

EFECTIVIDAD DE LA COOPERACION BASADA EN CONFIANZA COMO RESPUESTA A LA CRISIS DEL OZONO: UN ENFOQUE DE SIMULACIÓN DINÁMICO SISTÉMICO

Jorge Andrick Parra Valencia¹

¹Doctor en Ingeniería Área Sistemas, Profesor Facultad de Ingeniería de Sistemas, Investigador Asociado Grupo de Pensamiento Sistémico. Universidad Autónoma de Bucaramanga, Avenida 42 No. 48-11, Bucaramanga, Colombia. jparra@unab.edu.co.

RESUMEN

Este artículo evalúa las posibilidades y limitaciones de un mecanismo de cooperación basado en confianza para enfrentar la crisis del ozono estratosférico ocasionada por el agotamiento generado por la presencia de clorofluorocarbonados (CFC) en la atmósfera. La evaluación se realizó aplicando criterios metodológicos de la Dinámica de Sistemas y asumiendo la crisis del ozono como un dilema social de recurso agotable de gran escala. Las simulaciones y el análisis de sensibilidad aplicado permiten concluir que un mecanismo de cooperación basado en confianza no es suficiente por sí solo para promover la cooperación en dilemas sociales como la crisis del ozono, debido a la magnitud del retardo entre la acción cooperativa y la percepción de su efecto.

Palabras clave: Cooperación, confianza, ozono, dilema social.

Recibido: 24 de mayo de 2013.

Aceptado: 30 de Junio de 2013.

Received: May 24th, 2013.

Accepted: June 30th, 2013.

EFFECTIVENESS OF COOPERATION BASED ON TRUST FOR SOLVING THE OZONE DEPLETION CRISIS: A SYSTEM DYNAMICS SIMULATION APPROACH

ABSTRACT

The Ozone depletion crisis, caused by chlorofluorocarbons (CFC) is not yet solved. This paper states the possibilities and limitations of a cooperation mechanism based on trust for solving the Ozone depletion crisis. An evaluation was performed applying the methodological guidelines of System Dynamics and using the approach of social dilemmas for the Ozone depletion crisis. Based on simulations and the sensitivity analysis, the paper concludes that the mechanism of cooperation based on trust is not enough by itself for promoting effective cooperation due to the delay between the cooperative action and the effect of that action.

Keywords: Cooperation, trust, ozone depletion, social dilemma.

1. INTRODUCCIÓN

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 [1]. Los científicos suponen que esta capa es frágil y que se ha incrementado su fragilidad como consecuencia de actividades humanas [2]. La literatura científica reporta la relación existente entre los clorofluorocarbonados (CFC) de origen antropogénico tales como CCl_2F_2 y CCl_3F y el agotamiento de la capa de ozono en la alta atmósfera [2, 3].

Los CFC son inertes en la atmósfera baja y pueden sobrevivir por cientos de años o más sin entrar en reacción química [2]. Estos componentes son usados en la fabricación de refrigerantes, solventes y aerosoles [4]. El proceso más importante de destrucción de los CFC se produce por la fotólisis ultravioleta que ocurre en la estratósfera, con la liberación de un átomo de cloro. El átomo de cloro ataca el ozono con la formación del radical libre ClO que reacciona así para regenerar cloro atómico. Esta reacción en cadena puede causar la eliminación de 100000 moléculas de ozono por cada átomo de cloro, esto sumado a la emisión a la atmósfera de cerca de un millón de toneladas al año de CFC, produce un agotamiento significativo a escala global de la capa de ozono [2]. 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 [5]. La reducción en la concentración del ozono en la atmósfera produce efectos en la temperatura [6], en la vida humana [7], animal [4] y vegetal [8] 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 CFC, que ha impulsado la eliminación de la fabricación de compuestos basados en CFC [9].

En este contexto, este artículo evalúa si un mecanismo de cooperación basado en confianza sería efectivo en la promoción que la cooperación que sostenga por décadas la reducción en las emisiones de CFC. Para situar este estudio, se presentan conceptos sobre dilemas sociales, la forma como son enfrentados estos dilemas desde la teoría cooperativa para los dilemas sociales de pequeña escala y su aplicabilidad en la solución de dilemas de gran escala.

