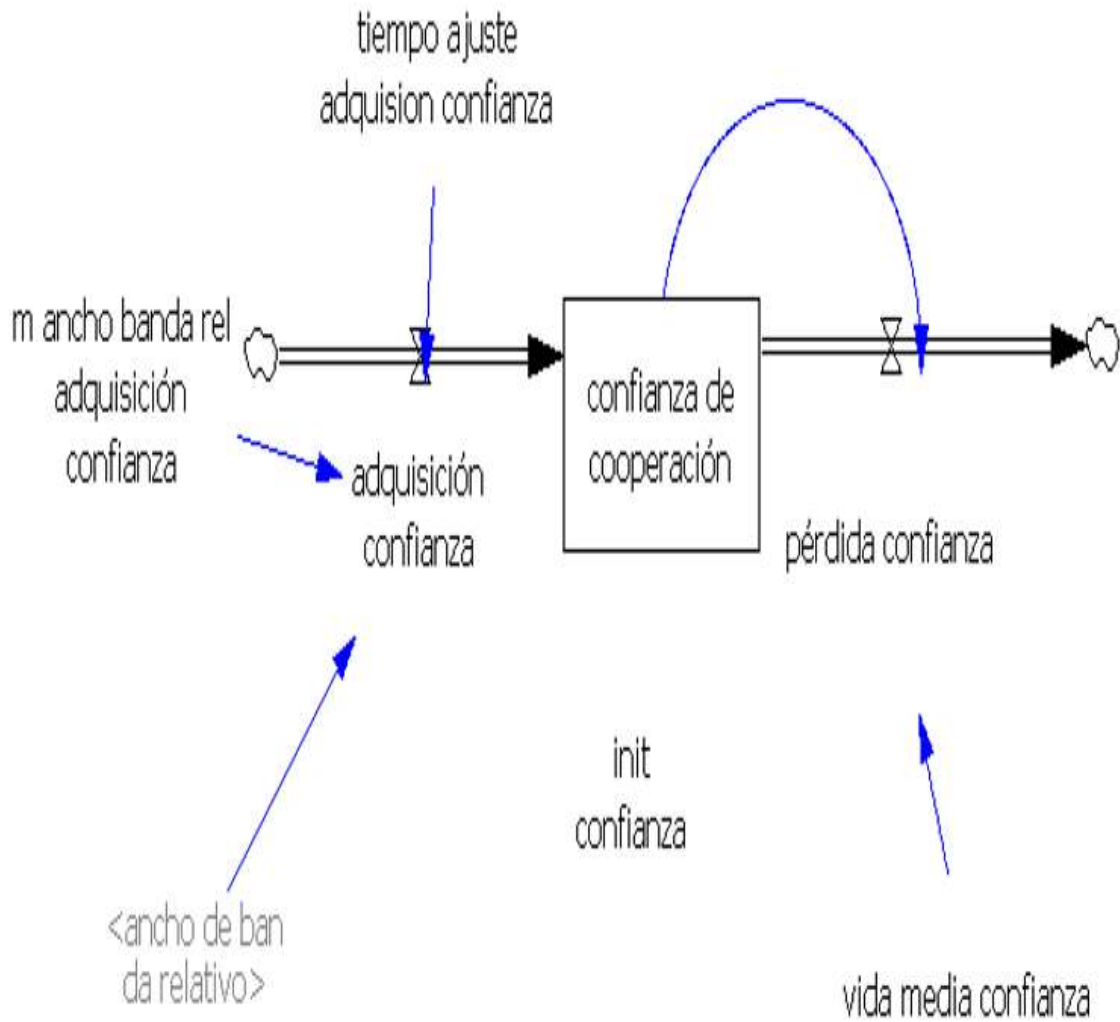


Figura 7-9: Diagrama de niveles y flujos para el caso de congestión sector confianza de cooperación

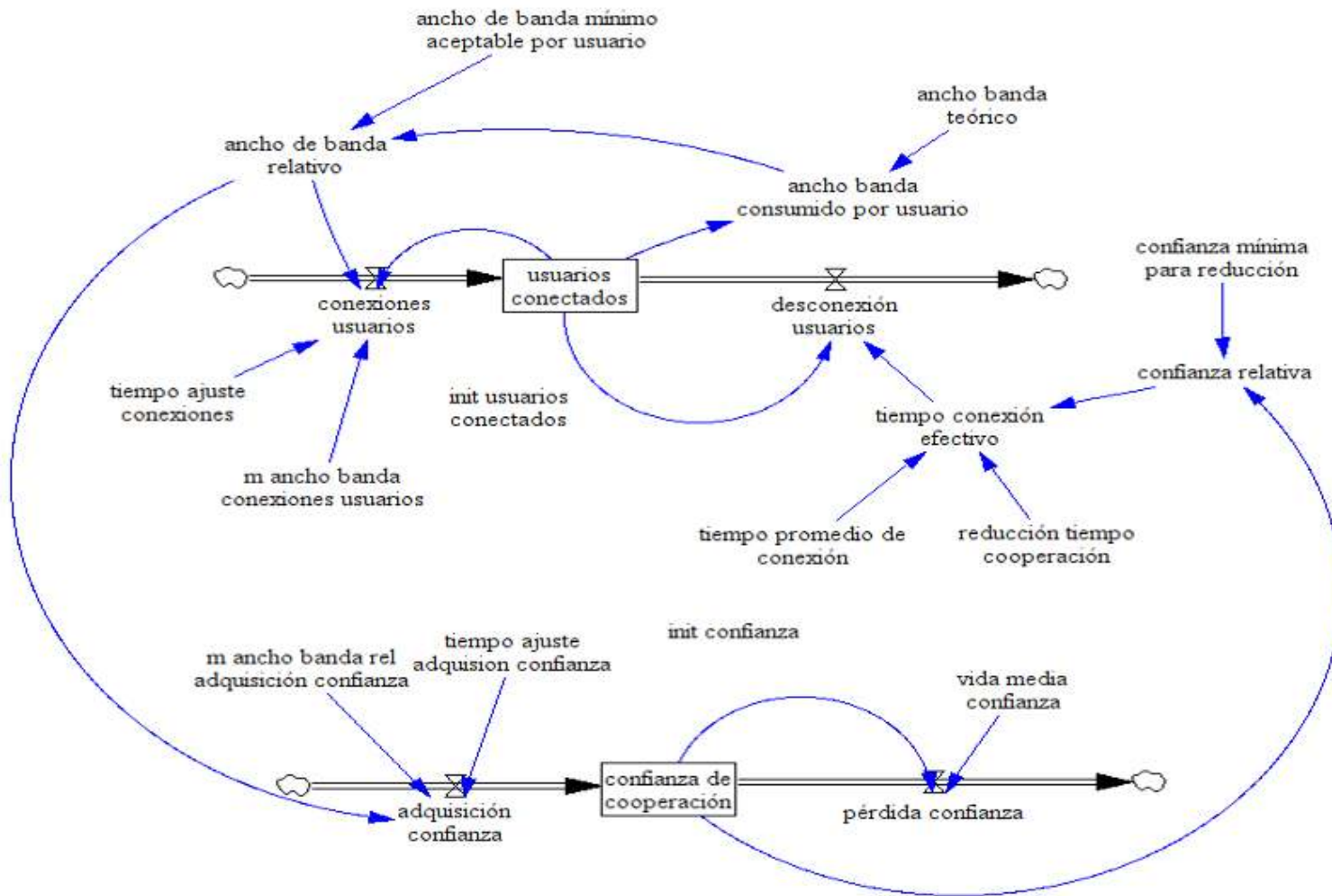


Figura 7-10: Representación de la estructura del modelo para el caso de congestión en una red de computadores.

7.3.4. Alcance del Modelo

La Tabla 7-5 de la página 221 presenta las variables utilizadas en el modelo de acuerdo a su carácter.

Endógenas	Exógenas	Excluidas
Usuarios conectados Confianza de Cooperación Ancho de banda por usuario	Vida media confianza	Precio suscripción acceso

Tabla 7-5: Fronteras del Modelo Congestión en una Red de Computadores

7.3.5. Simulación

A continuación se presentan las simulaciones realizadas. Se asumieron dos escenarios con condiciones distintas para la confianza de cooperación inicial para los valores 0 y 10. Los resultados suponen que gracias al mecanismo de cooperación basada en confianza y a la estructura particular de este recurso, en donde los usuarios al desertar liberan el recurso para otros, en esta situación particular, la confianza de cooperación se estabiliza para cada uno de los escenarios modelados. Esto se ilustra en la Figura 7-11 de la página 223.

7.3.6. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad, que se presenta en la Figura 7-12 de la página 224 llevado a cabo para la variable confianza de cooperación describe, para cambios uniformemente distribuidos entre 0 y 10 en las condiciones iniciales de la confianza, como el comportamiento de la variable converge.

7.3.7. Evaluación efectividad mecanismo de cooperación para el caso de congestión de una red de computadoras

La Tabla 7-6 de la página 225 ofrece evaluación de la efectividad para el mecanismo de cooperación aplicado en este caso de cooperación para enfrentar la congestión en Internet como un dilema social de recurso agotable de gran escala.

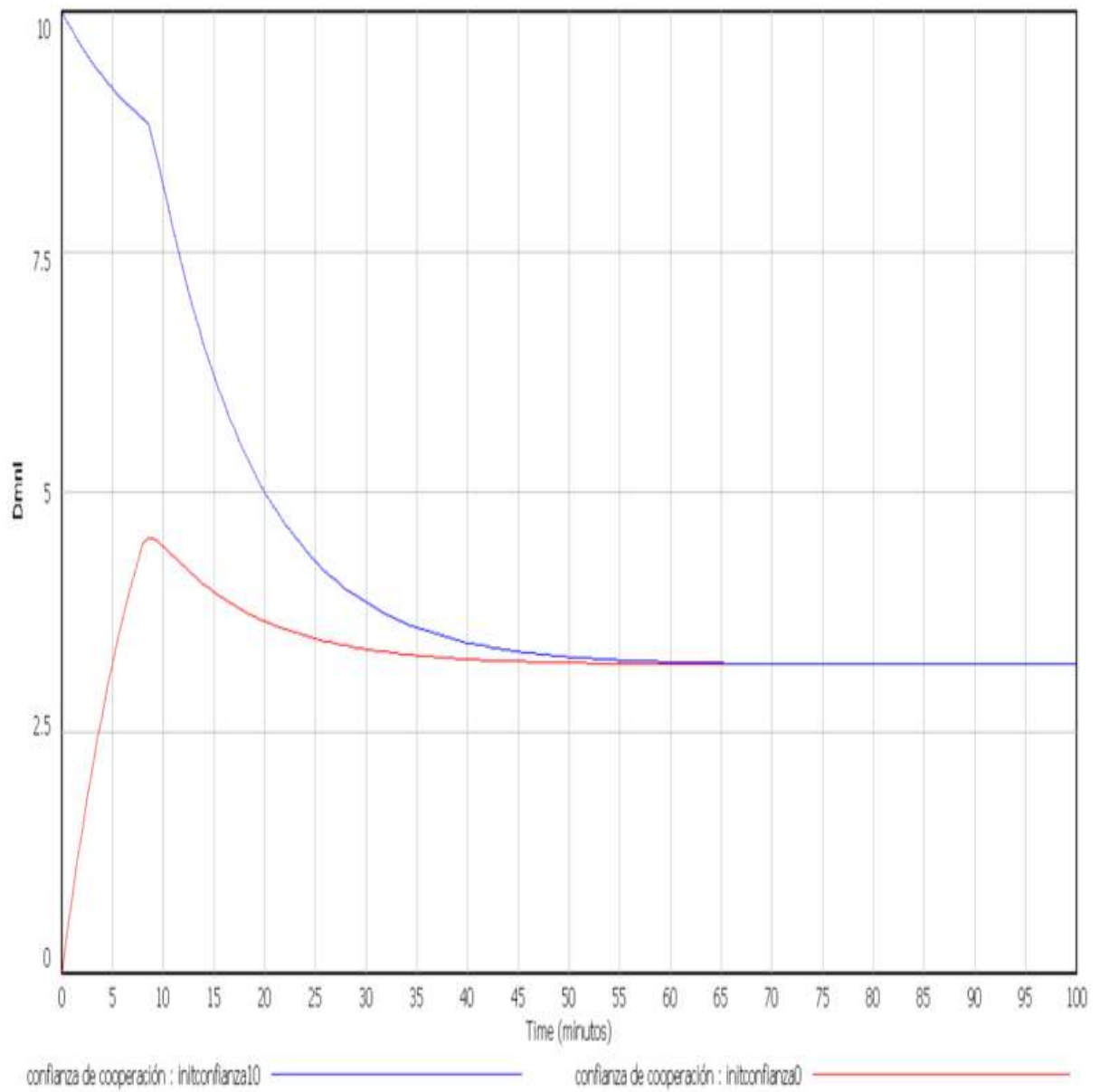


Figura 7-11: Resultado de simulación para la variable Confianza de cooperación con valores 0 y 10 iniciales para Confianza inicial.

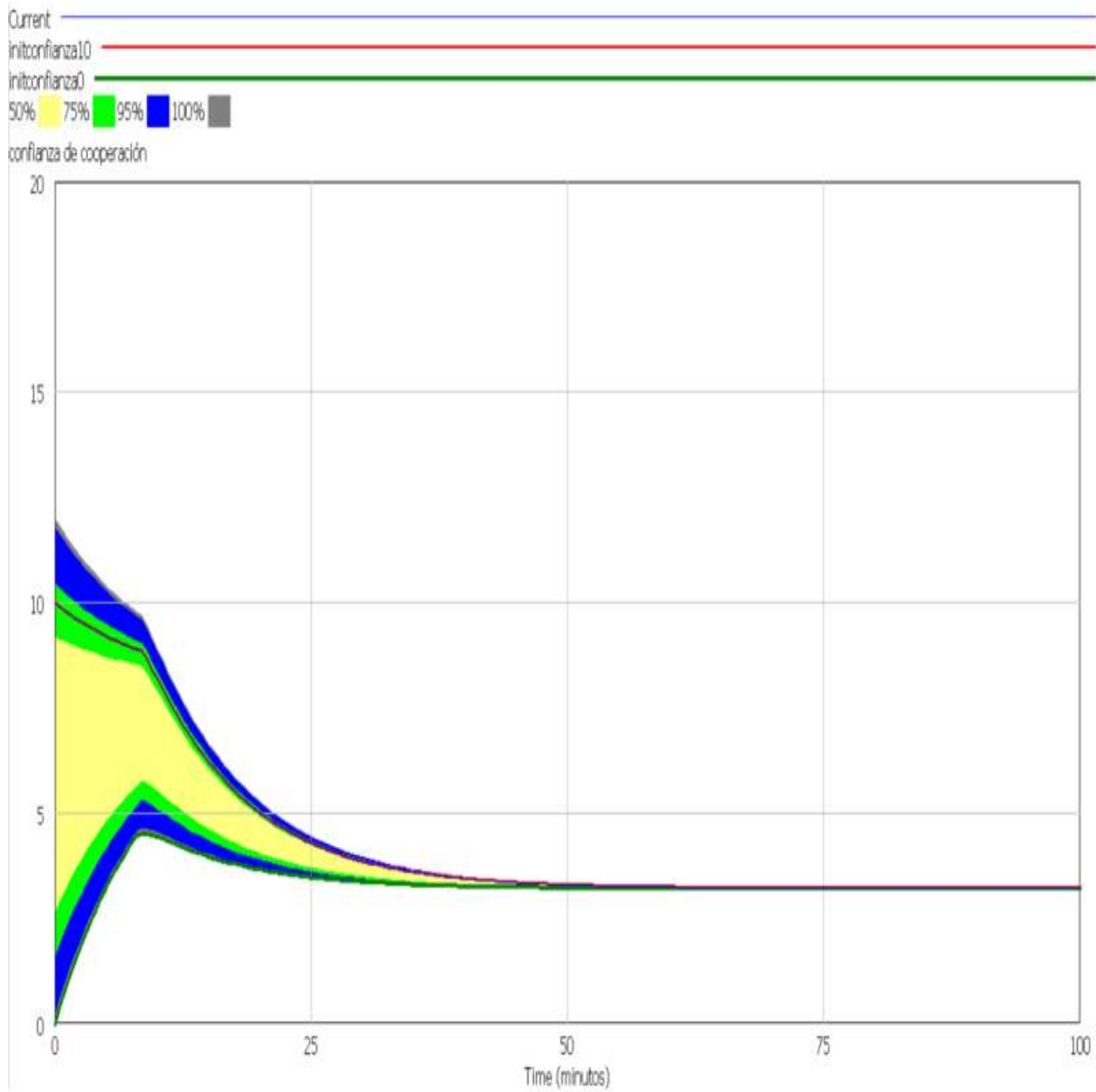


Figura 7-12: Resultado de simulación para la variable Contribución con valores 0 y 10 para confianza inicial

Criterios	Indicador	Evaluación
Recurso		
	¿Se alcanza un nivel de uso sostenible del recurso?	Si, esto debido a que en este caso particular, el desertar implica volver a tener disponible la capacidad del recurso para otros usuarios, de esta forma la cooperación basada en confianza se estabiliza a pesar de que no existan las condiciones de confianza previas requeridas para que aparezca la cooperación.
Cooperación		
	¿Es sostenible?	Si.
	¿Tiende hacia un Pareto Superior?	No, se estabiliza. Incluir mecanismos como percepción de daño o cooperación como norma pueden mejorar el desempeño de la cooperación.
Aprendizaje		
	¿El mecanismo fomenta el aprendizaje de cooperación como norma?	No se incluyó dicho mecanismo.
Tentación Desertar		
	¿Controla la Tentación de Desertar?	Si.
Percepción de Daño		
	¿La percepción de daño produce cooperación?	No se incluyó dicho mecanismo.
Confianza		
	¿Se fomenta cooperación a pesar de las condiciones iniciales de la confianza de cooperación?	Si, gracias a la configuración particular de la situación, en donde al desertar se recupera la disponibilidad del recurso.
Complejidad dinámica		
	¿El mecanismo permite enfrentar la complejidad dinámica?	Si, pues los retardos en la información son manejables. No obstante deben diseñarse mecanismos específicos para conocer los resultados de la acción cooperativa de los demás.

Tabla 7-6: Evaluación Criterios de efectividad propuestos para evaluar mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala aplicados a la congestión en Internet.

7.4. Caso Crisis del Ozono

La capa de Ozono (O_3) actúa como un escudo contra los rayos ultravioleta, protegiendo a la vida en la tierra de los rayos ultravioleta. Los científicos suponen que esta capa es frágil y que se ha incrementado su fragilidad como consecuencia de actividades humanas (Molina, 1997). La literatura científica reporta la relación existente entre los clorofluorocarbonados (CFC) de origen antropogénico tales como CCl_2F_2 and CCl_3F y el agotamiento de la capa de Ozono en la alta atmósfera (Rowland, 1990). Los CFCs son inertes en la atmósfera baja y pueden sobrevivir por cientos de años o más sin entrar en reacción química (Molina, 1997). Estos componentes son usados en la fabricación de refrigerantes, solventes y aerosoles. El proceso más importante de destrucción de los CFCs se produce por la fotólisis ultravioleta que ocurre en la estratosfera, con la liberación de un átomo de Sodio. El átomo de Cloro ataca el Ozono O_3 con la formación del radical libre ClO que reacciona así para regenerar Sodio atómico. Esta reacción en cadena puede causar la eliminación de 100000 moléculas de Ozono por cada átomo de Sodio, esto sumado a la emisión a la atmósfera de cerca de un millón de toneladas al año de CFCs, produce un agotamiento significativo a escala global de la capa de Ozono (Molina, 1997). El análisis de registros de datos sobre la concentración del Ozono ha confirmado una pérdida de entre el 2 y el 3 % al año en las regiones ecuatoriales desde 1970 (Solomon et al., 1986). La reducción en la concentración del Ozono en la atmósfera produce efectos en la temperatura (Kirk-Davidoff et al., 1999), en la vida humana (Longstreth et al., 1995), animal (Bjorn, 1996) y vegetal (Tevini & Teramura, 1989) por el incremento de la concentración de los rayos ultravioleta. El Protocolo de Montreal de 1987 definió un marco para el control internacional de las emisiones de CFCs, que ha impulsado la eliminación de la fabricación de compuestos basados en CFCs (Montreal Protocol, 1987).

7.4.1. Evaluación condiciones de caso

La Tabla 7-7 de la página 227 presenta la evaluación del cumplimiento de condiciones para el caso de la crisis del Ozono como dilema social de recurso de gran escala.

Dilema Social	Elementos	Evaluación
	Acción de racionalidad individual	Emitir CFCs a la atmósfera.
	Objetivo Bienestar Colectivo	Mantener la concentración de Ozono a niveles que sostengan los efectos de retención de rayos Ultravioleta.
Bien Económico		
	Recurso Común Agotable	Ozono
	Uso por encima del nivel sostenible	La emisión de CFCs y el tiempo de residencia en la atmósfera mantienen una concentración de CFCs por encima de la capacidad de regeneración de Ozono de la naturaleza.
	Alta Sustractibilidad	El Ozono degradado por la presencia de CFCs en la atmósfera no vuelve a estar disponible para los otros.
	Dificultad de Exclusión	Si bien se ha prohibido la emisión de CFCs, no es sencillo detectar a emisores.
Grupo		
	Más de 10 individuos	Millones.
	Características Heterogéneas	Los usuarios tienen características heterogéneas.
	No hay comunicación cara a cara	No se puede asumir ni comunicación cara a cara.
	Existe realimentación	La realimentación consiste en las mediciones de la Concentración de Ozono y de CFCs en la atmósfera.
	Retardos considerables	Existen demoras en la recolección e interpretación de los datos.
	Dificultades de Percepción	El tiempo de residencia de los CFCs en la atmósfera dificulta que los grupos puedan reconocer el efectos de mejoraría en la concentración de Ozono por la reducción e incluso la eliminación de emisiones de CFCs.
	Encuentros Indefinidos	Son indefinidos, no hay un número predeterminado de encuentros.
Intervención		
	Percepción de Daño	No se consideró este mecanismo.
	Posibilidad restricción apropiación	No se consideró este mecanismo.
Aprendizaje	Cooperación de largo plazo	No se consideró este mecanismo.

Tabla 7-7: Revisión cumplimiento criterios de caso de la Crisis del Ozono.

7.4.2. Constructo de evaluación

Esta tesis trabajo asume una versión dinámica del mecanismo de cooperación basado en confianza (Parra, 2010). Esta versión supone la confianza como variable que permite que los grupos generen la cooperación necesaria para enfrentar el dilema social. La Figura 7-13 en la página 232 representa la versión dinámica de un mecanismo de cooperación basado en confianza.

7.4.3. Simulación

Inicialmente se modeló la crisis del Ozono mediante 2 ecuaciones diferenciales que representan tanto la degradación del Ozono como las emisiones y acumulación de CFC-11 en la atmósfera como consecuencia de su vida media. La vida media del CFC-11 se ha establecido entre 75 y 135 años (?). Para las simulaciones se adoptó 75 años como vida media para el CFC-11. La Figura 7-14 en la página 230 presenta el modelo inicial desarrollado para presentar la dinámica promedio del Ozono y del CFC-11.

Las simulaciones para este modelo inicial permiten obtener un comportamiento promedio para el Ozono promedio global, como se presenta en la Figura 7-15 de la página 231. Los datos utilizados corresponden a IAC (2010).

El comportamiento del Ozono se explica por la estabilización en la concentración de CFC-11 luego de que sus emisiones llegaron a 0 luego de la aplicación del tratado de Montreal, como se presenta en la Figura 7-16 de la página 232.

Con una representación de la crisis del Ozono como un dilema social se integró al modelo la versión dinámica del mecanismo de cooperación basado en confianza. La Figura presenta la versión del mecanismo a ser integrada. Si la cooperación, representada por la concentración de O_3 mejora, se acumula confianza de cooperación que se conserva en función de un tiempo de vida media determinado. La confianza de cooperación acumulada permite realizar y mantener la reducción de las emisiones de CFC-11. El CFC-11 acumulado en la atmósfera deteriora las moléculas de O_3 reduciendo su concentración. Esto se describe en la hipótesis dinámica de la Figura 7-17, en la página 233.

7.4.4. Evaluación efectividad mecanismo de cooperación

Se evaluaron dos escenarios de simulación en los que se varió la exigencia de la confianza requerida para promover cooperación. En la primera simulación se aplicó un escenario de baja exigencia. En la segunda simulación se definió un escenario de alta exigencia de confianza. Los resultados de simulación se presentan en la Figura 7-18 en la página 234 y en la Figura 7-19 en la página 235

Las Figuras ilustran cómo el mecanismo de cooperación evaluado varía su efectividad en función de la exigencia a la confianza de cooperación necesaria para desarrollar nueva cooperación.

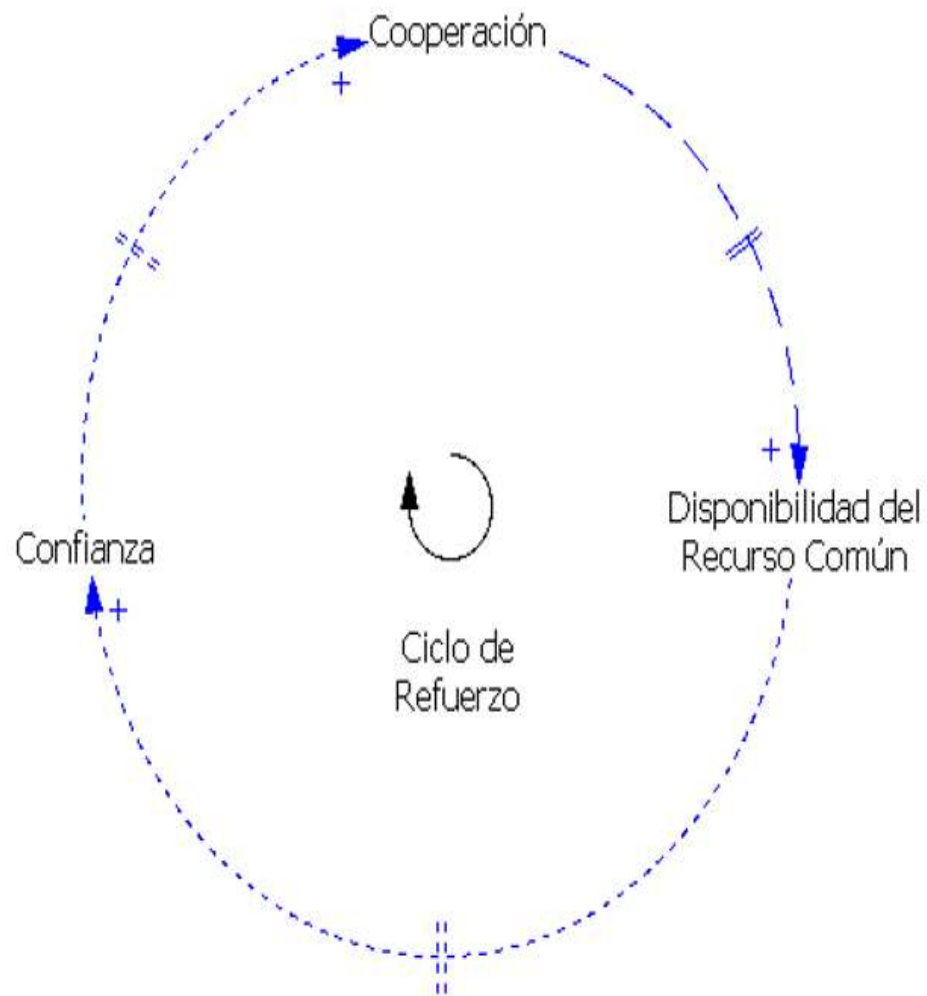


Figura 7-13: Versión Dinámica de un Mecanismo de Cooperación basado en Confianza para Dilemas Sociales de Gran Escala.