1.1 Dilemas Sociales

La crisis del agotamiento del ozono puede ser asumida como un dilema social [10,12]. 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 [13]. La solución que un grupo pueda diseñar para salir por sí mismo de un dilema social implica definir un esquema para que el grupo gane la confianza necesaria para decidir cooperar [14]. Los dilemas sociales, entendidos como el conflicto entre una racionalidad basada en los supuestos del modelo de elección racional y el bienestar general, ofrecen variedad de situaciones en las que los recursos comunes pueden sufrir congestión, contaminación y sobre explotación y los bienes públicos pudieran no recibir la provisión suficiente [15].

Las investigaciones sobre cómo las instituciones favorecen o desfavorecen la cooperación han recibido un impulso notable en los últimos años [16] debido a la importancia que tiene para los grupos humanos la cooperación en la solución de los conflictos entre la racionalidad individual y el bienestar colectivo [13] y por las implicaciones prácticas que dicho conocimiento tiene en la solución de crisis ambientales, energéticas y sociales. La teoría no cooperativa de dilemas sociales supone que la cooperación no aparece entre individuos egoístas maximizadores de su utilidad individual [17,20]. Si los individuos persiguen su interés particular en este tipo de situaciones de interdependencia, reducirán la utilidad obtenida y producirán un deterioro del bienestar general [21]. Más recientemente, se ha sugerido, desde la teoría de cooperación de dilemas sociales de pequeña escala, que los individuos pueden cooperar siempre que tengan la posibilidad de comunicarse frente a frente [15]. Los individuos pueden alcanzar la mejor utilidad para ellos y para el grupo siempre que puedan cooperar y superar así el dilema social [15]. A continuación se presenta la investigación precedente en la solución de dilemas sociales mediante cooperación teniendo en cuenta el número de individuos participantes de la situación.

1.2 Teoría Cooperativa para Dilemas Sociales de Pequeña Escala

En el ámbito de la teoría cooperativa para dilemas de recurso de baja escala, la cooperación puede aparecer si en la situación se presentan algunas condiciones específicas [14]. 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 [15]. Sin embargo, si la situación permite múltiples encuentros y existe la posibilidad de la comunicación, la cooperación aparece [15].

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 [14]. Esta concepción de cooperación se soporta en la posibilidad de construir reputación alrededor de la historia de cooperación en múltiples encuentros alrededor del recurso común, lo que permite sostener la confianza en el cumplimiento de acuerdos de intercambio que permite lograr beneficios de largo plazo [14, 15]. 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 [15]. La reciprocidad implica la aplicación de castigos a quienes no cooperen [14].

La cooperación basada en confianza ha sido evaluada en situaciones de dilema social de pequeña escala caracterizadas por la posibilidad de comunicación cara a cara, la participación de no más de 10 individuos con características homogéneas en una situación que provee realimentación sobre el estado del recurso y los efectos de la acción del grupo sobre el recurso [21]. La crisis del ozono supone unas características diferentes a los dilemas de pequeña escala. La extensión de lo aprendido en los dilemas de pequeña escala a los de gran escala es aún problemática [22, 23].

1.3 Dilemas Sociales de Gran Escala

Este tipo de situaciones presenta un conjunto de características que están lejos de ser cubiertas por las condiciones de la teoría cooperativa de dilemas sociales de recurso de pequeña escala [24]. Los dilemas sociales de gran escala se definen por la

interacción de un gran número de personas, que poseen características diferentes. No se puede asumir la posibilidad de comunicación cara a cara, aunque es posible que la situación ofrezca otras formas de comunicación. La realimentación aparece de forma distorsionada y retardada [25].

1.4 Una Versión Dinámica del Mecanismo de Cooperación basado en Confianza.

Este trabajo asume una versión dinámica del mecanismo de cooperación basado en confianza [25]. Esta versión supone a la confianza como variable que permite que los grupos generen la cooperación necesaria para enfrentar el dilema social [26]. Se sugiere que este ciclo fundamental de realimentación es común a la cooperación por confianza que aparece en dilemas sociales de pequeña y gran escala [27].

La Fig. 1 representa la versión dinámica de un mecanismo de cooperación basado en confianza. La confianza promueve las acciones cooperativas, lo que mejora el estado del recurso común. La percepción de mejoramiento del recurso permite sostener la confianza para promover nueva cooperación. No obstante, este ciclo de refuerzo presenta dependencia a las condiciones iniciales [28], por lo que el comportamiento en sentido contrario es posible para ciertos valores iniciales de la confianza. Si sus valores iniciales no son suficientes, no se generará confianza de cooperación, lo que deteriorará el recurso [29]. Esto a su vez deteriorará la confianza, lo que reducirá la capacidad del grupo para elegir acciones cooperativas.