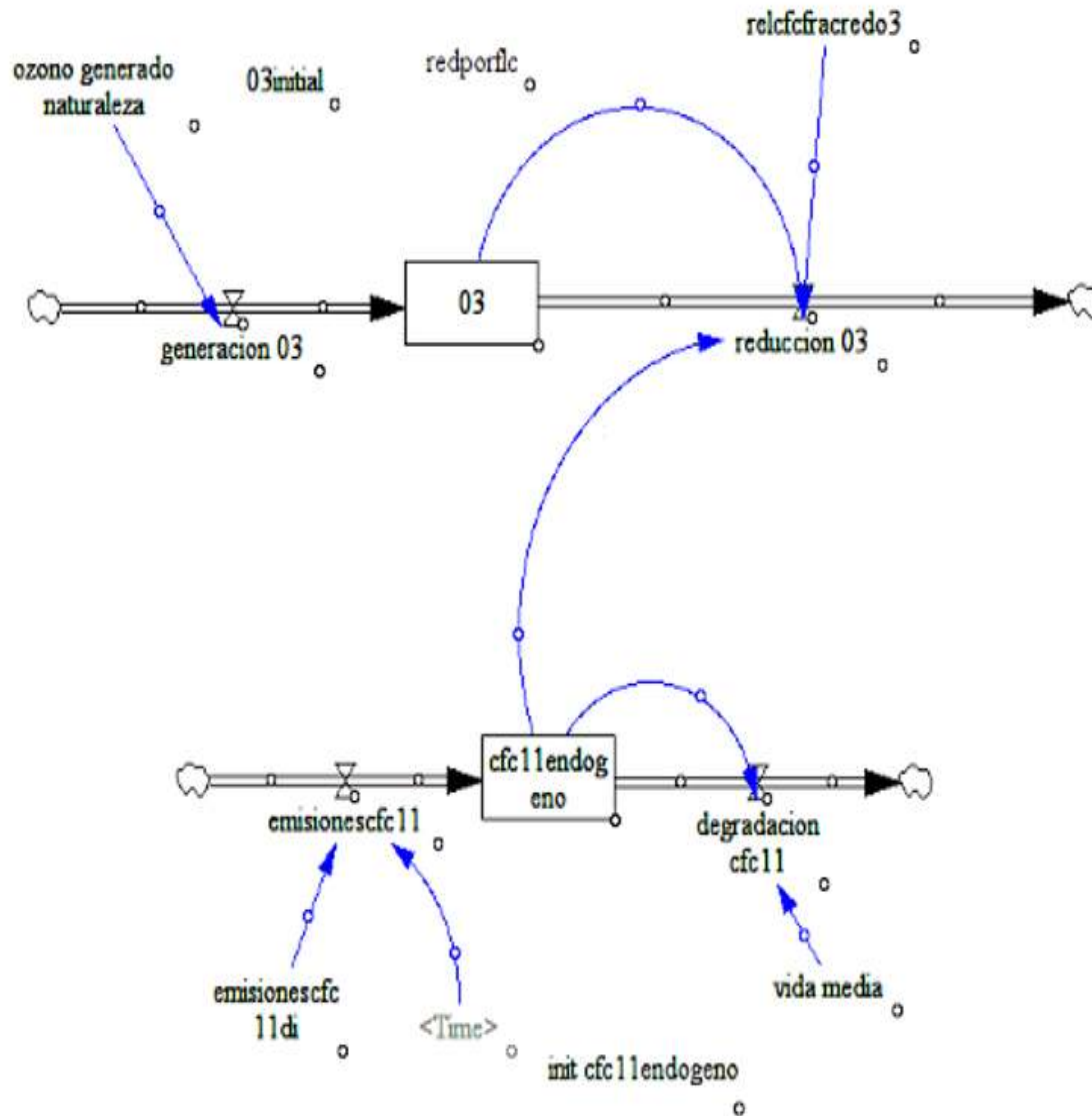


Figura 7-14: Modelo Agotamiento Ozono sin Mecanismo de Cooperación.

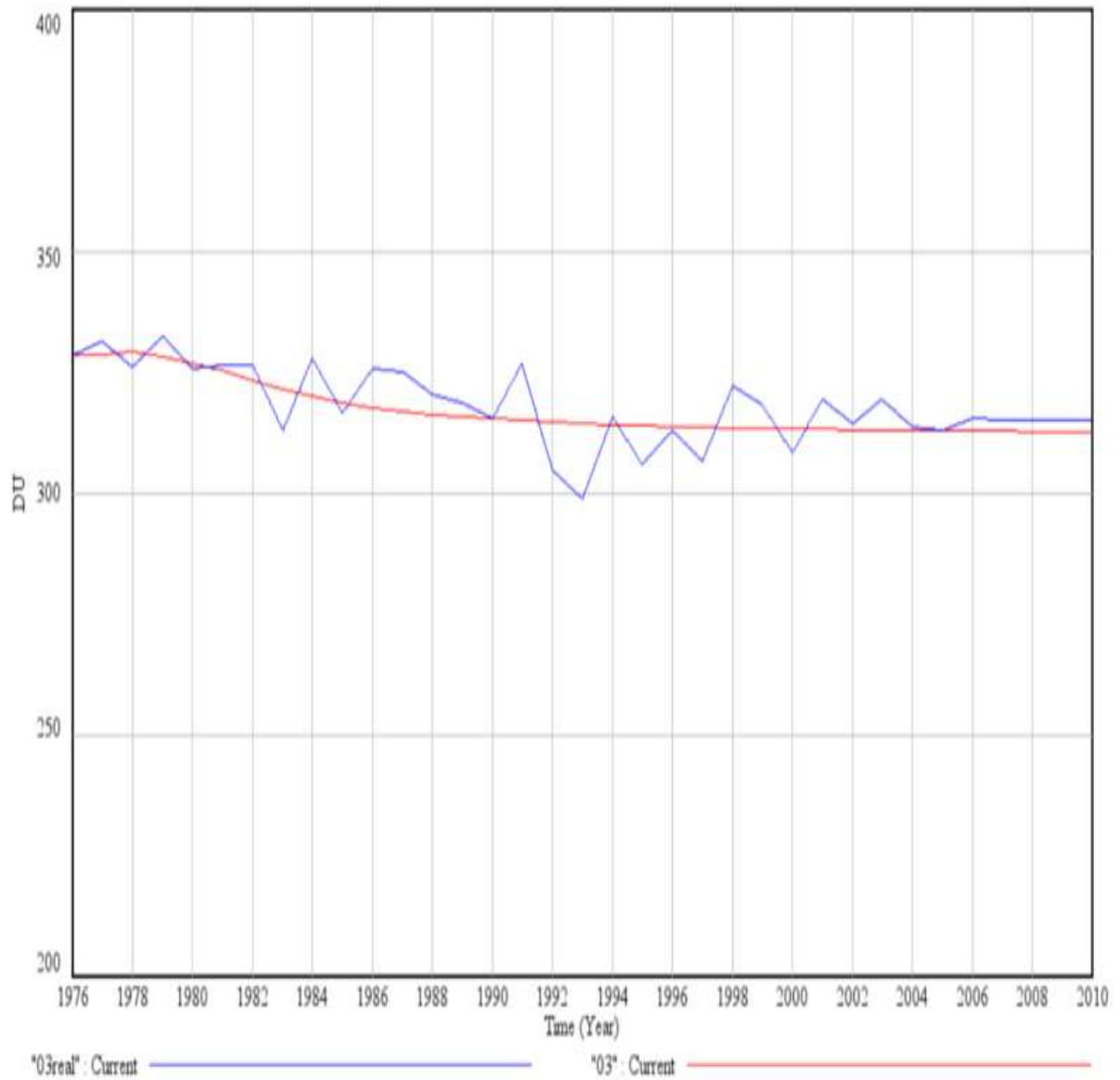


Figura 7-15: Datos vs Simulación Modelo Ozono sin Mecanismo.

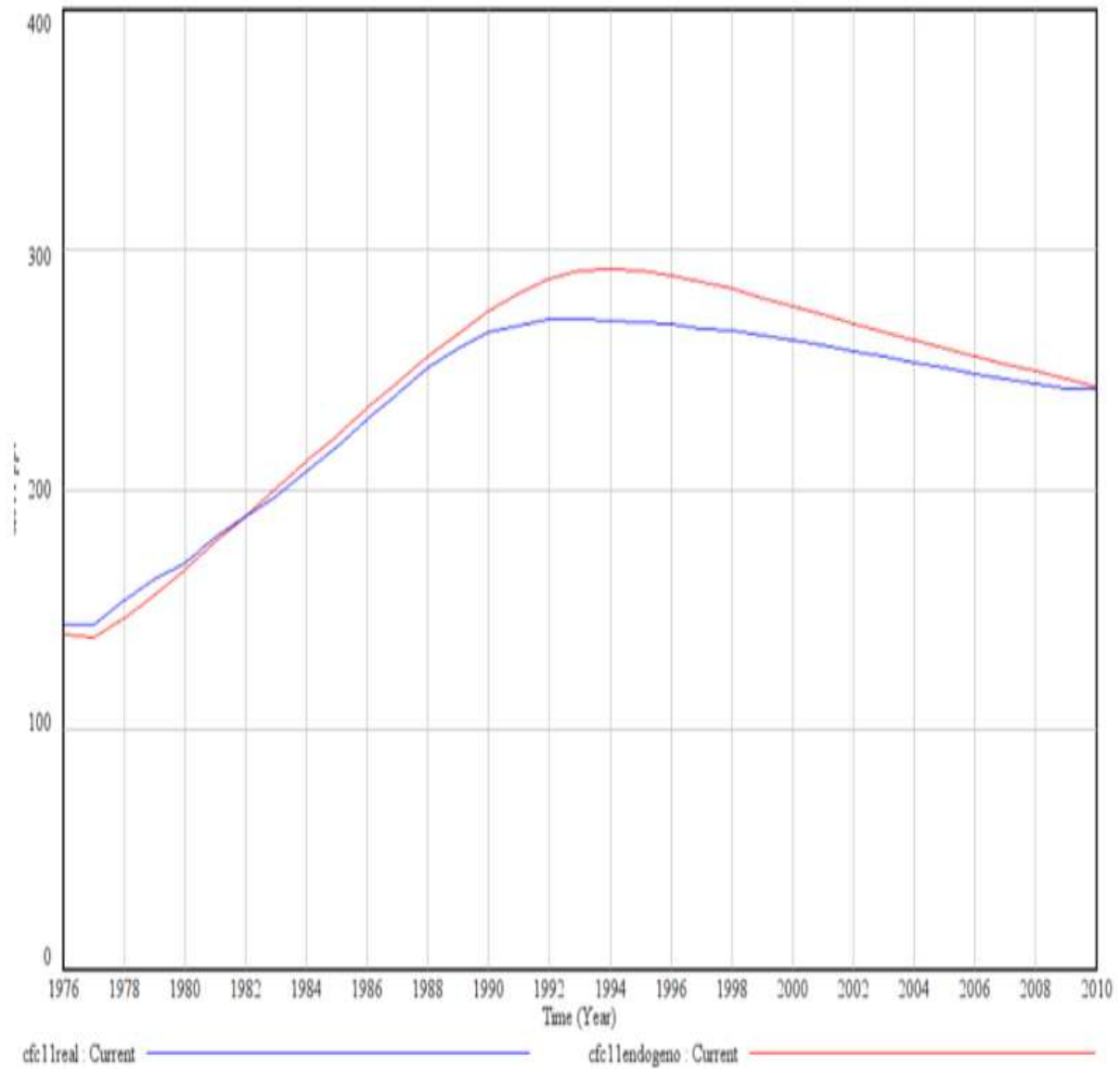


Figura 7-16: Datos vs Simulación Modelo CFC-11 sin Mecanismo.

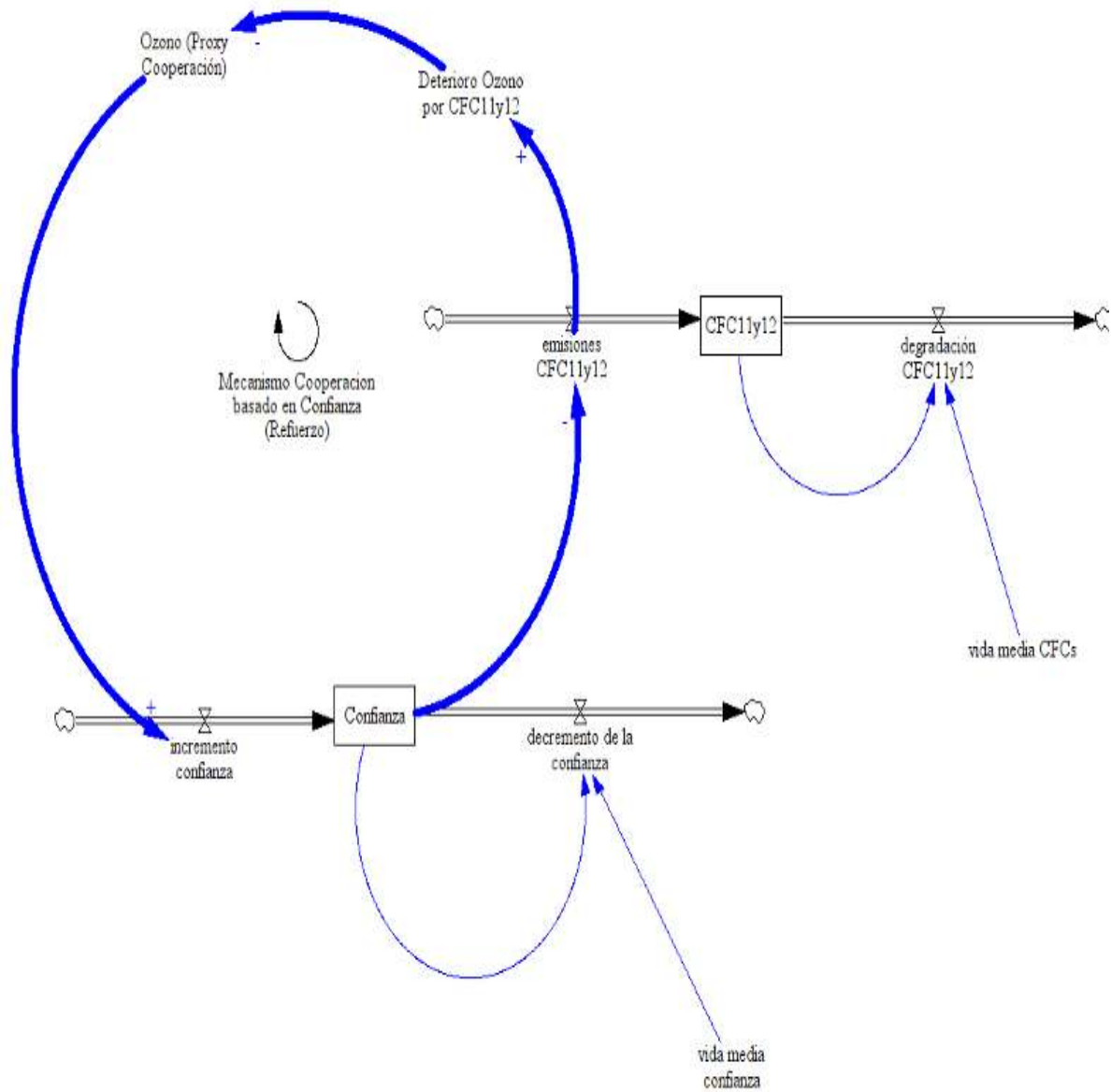


Figura 7-17: Un Mecanismo de Cooperación Basado en Confianza para la Crisis del Ozono Asumida como Dilema Social de Gran Escala.

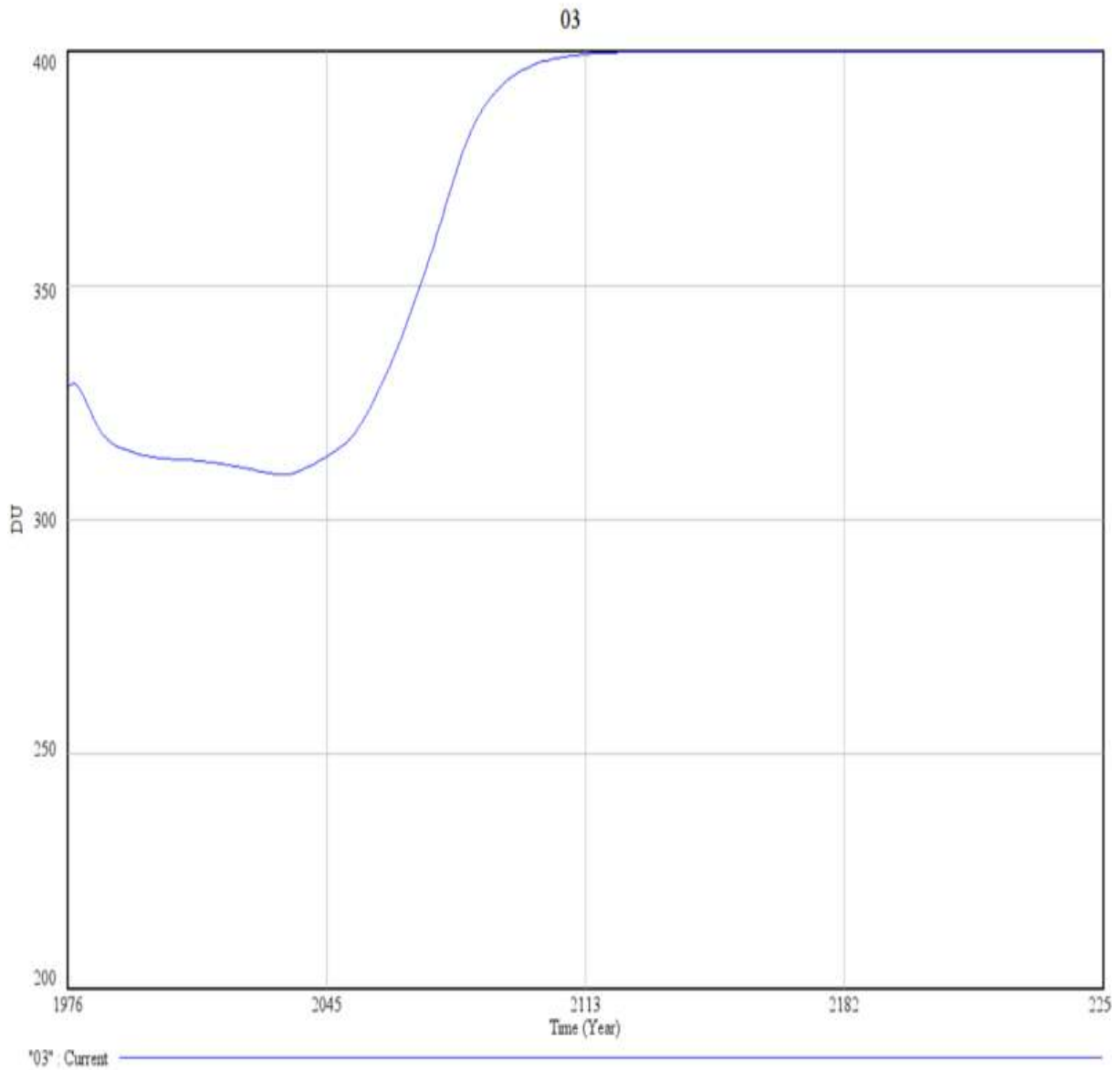


Figura 7-18: Simulación Ozono con Baja Exigencia de Confianza.

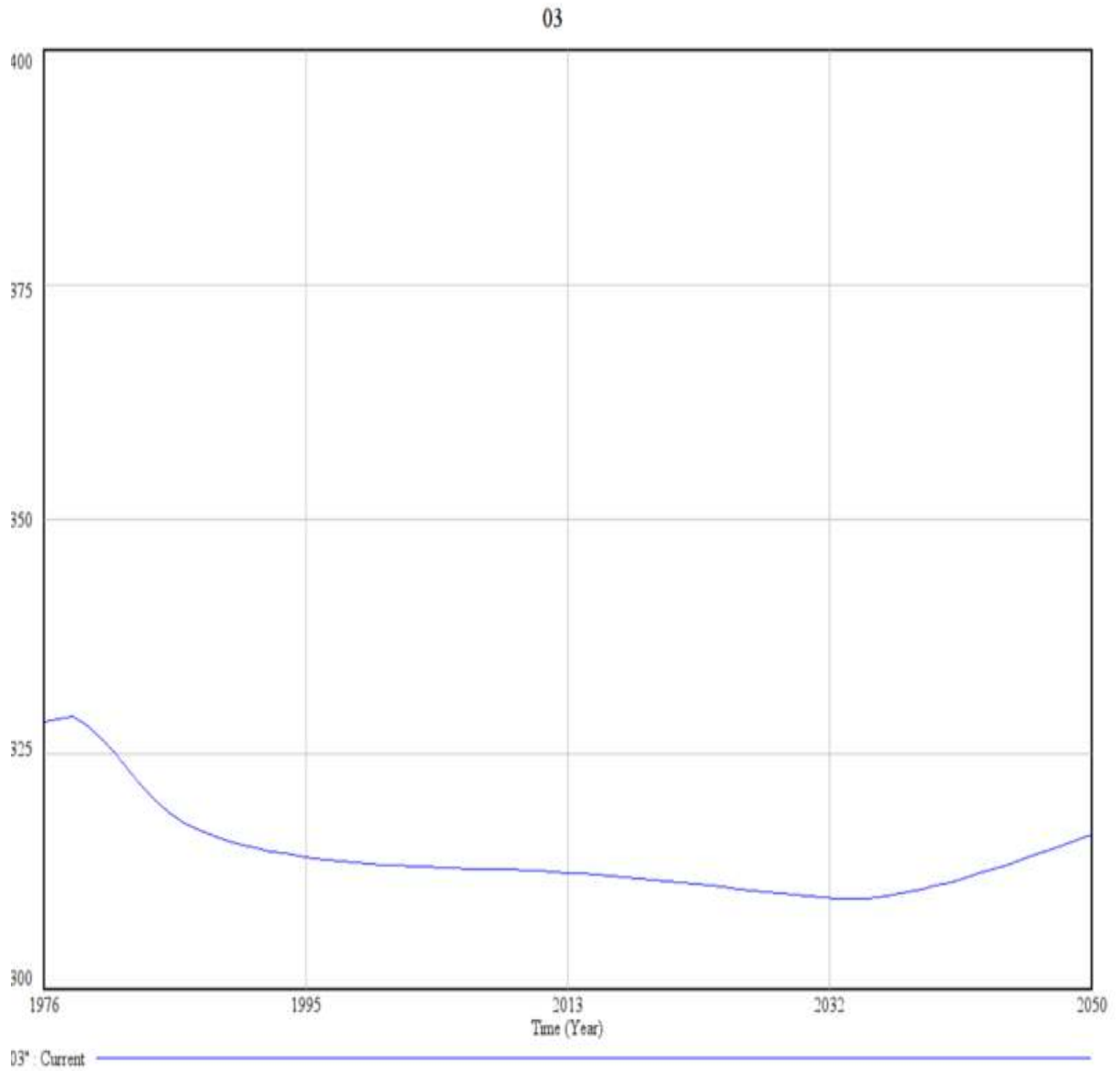


Figura 7-19: Simulación Ozono con Alta Exigencia de Confianza.

Criterios	Indicador	Evaluación
Recurso		
	¿Se alcanza un nivel de uso sostenible del recurso?	El mecanismo de cooperación por confianza no es efectivo por sí solo debido al tiempo de residencia de los CFCs (entre 75 y 135 años). Los individuos no pueden relacionar sus acciones cooperativas con el mejoramiento de la concentración de Ozono.
Cooperación		
	¿Es sostenible?	No.
	¿Tiende hacia un Pareto Superior?	No, se estabiliza. Incluir mecanismos como percepción de daño o cooperación como norma pueden mejorar el desempeño de la cooperación.
Aprendizaje		
	¿El mecanismo fomenta el aprendizaje de cooperación como norma?	No se incluyó dicho mecanismo.
Tentación Desertar		
	¿Controla la Tentación de Desertar?	Si.
Percepción de Daño		
	¿La percepción de daño produce cooperación?	No se incluyó dicho mecanismo.
Confianza		
	¿Se fomenta cooperación a pesar de las condiciones iniciales de la confianza de cooperación?	No, se requieren los mecanismos complementarios de percepción de daño y de cooperación como norma.
Complejidad dinámica		
	¿El mecanismo permite enfrentar la complejidad dinámica?	No.

Tabla 7-8: Evaluación Criterios de efectividad propuestos para evaluar mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala a la Crisis del Ozono.

7.5. Discusión

Este capítulo presentó la evaluación del constructo para evaluación de la efectividad de la cooperación en dos casos especiales de dilema social de recurso agotable de gran escala: un caso en cooperación en la generación de electricidad, un caso en congestión en Internet y un caso sobre la crisis del Ozono. Los casos fueron evaluados mediante mini-prototipos en donde se examinó las implicaciones dinámicas que el mecanismo de cooperación basado en confianza tendría en el sostenimiento de la cooperación a pesar de condiciones no propicias para la aparición de la confianza (Confianza inicial=0). Los resultados permiten mejorar la comprensión del constructo diseñado. Se ha confirmado la dependencia de la cooperación a las condiciones iniciales de la confianza, ilustrando como la estructura de la situación puede permitir el sostenimiento y la convergencia de la cooperación aún en ausencia de otros mecanismos de cooperación complementarios. A continuación se revisan los resultados que se han ofrecido en los capítulos anteriores, evaluando si se mantienen vigentes luego de las pruebas realizadas con los casos del presente capítulo.

- **El constructo de evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación diseñado integra mecanismos de cooperación considerados en la literatura.**

Los tres casos evaluados en el presente capítulo ilustran cómo es posible evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación mediante el constructo diseñado. Las pruebas realizadas muestran cómo los mecanismos de cooperación de percepción de daño y cooperación de largo plazo son importantes para la generación y sostenimiento de la cooperación para evitar las dificultades que supone la dependencia de la cooperación a las condiciones iniciales. El caso de congestión en Internet ilustra cómo a pesar de no contar con los mecanismos de percepción de daño y cooperación como norma, una condición de la situación, como el que luego de desertar se recupere el recurso usado, supone un caso especial para la cooperación basada en confianza. En esta situación, la desconfianza en la cooperación, que produce tentación de desertar, puede favorecer de manera indirecta la cooperación y generar la confianza necesaria para que se haga sostenible. Se mantiene vigente este resultado.

- **La realimentación es la microestructura de la cooperación, por lo que la cooperación es sensible al deterioro o mejoramiento de las condiciones de complejidad dinámica.**

Estos tres casos confirman que la realimentación sigue siendo central para la cooperación. Se ilustra cómo las características de dependencia a las condiciones iniciales de la confianza condicionan el desempeño de la cooperación. Se muestra cómo nuevos ciclos de realimentación permiten enfrentar dicha condición. Como consecuencia de esta condición, la cooperación está condicionada por la complejidad dinámica. Se mantiene vigente este resultado.

- **Las pruebas aplicadas no lograron refutar la hipótesis.**

A pesar del relajamiento de la hipótesis dinámica, ni ella ni la hipótesis general ha sido refutadas durante las pruebas de falsación realizadas y presentadas. La hipótesis general y dinámica siguen vigentes.

- **Los mecanismos de cooperación pueden enfrentar condiciones iniciales no propicias para la cooperación**

Se retiraron los dos mecanismos que permitieron enfrentar la dependencia a las condiciones iniciales en los casos de crisis de electricidad y crisis de CO_2 . Se ha ilustrado la importancia de dichos mecanismos en la aparición y sostenimiento de la cooperación cuando las condiciones iniciales de confianza no son favorables. No obstante se ha ilustrado como elementos particulares de cada situación de dilema social pueden terminar favoreciendo o desfavoreciendo la cooperación, como se ilustró en el caso de la congestión en Internet, cuando los individuos al desertar le aportan de manera indirecta al mejoramiento de la disponibilidad del recurso y a la promoción de la confianza de cooperación.

- **El constructo de evaluación diseñado permite evaluar la efectividad de los mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.**

El constructo de evaluación de la efectividad de mecanismos en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala ha sido aplicado en dos nuevas situaciones. En el primer caso se modeló el problema de la provisión de un recurso común, en el segundo y tercer caso nuevamente el problema de la apropiación. En todos los casos fue posible evaluar la efectividad del mecanismo de cooperación modelado así como los efectos que condiciones especiales de la situación pueden producir en la generación de confianza inicial de cooperación. Se mantiene vigente.

- **Se ha ilustrado una posibilidad novedosa de utilización de la Dinámica de Sistemas en la evaluación de mecanismos de cooperación.**

Los tres casos adicionales presentados en este capítulo ilustran las posibilidades de la Dinámica de Sistemas como metodología novedosa para evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.

En el siguiente capítulo se realizará una síntesis de los resultados obtenidos y se confrontarán con la literatura en el área de investigación. Luego se ofrecerán las conclusiones y las oportunidades de trabajo futuro.

8 Discusión Final, Trabajo Futuro y Conclusiones

Este capítulo sintetiza los aportes alcanzados por la investigación. Inicialmente se revisará el cumplimiento de los objetivos propuestos. Luego se presentará la discusión sobre la hipótesis general que orientó la investigación. A continuación se sintetiza el aporte logrado con la evaluación de la efectividad de mecanismos como método y los aportes obtenidos desde los resultados de las simulaciones. Al final se ofrece la conclusión general y se sugieren algunas posibilidades de trabajo futuro.

8.1. Cumplimiento de Objetivos

La Figura 8-1 de la página 240 presenta la revisión de cumplimiento de los objetivos de investigación planteados. Los objetivos comprometieron el diseño de un constructo de evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación aplicables en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. El constructo diseñado fue presentado en el Capítulo 4, Sección 4.6 de la página 80. Se comprometió realizar la evaluación de mecanismos de cooperación aplicables a casos seleccionados. Se abordó la evaluación de la efectividad de los mecanismos aplicados en las crisis de electricidad de Colombia 1992 y de California 2001. (Véase Capítulo 5, Sección 5.4 de la página 128). Se realizaron pruebas de simulación, pruebas estadísticas y pruebas de sensibilidad con el objeto de refutar el constructo y la hipótesis general de investigación. El constructo y la hipótesis de investigación se mantienen vigentes luego de las pruebas aplicadas.

Objetivo	Cumplimiento
Determinar las condiciones que debe cumplir el constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.	Cumplido: con base en la revisión de la Literatura realizada se determinaron las condiciones a cumplir por el constructo (Véase Capítulo 2 de la página 10 y Capítulo 3 de la página 30)
Diseñar el constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación aplicables en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala con fundamento en modelos.	Cumplido: se diseñó un constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos aplicables en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala (Véase Capítulo 4, Sección 4.6, página 80.)
Evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación aplicables a casos de dilema social de recurso agotable de gran escala mediante el constructo de evaluación de efectividad diseñado mediante modelos y simulación.	Cumplido: Se aplicó el constructo diseñado en la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en crisis de electricidad asumidas como dilemas sociales de recurso agotable de gran escala (Véase Capítulo 5, Sección 5.1.3, página 94 y Sección 5.2.3, página 115.). Adicionalmente se evaluó un caso en desarrollo (Véase Capítulo 6, Sección 6.7, página 190.) y dos casos teóricos de extensión y relajación de constructo (Véase Capítulo 7, Sección 7.2.6, página 210 y Sección 7.3.7, página 222.).
Evaluar el constructo de evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de gran escala diseñado como hipótesis dinámica mediante pruebas de simulación.	Cumplido: se aplicaron pruebas de simulación (Véase Capítulo 5, Sección 5.4, página 128, Capítulo 6, Sección 6.3.4, página 162, Capítulo 7, Sección 7.2.4, página 204 y Sección 7.3.5 de la página 222.), pruebas estadísticas (Véase Capítulo 5, Sección 5.1.3, página 108 y Sección 5.3, página 127, Capítulo 6, Sección 6.4, página 164) y pruebas de sensibilidad (Véase Capítulo 5, Sección 5.5, página 133, Capítulo 6, Sección 6.5, página 168 y Capítulo 7, Sección 7.2.5, página 210 y Sección 7.3.6, página 222.).
Proponer un constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala y evaluar la efectividad de un mecanismo de cooperación bajo condiciones diversas.	Cumplido: Se propuso el constructo (Capítulo 4 de la página 50), se aplicó en la evaluación de dos casos históricos (Capítulo 5 de la página 87), un caso en desarrollo (Capítulo 6 de la página 151) y dos casos teóricos de extensión y relajación (Capítulo 7 de la página 196).

Tabla 8-1: Revisión cumplimiento de los objetivos propuestos.

8.2. Discusión sobre la Hipótesis General

La hipótesis general que orientó la investigación fue la siguiente:

Es posible diseñar al menos un constructo o esquema que permita evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. .

Esta investigación ha presentado múltiples evaluaciones que pretendieron refutar esta hipótesis.

La hipótesis se mantiene vigente luego de las pruebas aplicadas. Es decir, hasta el momento esta vigente afirmar que es posible diseñar al menos un constructo o esquema para evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.

8.3. Aportes

La evaluación de efectividad de mecanismos de cooperación como el que propone Ostrom (2000a), en donde la cooperación depende de la comunicación cara a cara ha podido ser efectuada tanto en configuraciones de campo y experimentales (Ostrom et al., 1994) así como mediante un esquema de evaluación de la efectividad para dicho mecanismo de cooperación que aplica los lineamientos metodológicos de la Dinámica de Sistemas, como lo hacen Castillo & Saysel (2005) en el estudio de la efectividad de la cooperación basada en confianza y la comunicación cara a cara mediante modelamiento y simulación confrontando datos obtenidos de una configuración experimental con pescadores de la Isla de Providencia en Colombia. Este tipo de situaciones se pueden describir como dilemas sociales de recurso agotable de pequeña escala.

En los dilemas sociales de recurso agotable de gran escala no se contaba con un constructo para la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso. El mecanismo diseñado ofrece aportes novedosos no considerados de manera explícita por Ostrom (2000a) y Castillo & Saysel (2005). Se proponen dos mecanismos adicionales a la interpretación realizada del mecanismo de cooperación por confianza: el mecanismo de cooperación por percepción de daño y el mecanismo de cooperación como norma. Estos mecanismos, referidos por Schelling (1958) y Biel et al. (1999) respectivamente, juega un papel en el sostenimiento de la cooperación en los dilemas sociales de gran escala. Ellos permiten enfrentar la dependencia de la cooperación a las condiciones iniciales de la confianza, reportada por Castillo & Saysel (2005) y las escaladas de egoísmo (Ostrom, 2000a).

El constructo supone un aporte pues integra como unidad los mecanismos de cooperación por confianza, como norma y por percepción de daño. No se han encontrado referentes sobre una integración de esta naturaleza en la literatura revisada.

La perspectiva que ofrece esta investigación para la evaluación de las crisis de electricidad es novedosa. Si bien Markóczy (2003) y Goldman et al. (2002) argumentan que la crisis de electricidad de California 2001 se constituyó en un dilema social de gran escala que pudo ser superado gracias a Cooperación, el esquema de evaluación de la efectividad de mecanismos de

cooperación diseñado supone un aporte en la comprensión de la forma como los mecanismos de cooperación pueden permitir superar las crisis de electricidad. Un tratamiento de las crisis de electricidad que incluya la evaluación de diversos mecanismos de cooperación como el realizado en esta tesis no ha sido ubicado en la literatura revisada.

8.4. Discusión sobre el Método

Este trabajo propuso un uso novedoso de la Dinámica de Sistemas en la evaluación de mecanismos de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. Se ha ilustrado con los casos abordados cómo Dinámica de Sistemas puede ser utilizada para evaluar la efectividad de casos históricos de dilemas sociales de recurso de gran escala, como se hizo con la crisis de electricidad de Colombia 1992 y con la crisis de electricidad de California 2001. Se ilustró su uso en situaciones en progreso como la crisis por el incremento de la concentración de CO_2 en la atmósfera, así como en situaciones dos situaciones teórico-hipotéticas: la cooperación en la generación de electricidad por pequeños generadores de electricidad y la congestión en Internet. El método utilizado permitió evaluar tanto la efectividad de los mecanismos de evaluación utilizados en dichas situaciones como el constructo de evaluación. Este aporte tiene aplicación no sólo en la evaluación de la efectividad de mecanismos de cooperación, sino también en el diseño de las instituciones que buscan implementar o transformar la aplicación de tales mecanismos. No se ha ubicado un aporte similar en la literatura revisada.

8.5. Aportes

No se ha encontrado en la literatura una utilización de la Dinámica de Sistemas para diseñar un constructo para la evaluación de la cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. Si bien Castillo & Saysel (2005) utilizan Dinámica de Sistemas para evaluar la efectividad de la cooperación basada en cooperación, su evaluación se aplica a una situación de dilema social de recurso agotable de pequeña escala. Su evaluación sólo considera un mecanismo, mientras que el esquema ofrecido en esta Tesis incluye tres mecanismos de cooperación que permiten evaluar la efectividad de la cooperación. El esquema de evaluación de la efectividad de la cooperación da cuenta de la forma como es posible enfrentar la dependencia a las condiciones iniciales de la confianza (Castillo & Saysel, 2005), mediante los mecanismos de percepción de daño (Schelling, 1958) y cooperación como norma (Biel et al., 1999). No ha identificado un aporte similar a este en la literatura revisada.

8.6. Discusión sobre los Resultados de Simulación

Los hallazgos que supone esta tesis con relación a las simulaciones realizadas son los siguientes:

La realimentación es la micro-estructura fundamental de la cooperación. Esta Tesis confirma los resultados de Ostrom (2000a) y Castillo & Saysel (2005) sobre el rol de la realimentación en la cooperación. En todos los casos evaluados, la explicación de la dinámica de la cooperación supone un proceso basado en la realimentación. No obstante, en la literatura revisada no se hace énfasis en las implicaciones que para la cooperación tienen las condiciones que afectan la realimentación, como es el caso de la complejidad dinámica.

Las condiciones de los dilemas sociales de recurso agotable de gran escala suponen mayor influencia de la complejidad dinámica sobre la cooperación. Los retardos y la inercia tienen influencia en la toma de decisiones realimentadas como lo plantean Diehl & Sterman (1995). Si la cooperación depende de la realimentación de la información sobre el estado del recurso y las acciones del grupo sobre dicho recurso, y si las condiciones de los dilemas sociales de gran escala suponen un incremento de la complejidad dinámica, es de esperarse que la cooperación basada en realimentación en dilemas sociales de gran escala sea afectada por la complejidad dinámica. Las simulaciones y los análisis de sensibilidad realizados soportan esa proposición. Las pruebas y casos revisados permiten suponer que si los mecanismos consideran esquemas para enfrentar los efectos de la complejidad dinámica, mejorarán su efectividad en la promoción y sostenimiento de la cooperación. No se han encontrado referencias en la literatura revisada sobre este aporte.

Se abordaron casos en donde se probó la efectividad de la cooperación sin incluir la percepción de daño y la cooperación como norma. En función de la estructura particular de la situación modelada, será necesario incluir estos mecanismos para enfrentar la dependencia de la cooperación a las condiciones iniciales de la confianza y hacer sostenible la cooperación frente a escaladas de retaliación por desconfianza (Ostrom, 2000a) o de tentación de desertar (Ostrom et al., 1994; Ostrom, 2000a). En algunas situaciones específicas, que no pueden considerarse como la regla general, la situación podría suponer un mecanismo no intencionado que promueva la cooperación, como se ilustró en el caso de la congestión en Internet, cuando los individuos que abandonan el uso del recurso promueven confianza de cooperación sin proponérselo.

8.7. Aportes

Esta investigación confirma que la realimentación es la micro-estructura fundamental de la cooperación, en el mismo sentido que Ostrom (2000a) y Castillo & Saysel (2005). No obstante esta implicación, esta conclusión no es ofrecida explícitamente por ninguno de los autores mencionados o revisados.

Las condiciones de los dilemas sociales de recurso agotable de gran escala suponen mayor

influencia de la complejidad dinámica sobre la cooperación. Biel et al. (1999) reconocen un rol para la complejidad y Sterman & Sweeney (2002) suponen que la complejidad dinámica puede condicionar el reconocimiento de las soluciones fundamentales para reducir la concentración de CO_2 en la atmósfera. Este trabajo aporta en el entendimiento de la forma como los mecanismos de cooperación ganan o pierden efectividad al enfrentarse a diversos grados de complejidad dinámica.

Esta investigación aporta en el entendimiento de las estructuras que dan cuenta de la forma como los mecanismos de cooperación pueden superar la dependencia de la cooperación a las condiciones iniciales de la confianza. Si bien Ostrom (2000a) explica la cooperación basada en confianza en dilemas sociales de recurso agotable de pequeña escala, es novedosa la integración de los mecanismos de percepción de daño y cooperación como norma para evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación integrados como unidad para enfrentar dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.

8.8. Trabajo Futuro

La investigación deja abiertos varios caminos para el desarrollo de futuras investigaciones. A continuación se hace una síntesis de las oportunidades de trabajo futuro que abre esta tesis en cuanto al Desarrollo Teórico y Metodológico.

8.9. Oportunidades de Desarrollo Teórico.

La investigación ofrece variedad de oportunidades de desarrollo futuro. Se ofrecen, a manera de ilustración, algunas de dichas oportunidades:

- **Desarrollo de mecanismos difusión de la cooperación.** La investigación asumió como supuesto la representación promedio de las decisiones sobre la cooperación. Se vislumbra la posibilidad de desarrollar mecanismos explicativos a nivel micro que sean consistentes con el comportamiento macro que exhiben los individuos en este tipo de situaciones. Este tipo de investigaciones podrían realizarse utilizando de manera integrada Dinámica de Sistemas y Agentes Inteligentes.
- **Contribuir con nuevos desarrollos teóricos para la teoría de Cooperación en Dilemas Sociales de Recurso Agotable de Pequeña Escala.** Los tipos de cooperación identificados permitirían desarrollar nuevos mecanismos de cooperación aplicables a dilemas sociales de recurso de pequeña escala. De esta forma sería posible realizar aportes a la teoría de Cooperación de Pequeña Escala, que sería más general aún que la versión propuesta por Ostrom (2000a).
- **Desarrollo de un constructo de evaluación de mecanismos de cooperación en la provisión de bienes públicos de gran escala.** El estudio de la cooperación

en la provisión de bienes públicos ofrece posibilidades de aporte, en la medida que las instituciones basadas en cooperación pueden mejorar la provisión de este tipo de bienes económicos. Es posible diseñar un constructo para promover la cooperación en dilemas sociales de gran escala alrededor de bienes públicos. Este tipo de investigaciones sería de interés de organismos multilaterales que enfrentan dificultades a la hora de diseñar instituciones para la provisión de bienes públicos. Los estados, en sus niveles locales, municipales, estatales y nacionales podrían utilizar los resultados de tal investigación para mejorar la cooperación en la provisión de bienes públicos en general.

- **Modelar dilemas sociales de recurso agotable de gran escala asumiendo el constructo desarrollado en esta tesis mediante la integración entre Dinámica de Sistemas y el modelamiento basado en agentes metodología de agentes.** El constructo diseñado puede evaluarse mediante el modelamiento de casos de dilemas sociales en los que se asuma su representación integrando Dinámica de Sistemas y Agentes Inteligentes. Estas integraciones permitirían mejorar la comprensión sobre la propagación y sostenimiento de la cooperación desde el nivel micro hacia el macro.
- **Continuar con la investigación acerca de los efectos que tiene la complejidad dinámica sobre la cooperación.** Futuras investigaciones pueden evaluar como la complejidad dinámica puede ser mitigada mediante configuraciones institucionales mejoradas que ofrezcan mejores posibilidades a los grupos para superar situaciones de dilema social dinámicamente complejas. Dinámica de Sistemas tiene oportunidad de aporte en un área de investigación que abre esta investigación alrededor de los efectos de la complejidad dinámica sobre la acción colectiva.

8.10. Oportunidades de Desarrollo Metodológico.

- **Desarrollar criterios metodológicos para el diseño mecanismos de cooperación integrados que permitan enfrentar situaciones caracterizadas por la complejidad dinámica.** Los resultados de investigación permiten vislumbrar la factibilidad de desarrollar instituciones para el fomento de la cooperación que mejoren el desempeño de los grupos bajo condiciones de complejidad dinámica.
- **Elaborar lineamientos metodológicos para el diseño de constructos de evaluación de mecanismos con Dinámica de Sistemas.** Variedad de situaciones caracterizadas por su complejidad dinámica podrían ser explicadas mediante constructos de evaluación de mecanismos desarrollados con Dinámica de Sistemas. En futuros trabajos puede desarrollarse lineamientos metodológicos que asistan el diseño de constructos que permitan mejorar la efectividad de los mecanismos para lograr objetivos sociales deseados.

8.11. Limitaciones

Las limitaciones de esta investigación pueden considerarse en dos sentidos:

- Con respecto a la representación de la dispersión geográfica de los individuos alrededor de un dilema social.
- Con relación a la presentación de las características heterogéneas de los individuos que enfrentan el dilema social.

La Dinámica de Sistemas no permite la representación espacial o geográfica de agentes. Esta herramienta permite representación la variación en el tiempo de los estados de un sistema en función de las decisiones tomadas. No obstante esta limitación, este trabajo ha ilustrado como desde la perspectiva de la representación del cambio en el tiempo puede estudiarse la efectividad de mecanismos de cooperación aplicados y aplicables a dilemas sociales de gran escala. Sin embargo, esta tesis reconoce y deja abierta la posibilidad de utilizar Dinámica de Sistemas en combinación con herramientas que permitan representar la dispersión geográfica en dilemas sociales de gran escala.

Las características homogéneas son una condición que facilita la comunicación cara a cara en dilemas sociales de pequeña escala, lo que mejora a su vez las condiciones para que aparezca y se sostenga la cooperación basada en confianza en dichas situaciones (Ostrom, 2000a). La heterogeneidad de las características en los dilemas de gran escala no son condicionantes para promover la cooperación. La situación ofrece información sobre el estado del recurso y la variación de las acciones cooperativas de los individuos que alimentan a su vez el proceso de decisión sobre la cooperación. Gracias a la capacidad de la Dinámica de Sistemas para representar el comportamiento promedio en la toma de decisiones y a que la comunicación cara a cara no es requisito para la cooperación en dilemas de gran escala, fue posible modelar y explicar la efectividad de los mecanismos de cooperación en dilemas de gran escala con individuos en condiciones heterogéneas.

8.12. Conclusiones

Esta tesis presentó un constructo diseñado para evaluar la efectividad de mecanismos de cooperación aplicables en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. El constructo diseñado integró como unidad mecanismos de: cooperación por confianza, cooperación por percepción de daño y cooperación como norma. Se modelaron casos históricos, un caso en progreso y dos casos teórico-hipotéticos. Los resultados ilustran cómo los mecanismos de cooperación pueden ser efectivos para promover la cooperación en situaciones de dilemas social de recurso agotable de gran escala. Se ilustró cómo la efectividad de los mecanismos evaluados depende de su capacidad para enfrentar la complejidad dinámica y la inercia, ofreciendo a los individuos información sobre el estado del recurso y sobre los efectos de las

acciones del recurso sobre la disponibilidad del recurso que les permite decidir cooperar. Se describió cómo los mecanismos evaluados pueden enfrentar la dependencia a las condiciones iniciales de la confianza de cooperación y las escaladas de egoísmo. El trabajo realizado ilustra cómo Dinámica de Sistemas puede ser usada para evaluar mecanismos para el logro de objetivos sociales.

Bibliografía

- Abreu, D. (1988). On the theory of infinitely repeated games with discounting. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 56(2), 383–396.
- Ackermann, T., Andersson, G., & Soder, L. (2001). Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research*, 57(3), 195–204.
- Akimov, V. & Soutchanski, M. (1994). Automata simulation of n-person social dilemma games. *Journal of Conflict Resolution*, 38(1), 138–148.
- Alanne, K. & Saari, A. (2006). Distributed energy generation and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(6), 539–558.
- Alchian, A. & Demsetz, H. (1972). Production, information costs, and economic organization. *The American Economic Review*, 62(5), 777–795.
- Anderson, L. (1977). The economics of fisheries management.
- Andrade, H., Dyner, I., Espinosa, A., López, H., & Sotaquirá, R. (2001). Pensamiento Sistémico: Diversidad en búsqueda de unidad. *Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga*.
- Aquino, K., Steisel, V., & Kay, A. (1992). The effects of resource distribution, voice, and decision framing on the provision of public goods. *Journal of conflict resolution*, 36(4), 665–687.
- Aracil, J. (1986). *Máquinas, sistemas y modelos: Un ensayo sobre sistémica*, volume 282. Tecnos.
- Aracil, J. (1992). *Introducción a la dinámica de sistemas*. Alianza Editorial.
- Arrhenius, S. (1908). *Worlds in the Making*. Harpers, London.
- AUS Consultants (2001). Impact of a continuing electricity crisis on the california economy.
- Axelrod, R. (1997). *The complexity of cooperation: Agent-based models of competition and collaboration*. Princeton University Press.
- Axelrod, R. & Hamilton, W. (1981). The evolution of cooperation. *Science*, 211(4489), 1390.

- Barkow, J., Cosmides, L., & Tooby, J. (1992). *The adapted mind: Evolutionary psychology and the generation of culture*. Oxford University Press New York.
- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*, 12(3), 183–210.
- Baron-Cohen, S. (1997). *Mindblindness: An essay on autism and theory of mind*. The MIT Press.
- Barrett, S. (1999). International Cooperation and the Global Environment. *Global public goods*, 192.
- Bartholomew, E., Van Buskirk, R., & Marnay, C. (2002). Conservation in California during the summer of 2001.
- Bay Area Economic Forum (2001). The bay area. a knowledge economy needs power.
- Bell, J. & Senge, P. (1980). Methods for enhancing refutability in system dynamics modeling. *System Dynamics Review*, 14, 61–73.
- Biel, A., Von Borgstede, C., & Dahlstrand, U. (1999). Norm perception and cooperation in large scale social dilemmas. *Resolving social dilemmas: Dynamic, structural, and inter-group aspects*, 245–252.
- Bjorn, L. (1996). Effects of ozone depletion and increased uv-b on terrestrial ecosystems. *International journal of environmental studies*, 51(3), 217–243.
- Bodansky, D. (2001). The history of the global climate change regime. *International relations and global climate change*, 23–40.
- Boehm, B. (1981). *Software engineering economics*. Englewood Cliffs.
- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(Suppl 3), 7280.
- Bonacich, P., Shure, G., Kahan, J., & Meeker, R. (1976). Cooperation and group size in the n-person prisoners' dilemma. *Journal of Conflict Resolution*, 20(4), 687.
- Borenstein, S. (2002). The trouble with electricity markets: understanding California's restructuring disaster. *The Journal of Economic Perspectives*, 16(1), 191–211.
- Borenstein, S., Bushnell, J., Knittel, C., & on Workable Energy Regulation, P. (1999). Market power in electricity markets: Beyond concentration measures. *Energy Journal*, 20, 65–88.

- Borenstein, S., Bushnell, J., & Wolak, F. (2002). Measuring Market Inefficiencies in Californias Restructured Wholesale Electricity Market. *The American Economic Review*, 92(5), 1376–1405.
- Bousquet, F., Le Page, C., Bakam, I., & Takforyan, A. (2001). Multiagent simulations of hunting wild meat in a village in eastern Cameroon. *Ecological Modelling*, 138(1-3), 331–346.
- Boykoff, M. & Boykoff, J. (2004). Balance as bias: global warming and the US prestige press. *Global Environmental Change*, 14(2), 125–36.
- Buck, S. (1998). *The global commons: an introduction*. Island Press.
- Bunge, M. (2003). Emergencia y convergencia. Novedad cualitativa y unidad del conocimiento. *Barcelona: Gedisa*.
- Burks, A. (1970). *Essays on cellular automata*. University of Illinois Press.
- Caldeira, K. & Wickett, M. (2003). Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature*, 425(6956), 365.
- Caldwell, L. & Weiland, P. (1996). *International environmental policy: from the twentieth to the twenty-first century*. Duke University Press.
- California Department of Finance (2001). California employment data.
- California Electricity Commission (2001). Actual data january december 2001.
- California Energy Commission (2010). Numbers and statistics. electricity generation and production.
- Capoor, K. & Ambrosi, P. (2007). *State and trends of the carbon market, 2007*. World Bank Carbon Finance Unit.
- Cardenas, J. (2000). How do groups solve local commons dilemmas? Lessons from experimental economics in the field. *Environment, Development and Sustainability*, 2(3), 305–322.
- Cardenas, J. & Ostrom, E. (2004). What do people bring into the game? Experiments in the field about cooperation in the commons. *Agricultural Systems*, 82(3), 307–326.
- Castiglione, F. (2006). Agent based modeling. *Scholarpedia*, 1(10).
- Castillo, D. & Saysel, A. (2005). Simulation of common pool resource field experiments: a behavioral model of collective action. *Ecological Economics*, 55(3), 420–436.
- Cederman, L. (1997). *Emergent actors in world politics: how states and nations develop and dissolve*. Princeton University Press.

- Chrysostomou, C., Pitsillides, A., Rossides, L., Polycarpou, M., & Sekercioglu, A. (2003). Congestion control in differentiated services networks using Fuzzy-RED. *Control Engineering Practice*, 11(10), 1153–1170.
- Clark, A. & Karmiloff-Smith, A. (1993). The cognizers innards: A psychological and philosophical perspective on the development of thought. *Mind and Language*, 8(4), 487–519.
- Clark, C. (1976). Mathematical bioeconomics: the optimal management of renewable resources. *New York*, 129.
- Conte, R., Edmonds, B., Moss, S., & Sawyer, R. (2001). Sociology and social theory in agent based social simulation: A symposium. *Computational & Mathematical Organization Theory*, 7(3), 183–205.
- Conway, J. (1970). The game of life. *Scientific American*, 223, 120–123.
- Cook, K., Hardin, R., & Levi, M. (2007). *Cooperation without trust?* The University of North Carolina Press.
- Corte Constitucional Sentencia No. C-447/92 (1992). Sentencia no. c-447/92. sentencia de constitucionalidad decreto 680 de 1992.
- Cronin, M., Gonzalez, C., & Sterman, J. (2009). Why don't well-educated adults understand accumulation? a challenge to researchers, educators, and citizens. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 108(1), 116–130.
- Crowley, T. (2000). Causes of climate change over the past 1000 years. *Science*, 289(5477), 270.
- Crudeli, L. (2006). Social capital and economic opportunities. *Journal of Socio-Economics*, 35(5), 913–927.
- Dalmagro, F., Jiménez, J., Jiménez, R., & Lugo, H. (2006). Bounded-rational-prisoners' dilemma: On critical phenomena of cooperation. *Applied Mathematics and Computation*, 176(2), 462–469.
- Dane (2010). Estadísticas colombia.
- Dasgupta, P. & Heal, G. (1980). *Economic theory and exhaustible resources*. Cambridge University Press.
- Davis, D. & Holt, C. (1993). *Experimental economics*. Princeton University Press.
- Davis, M. (1997). *Game theory: a nontechnical introduction*. Dover Pubns.

- Davis, M. (2007). Distributed resource electric power systems offer significant advantages over central station generation and T & D power systems. II. In *Power Engineering Society Summer Meeting, 2002 IEEE*, volume 1, (pp. 62–69). IEEE.
- Dawes, R. (1980). Social Dilemmas. *Annual Review of Psychology*, 169–193.
- Dawes, R., McTavish, J., & Shaklee, H. (1977). Behavior, communication, and assumptions about other people's behavior in a commons dilemma situation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 35(1), 1.
- De Kwaadsteniet, E., van Dijk, E., Wit, A., & De Cremer, D. (2006). Social dilemmas as strong versus weak situations: Social value orientations and tacit coordination under resource size uncertainty. *Journal of Experimental Social Psychology*, 42(4), 509–516.
- Di Paolo, E., Noble, J., & Bullock, S. (2000). Simulation models as opaque thought experiments. In *Artificial Life VII: The Seventh International Conference on the Simulation and Synthesis of Living Systems*, (pp. 497–506). Citeseer.
- Diehl, E. & Sterman, J. (1995). Effects of feedback complexity on dynamic decision making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 62(2), 198–215.
- Dietz, T., Ostrom, E., & Stern, P. (2003). The struggle to govern the commons. *Science*, 302(5652), 1907.
- Donatos, G. & Mergos, G. (1991). Residential demand for electricity: the case of Greece. *Energy Economics*, 13(1), 41–47.
- Dufresne, J. (2006). Jean-Baptiste Joseph Fourier et la découverte de l'effet de serre. *La Météorologie*, 53, 42–46.
- Dyner, I. (2000). Energy modelling platforms for policy and strategy support. *Journal of the Operational Research Society*, 51(2), 136–144.
- Dyner, I. & Larsen, E. (2001). From planning to strategy in the electricity industry. *Energy policy*, 29(13), 1145–1154.
- Elster, J. (1996). *Tuercas y tornillos: una introducción a los conceptos básicos de las ciencias sociales*. Gedisa.
- Emerson, R. (1976). Social exchange theory. *Annual review of sociology*, 2, 335–362.
- Fehr, E. & Gächter, S. (1998). Reciprocity and economics: The economic implications of Homo Reciprocans. *European Economic Review*, 42(3-5), 845–859.
- Fleishman, J. (1988). The effects of decision framing and others' behavior on cooperation in a social dilemma. *Journal of Conflict Resolution*, 32(1), 162–180.

- Floyd, S. & Fall, K. (1999). Promoting the use of end-to-end congestion control in the Internet. *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, 7(4), 458–472.
- Ford, A. (2002). Boom and bust in power plant construction: lessons from the California electricity crisis. *Journal of Industry, Competition and Trade*, 2(1), 59–74.
- Ford, F. (1999). *Modeling the environment: an introduction to system dynamics models of environmental systems*. Island Press.
- Forrester, J. (1961). *Industrial Dynamics*. MIT press Cambridge, MA.
- Forrester, J. (1971). *World dynamics*. Wright-Allen Press Cambridge, MA.
- Forrester, J. (1992). Policies, decisions and information sources for modeling. *European Journal of Operational Research*, 59(1), 42–63.
- Forrester, J. & Collins, J. (1969). *Urban dynamics*. MIT Press Cambridge, MA.
- Forrester, J. & Senge, P. (1980). Tests for building confidence in system dynamics models. *TIMS Studies in the Management Sciences*, 14, 209–228.
- Fort, H. (2003). Exploring the cooperative regimes in an agent-based model: indirect reciprocity vs. selfish incentives. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 326(1-2), 286–298.
- Fu, F., Chen, X., Liu, L., & Wang, L. (2007). Social dilemmas in an online social network: the structure and evolution of cooperation. *Physics Letters A*, 371(1-2), 58–64.
- Fudenberg, D. & Maskin, E. (1986). The folk theorem in repeated games with discounting or with incomplete information. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 533–554.
- Gardner, R., Herr, A., Ostrom, E., & Walker, J. (2000). The power and limitations of proportional cutbacks in common-pool resources. *Journal of Development Economics*, 62(2), 515–533.
- Gevros, P., Crowcroft, J., Kirstein, P., & Bhatti, S. (2002). Congestion control mechanisms and the best effort service model. *Network, IEEE*, 15(3), 16–26.
- Gibbens, R. & Kelly, F. (1999). Resource pricing and the evolution of congestion control. *Automatica*, 35(12), 1969–1985.
- Gibbons, R. (1992). *A primer in game theory*. FT Prentice Hall.
- Gilbert, G. (2001). *Researching social life*. Sage Publications Ltd.

- Goldman, C., Barbose, G., & Eto, J. (2002). California customer load reductions during the electricity crisis: Did they help to keep the lights on? *Journal of Industry, Competition and Trade*, 2(1), 113–142.
- Goldspink, C. (2002). Methodological implications of complex systems approaches to sociality: Simulation as a foundation for knowledge. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 5(1), 1–19.
- Gordon, H. (1991). The economic theory of a common-property resource: the fishery. *Bulletin of Mathematical Biology*, 53(1), 231–252.
- Greco, G. & Floridi, L. (2004). The tragedy of the digital commons. *Ethics and Information Technology*, 6(2), 73–81.
- Green, R., of Cambridge. Dept. of Applied Economics, U., Institute, C.-M., of Technology. Center for Energy, M. I., & Research, E. P. (2004). *Electricity Transmission Pricing: How much does it cost to get it wrong?* Citeseer.
- Greene, W. & Zhang, C. (2003). *Econometric analysis*. prentice Hall.
- Grimes-Casey, H., Seager, T., Theis, T., & Powers, S. (2007). A game theory framework for cooperative management of refillable and disposable bottle lifecycles. *Journal of Cleaner Production*, 15(17), 1618–1627.
- Grossman, S. & Hart, O. (1980). Takeover bids, the free-rider problem, and the theory of the corporation. *The Bell Journal of Economics*, 42–64.
- Gujarati, D. & Porter, D. (1992). *Essentials of econometrics*. McGraw-Hill New York.
- Hansen, J., Johnson, D., Lacis, A., Lebedeff, S., Lee, P., Rind, D., & Russell, G. (1997). Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide. *The human impact reader: readings and case studies*, 230.
- Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. The population problem has no technical solution; it requires a fundamental extension in morality. *Science (New York, NY)*, 162(859), 1243.
- Hardin, G. (2009). The tragedy of the commons. *Journal of Natural Resources Policy Research*, 1(3), 243–253.
- Henrich, J. (2006). Cooperation, punishment, and the evolution of human institutions. *Science(Washington)*, 311(5769), 60–61.
- Henrich, J., Boyd, R., Bowles, S., Camerer, C., Fehr, E., Gintis, H., & McElreath, R. (2001). Cooperation, reciprocity and punishment in fifteen small-scale societies. *American Economic Review*, 91(2), 73–78.

- Hoffman, E., McCabe, K., & Smith, V. (1998). Behavioral foundations of reciprocity: experimental economics and evolutionary psychology. *Economic Inquiry*, 36(3), 335–352.
- Hogeweg, P. (1988). Cellular automata as a paradigm for ecological modeling. *Applied Mathematics and Computation*, 27(1), 81–100.
- Holmstrom, B. (1982). Moral hazard in teams. *The Bell Journal of Economics*, 324–340.
- Houghton, J. et al. (2001). *Climate change 2001: the scientific basis*. Cambridge University Press Cambridge.
- Houghton, J., Jenkins, G., & Ephraums, J. (1990). Climate change: the IPCC scientific assessment. *American Scientist;(United States)*, 80(6).
- Huberman, B. & Lukose, R. (1997). Social dilemmas and Internet congestion. *Science*, 277(5325), 535.
- Hutton, T., Griffiths, M., Sumaila, U., & Pitcher, T. (2001). Cooperative versus non-cooperative management of shared linefish stocks in South Africa: an assessment of alternative management strategies for geelbek (*Atractoscion aequidens*). *Fisheries Research*, 51(1), 53–68.
- IAC (2010). Mean total ozone measured at arosa-switzerland.
- Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC, . (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Ipcc, UN.
- Janssen, M. & Ostrom, E. (2006a). Empirically based, agent-based models. *Ecology and Society*, 11(2), 37.
- Janssen, M. & Ostrom, E. (2006b). Governing social-ecological systems. *Handbook of computational economics*, 2, 1465–1509.
- Johnson, P. (2002). Agent-based modeling. *Social science computer review*, 20(2), 174.
- Kagel, J., Roth, A., & Hey, J. (1995). *The handbook of experimental economics*. Princeton University Press Princeton, NJ.
- Kirk-Davidoff, D., Hintsä, E., Anderson, J., & Keith, D. (1999). The effect of climate change on ozone depletion through changes in stratospheric water vapour. *Nature*, 402(6760), 399–401.
- Kollock, P. (1998). Social dilemmas: The anatomy of cooperation. *Annual Review of Sociology*, 24(1), 183–214.
- Kuhn, S. (2007). Prisoner's dilemma. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*.

- Lane, D. (1999). Social theory and system dynamics practice. *European Journal of Operational Research*, 113(3), 501–527.
- Langton, C. et al. (1992). *Artificial life*. Citeseer.
- Liebrand, W., Messick, D., & Wilke, H. (1992). *Social dilemmas: Theoretical issues and research findings*. Routledge.
- Lloyd, W. (1833). *Managing the Commons*.
- Longstreth, J., Gruijl, F., & Kripke, M. (1995). Effects of increased solar ultraviolet radiation on human health. *Ambio*, 24(3), 153–65.
- Luce, R., Raiffa, H., & Teichmann, T. (1958). Games and decisions. *Physics Today*, 11, 33.
- Macal, C. & North, M. (2010). Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 4(3), 151–162.
- Mackay, A. (2008). Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Journal of Environmental Quality*, 37(6), 2407.
- Mann, M., Bradley, R., & Hughes, M. (1998). Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature*, 392(6678), 779–787.
- Markóczy, L. (2003). Trust but verify: Distinguishing distrust from vigilance. In *Presentado en la Academy of Management Conference en Seattle*.
- Markóczy, L. (2007). Utilitarians aren't always fair & the fair aren't always utilitarian: Distinct motives for cooperation. *Journal of Applied Social Psychology*, 37(9), 1931–1955.
- Martens, W., Niessen, L., Rotmans, J., Jetten, T., & McMichael, A. (1995). Potential impact of global climate change on malaria risk. *Environmental health perspectives*, 103(5), 458.
- McCarthy, N., Sadoulet, E., & De Janvry, A. (2001). Common Pool Resource Appropriation under Costly Cooperation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 42(3), 297–309.
- McGinnis, M. & Ostrom, E. (1992). Institutional analysis and global climate change: Design principles for robust international regimes. In *Global Climate Change: Social and Economic Research Issues; Proceedings of a Conference Held at Argonne National Laboratory*.
- McGinnis, M. & Ostrom, E. (2008). Will Lessons from Small-Scale Social Dilemmas Scale Up? *New issues and paradigms in research on social dilemmas*, 189–211.

- Molina, M. (1997). Polar ozone depletion. *Nobel lecture in chemistry: including presentation speeches and laureates biographies: 1991-95*, 7, 250.
- Montreal Protocol (1987). Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer.
- Morecroft, J. (1983). System dynamics: Portraying bounded rationality. *Omega*, 11(2), 131–142.
- Morecroft, J. (1985). Rationality in the analysis of behavioral simulation models. *Management Science*, 31(7), 900–916.
- Morecroft, J. (2007). *Strategic modelling and business dynamics: a feedback systems approach*. Wiley.
- Moxnes, E. (1998). Not only the tragedy of the commons: misperceptions of bioeconomics. *Management Science*, 44(9), 1234–1248.
- Moxnes, E. (2000). Not only the tragedy of the commons: misperceptions of feedback and policies for sustainable development. *System Dynamics Review*, 16(4), 325–348.
- Myerson, R. (1997). *Game theory: analysis of conflict*. Harvard University Press.
- Nemeth, C. (1972). A critical analysis of research utilizing the prisoner's dilemma paradigm for the study of bargaining. *Advances in experimental social psychology*, 6, 203–234.
- Newton, D. (1993). *Global Warming*. Abc-Clio.
- Nordhaus, W. & Yang, Z. (1996). A regional dynamic general-equilibrium model of alternative climate-change strategies. *The American Economic Review*, 86(4), 741–765.
- North American Electric Reliability Council (2001). 2001 summer special assessment.
- Norton, G. (1984). *Resource economics*. Edward Arnold.
- Office of Economic Research (2002). *Latest CA GSP and World Ranking*. Office of Economic Research: California Technology, Trade, and Commerce Agency.
- Olson, M. (1971). *The logic of collective action: Public goods and the theory of groups*. Harvard University Press.
- Ophuls, W. (1977). *Ecology and the Politics of Scarcity*. Freeman New York.
- Osborne, M. & Rubinstein, A. (1994). *A course in game theory*. The MIT press.
- Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press.

- Ostrom, E. (2000a). A behavioral approach to the rational choice theory of collective action. In *Polycentric games and institutions: readings from the Workshop in Political Theory and Policy Analysis*, (pp. 472). University of Michigan Press.
- Ostrom, E. (2000b). Collective action and the evolution of social norms. *The Journal of Economic Perspectives*, 14(3), 137–158.
- Ostrom, E. (2001). Social dilemmas and human behaviour. *Economics in Nature. Social Dilemmas, Mate Choice and Biological Markets*, 23–41.
- Ostrom, E. (2005). *Understanding institutional diversity*. Princeton University Press.
- Ostrom, E. (2010). A polycentric approach for coping with climate change. *WDR2010 Core Team, Development and Economics Research Group, World Bank*.
- Ostrom, E., Burger, J., Field, C., Norgaard, R., & Policansky, D. (1999). Revisiting the commons: local lessons, global challenges. *Science*, 284(5412), 278.
- Ostrom, E., Dietz, T., Dolsak, N., Stern, P., Stonich, S., et al. (2002). *The drama of the commons*. National Research Council.
- Ostrom, E., Gardner, R., & Walker, J. (1994). *Rules, games, and common-pool resources*. University of Michigan Press.
- Ostrom, E. & Walker, J. (1992). Social capital and cooperation: Communication, bounded rationality, and behavioral heuristics. *Social Capital*, 9, 92–131.
- Ostrom, E. & Walker, J. (2005). *Trust and reciprocity: Interdisciplinary lessons from experimental research*. Russell Sage Foundation Publications.
- Ostrom, V. & Ostrom, E. (1977). Public goods and public choices. Indiana University, Workshop in Political Theory and Policy Analysis.
- Oxendine, A., Borgida, E., Sullivan, J., & Jackson, M. (2003). The importance of trust and community in developing and maintaining a community electronic network. *International Journal of Human-Computer Studies*, 58(6), 671–696.
- Parra, J. (2010). *Mecanismo de Cooperación en Dilemas Sociales de Recurso Agotable de Gran Escala*. PhD thesis, Universidad Nacional de Colombia. Doctorado en Ingeniería Área Sistemas.
- Parra, J. & Dyner, I. (2007). Cooperación mediante castigo en recursos comunes: un mecanismo explicativo dinámico. *Revista de Dinámica de Sistemas*, 3(2), 61–84.
- Parra, J. & Dyner, I. (2008). Cooperación, expectativa y racionamiento en dilemas sociales de recurso de gran escala. *Revista de Dinámica de Sistemas*, 4(2), 34–53.

- Parra, J. & Dyner, I. (2010a). Cooperation mechanism for large-scale social dilemmas involving resource depletion. In *Proceedings International System Dynamics Conference*, (pp.72). System Dynamics Society.
- Parra, J. & Dyner, I. (2010b). Mecanismo para la cooperación en crisis de electricidad y otros dilemas sociales de recurso de gran escala. *Revista UIS Ingenierías*, 8(2), 105–112.
- Parra, J. & Dyner, I. (2010c). Mecanismo para la cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. *Revista Avances en Sistemas e Informática*, 7(3), 143–152.
- Platt, J. (1973). Social traps. *American Psychologist*, 28(8), 641–51.
- Plous, S. (1987). Perceptual illusions and military realities: Results from a computer-simulated arms race. *Journal of Conflict Resolution*, 31(1), 5–33.
- Popper, K. (2002). *Conjectures and refutations: The growth of scientific knowledge*. Psychology Press.
- Presidencia de la República de Colombia (1992). Informe del gobierno a la corte constitucional.
- Protocol, K. (1997). United Nations framework convention on climate change. *Kyoto Protocol, Kyoto*.
- Rahmstorf, S. (2002). Ocean circulation and climate during the past 120,000 years. *Nature*, 419(6903), 207–214.
- Randers, J. (2000). From limits to growth to sustainable development or SD (sustainable development) in a SD (system dynamics) perspective. *System Dynamics Review*, 16(3), 213–224.
- Rapoport, A. & Chammah, A. (1965). *Prisoner's dilemma*. University of Michigan Press.
- Rasmusen, E. (2007). *Games and information: An introduction to game theory*. Wiley-Blackwell.
- Raymond, L. (2006). Cooperation without trust: Overcoming collective action barriers to endangered species protection. *Policy Studies Journal*, 34(1), 37–57.
- Reilly, J. & Schimmelpfennig, D. (2000). Irreversibility, uncertainty, and learning: portraits of adaptation to long-term climate change. *Climatic Change*, 45(1), 253–278.
- ReVelle, P. & ReVelle, C. (1992). *The global environment: securing a sustainable future*. Jones & Bartlett Publisher.

- Reynolds, C. (1999). Steering behaviors for autonomous characters. In *Game Developers Conference*. <http://www.red3d.com/cwr/steer/gdc99>. Citeseer.
- Rosenzweig, C. & Parry, M. (1994). Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*, 367(6459), 133–138.
- Rowland, F. (1990). Stratospheric ozone depletion by chlorofluorocarbons. *Ambio*, 19(6/7), 281–292.
- Rowlands, I. (1995). *The politics of global atmospheric change*. Manchester Univ Pr.
- Samuelson, P. (1954). The pure theory of public expenditure. *The review of economics and statistics*, 36(4), 387–389.
- Satoh, K. (1990). Single and multiarmed spiral patterns in a cellular automaton model for an ecosystem. *Journal of the Physical Society of Japan*, 59(12), 4204–4207.
- Sawyer, R. (2005). *Social emergence: Societies as complex systems*. Cambridge University Press.
- Schelling, T. (1958). The strategy of conflict. Prospectus for a reorientation of game theory. *Journal of Conflict Resolution*, 2(3), 203.
- Schlager, E. (2002). Rationality, cooperation, and common pool resources. *American Behavioral Scientist*, 45(5), 801.
- Schneider, S. (2004). Abrupt non-linear climate change, irreversibility and surprise. *Global Environmental Change Part A*, 14(3), 245–258.
- Scott, A. (1955). The fishery: the objectives of sole ownership. *The Journal of Political Economy*, 63(2), 116–124.
- Shine, K. (2000). Radiative forcing of climate change. *Space Science Reviews*, 94(1), 363–373.
- Shukla, J., Nobre, C., & Sellers, P. (1990). Amazon deforestation and climate change. *Science*, 247(4948), 1322.
- Silvertown, J., Holtier, S., Johnson, J., & Dale, P. (1992). Cellular Automaton Models of Interspecific Competition for Space—The Effect of Pattern on Process. *Journal of Ecology*, 80(3), 527–533.
- Simon, H. (1955). A behavioral model of rational choice. *The quarterly Journal of Economics*, 69(1), 99–118.
- Simon, H. (1959). Theories of decision-making in economics and behavioral science. *The American Economic Review*, 49(3), 253–283.

- Simon, H. (1979). Rational decision making in business organizations. *The American Economic Review*, 69(4), 493–513.
- Smith, A. (1966). *The wealth of nations*. Hayes Barton Press.
- Smith, R. (1981). Resolving the tragedy of the commons by creating private property rights in wildlife. *Cato Journal*, 1(2), 439–468.
- Smith, V. (1976). Experimental economics: Induced value theory. *The American Economic Review*, 66(2), 274–279.
- Smith, V. (1989). Theory, experiment and economics. *The Journal of Economic Perspectives*, 3(1), 151–169.
- Smith, V. (1991). Rational choice: The contrast between economics and psychology. *Journal of Political Economy*, 99(4), 877–897.
- Smith, V. (2002). Method in experiment: rhetoric and reality. *Experimental Economics*, 5(2), 91–110.
- Solomon, S., Garcia, R., Rowland, F., & Wuebbles, D. (1986). On the depletion of antarctic ozone.
- Solomon, S., Plattner, G., Knutti, R., & Friedlingstein, P. (2009). Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(6), 1704.
- Soroos, M. (1991). The Atmosphere as an International Common Property Resource. *Global policy studies: international interaction toward improving public policy*, 188.
- Spanos, A. (1986). *Statistical foundations of econometric modelling*. Cambridge University Press.
- Srblijinovic, A. & Skunca, O. (2004). An introduction to agent based modelling and simulation of social processes. *Arxiv preprint cond-mat/0409312*.
- Stave, K. (2002). Using system dynamics to improve public participation in environmental decisions. *System Dynamics Review*, 18(2), 139–167.
- Steins, N. & Edwards, V. (1999). Platforms for collective action in multiple-use common-pool resources. *Agriculture and human values*, 16(3), 241–255.
- Sterman, J. (1984). Appropriate summary statistics for evaluating the historical fit of system dynamics models. *Dynamica*, 10(2), 51–66.

- Sterman, J. (1987). Testing behavioral simulation models by direct experiment. *Management Science*, 1572–1592.
- Sterman, J. (1989). Misperceptions of feedback in dynamic decision making. *Organizational behavior and Human Decision Processes*, 43(3), 301–335.
- Sterman, J. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world with CD-ROM*. Irwin/McGraw-Hill.
- Sterman, J. (2002). All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist. *System Dynamics Review*, 18(4), 501–531.
- Sterman, J., Henderson, R., Beinholcker, E., & Newman, L. (2007). Getting big too fast: Strategic dynamics with increasing returns and bounded rationality. *Management Science*, 53(4), 683.
- Sterman, J. & Sweeney, L. (2002). Cloudy skies: assessing public understanding of global warming. *System Dynamics Review*, 18(2), 207–240.
- Stern, P. & Kirkpatrick, E. (1977). Energy behavior. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 19(9), 10–15.
- Swaney, J. (1985). Economics, ecology, and entropy. *Journal of Economic Issues*, 19(4), 853–865.
- Sweeney, L. & Sterman, J. (2000). Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory. *System Dynamics Review*, 16(4), 249–286.
- Sweeney, L. & Sterman, J. (2007). Thinking about systems: student and teacher conceptions of natural and social systems. *System Dynamics Review*, 23(2-3), 285–311.
- System Dynamics Society (2010). System dynamics society.
- Tang, S. (1994). Institutions and performance in irrigation systems. *Rules, Games, and Common-pool Resources*, 225–246.
- Tans, P. (2010). *Data carbon dioxide measured at Manua Loa Observatory, Hawaii*. Earth System Research Laboratory www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/.
- Tevini, M. & Teramura, A. (1989). Uv-b effects on terrestrial plants. *Photochemistry and Photobiology*, 50(4), 479–487.
- Thomas, C., Cameron, A., Green, R., Bakkenes, M., Beaumont, L., Collingham, Y., Erasmus, B., De Siqueira, M., Grainger, A., Hannah, L., et al. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427(6970), 145–148.

- Ulam, S. (1962). On some mathematical problems connected with patterns of growth of figures. In *Proceedings of Symposia in Applied Mathematics*, volume 14, (pp. 215–224).
- UPME (2010). Sistema de información minero energética.
- U.S. Census Bureau (2010). Us census and population data. online.
- Van Lange, P. (1992). *Social Dilemmas: theoretical issues and research findings*, chapter Rationality and morality in social dilemmas: The influence of social value orientations. Routledge.
- Van Vugt, M. (1998). The conflicts in modern society. *The Psychologist*, 11, 289–92.
- Van Vugt, M. (2002). Central, individual, or collective control? Social dilemma strategies for natural resource management. *American Behavioral Scientist*, 45(5), 783–800.
- Von Neumann, J. & Burks, A. (1966). *Theory of self-reproducing automata*. University of Illinois Press Urbana, Illinois.
- Von Neumann, J. & Morgenstern, O. (1947). *Theory of games and economic behavior*. Princeton University Press Princeton.
- Von Neumann, J., Morgenstern, O., Kuhn, H., & Rubinstein, A. (1953). *Theory of games and economic behavior*. Princeton university press Princeton, NJ.
- Walker, J. & Ostrom, E. (2007). Trust and reciprocity as foundations for cooperation: Individuals, institutions, and context. In *Capstone Meeting of the RSF Trust Initiative at the Russell Sage Foundation, May*.
- Wara, M. (2007). Is the global carbon market working? *Nature*, 445(7128), 595–596.
- Whalley, J. & Wigle, R. (1991). The international incidence of carbon taxes. *Global Warming: Economic Policy Responses*, 233–263.
- Williamson, O. (1983). Credible commitments: Using hostages to support exchange. *The American Economic Review*, 73(4), 519–540.
- Wilson, J., Acheson, J., Metcalfe, M., & Kleban, P. (1994). Chaos, complexity and community management of fisheries. *Marine Policy*, 18(4), 291–305.
- Wolfram, S. (1984). Universality and complexity in cellular automata. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 10(1-2), 1–35.
- Wolfram, S. (2005). Cellular automata. *Modeling Chemical Systems Using Cellular Automata*, 9–38.

- Wolstenholme, E. (2003). The use of system dynamics as a tool for intermediate level technology evaluation: three case studies. *Journal of Engineering and Technology Management*, 20(3), 193–204.
- Wootters, W. & Langton, C. (1990). Is there a sharp phase transition for deterministic cellular automata? *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 45(1-3), 95–104.
- Yamagishi, T. (1988). Seriousness of social dilemmas and the provision of a sanctioning system. *Social Psychology Quarterly*, 51(1), 32–42.