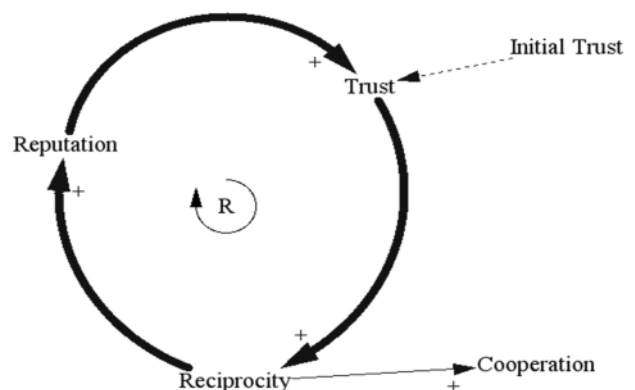


Fig. 1. Versión Dinámica de un Mecanismo de Cooperación basado en Confianza para Dilemas Sociales de Gran Escala.

1.5 GAP: Posibilidades y Limitaciones del Mecanismo de Cooperación basado en Confianza en la Crisis del Ozono.

Este artículo propone evaluar las posibilidades y limitaciones del mecanismo de cooperación basado en confianza para enfrentar la crisis del ozono. Esta evaluación se llevará a cabo adaptando lineamientos metodológicos de la Dinámica de Sistemas. La literatura señala un debate alrededor de si puede [22] o no puede extenderse el mecanismo de cooperación basado en confianza de los dilemas de pequeña escala a los de gran escala [23]. En este artículo se ilustran las posibilidades y limitaciones de dicho mecanismo en un dilema de gran escala como la crisis de agotamiento de la capa de ozono mediante el modelamiento del agotamiento del ozono y el efecto que el mecanismo de cooperación basado en confianza tendría sobre la concentración de ozono en la estratósfera. Luego de la revisión de la literatura realizada, no se han encontrado referentes que ofrezcan algún tipo de evaluación de la efectividad de la cooperación en la crisis del ozono asumida como un dilema social.

2. MÉTODO

Los pasos aplicados para la evaluación del mecanismo de cooperación a la crisis del ozono fueron los siguientes:

Se articuló el problema como un Dilema Social [30]. Esto supuso representar el dilema social como una dinámica de conflicto entre la racionalidad individual y el bienestar colectivo. La racionalidad individual se supuso como la acción de emitir CCL_2F_2 . Se asumió que las acciones cooperativas reducen las emisiones de CCL_2F_2 .

Se desarrolló una hipótesis dinámica que ofrece una explicación sobre la forma como se produce el problema [31]. Dicha explicación se constituyó en una teoría de trabajo que ofreció una explicación basada en la literatura sobre la forma como el ozono es agotado por los CFC. Sobre este mecanismo de agotamiento se representó el mecanismo de cooperación basado en confianza.

Se construyó un modelo de simulación por computador [28]. Se elaboró un modelo de simulación en Dinámica de Sistemas que representa las características fundamentales de la

situación de dilema social y del mecanismo diseñado como intervención para superar el dilema social.

Se evaluaron las implicaciones dinámicas del mecanismo en el dilema modelado mediante la simulación del modelo desarrollado [32]. Se realizaron experimentos de simulación para evaluar la capacidad del mecanismo de cooperación basado en confianza para enfrentar el agotamiento de la capa de ozono.

Se llevó a cabo análisis de sensibilidad. En cada análisis se realizaron 200 simulaciones con el parámetro seleccionado dentro del rango establecido generando valores mediante una distribución uniforme [33]. De esta forma se establece los espacios de probabilidad del comportamiento del modelo para el parámetro evaluado.

Estos pasos se desarrollaron como adaptación de los lineamientos metodológicos de la Dinámica de Sistemas [28, 31] a la evaluación de mecanismos para enfrentar dilemas sociales [34].

3. RESULTADOS

3.1 Modelo Inicial para el Agotamiento del ozono

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 [35]. Para las simulaciones se adoptó 75 años como vida media para el CFC-11. La Fig. 2 presenta el modelo inicial desarrollado para presentar la dinámica promedio del ozono y del CFC-11.

El modelo se compone de las siguientes ecuaciones diferenciales que representan la variación del Ozono y la variación de los CFC:

$$\frac{dO_3}{dt} = \text{generacion}O_3 - \text{reduccion}O_3$$

$$\frac{dcfc11\text{endogeno}}{dt} = \text{emisiones}cfc11 - \text{degradacion}cfc11$$

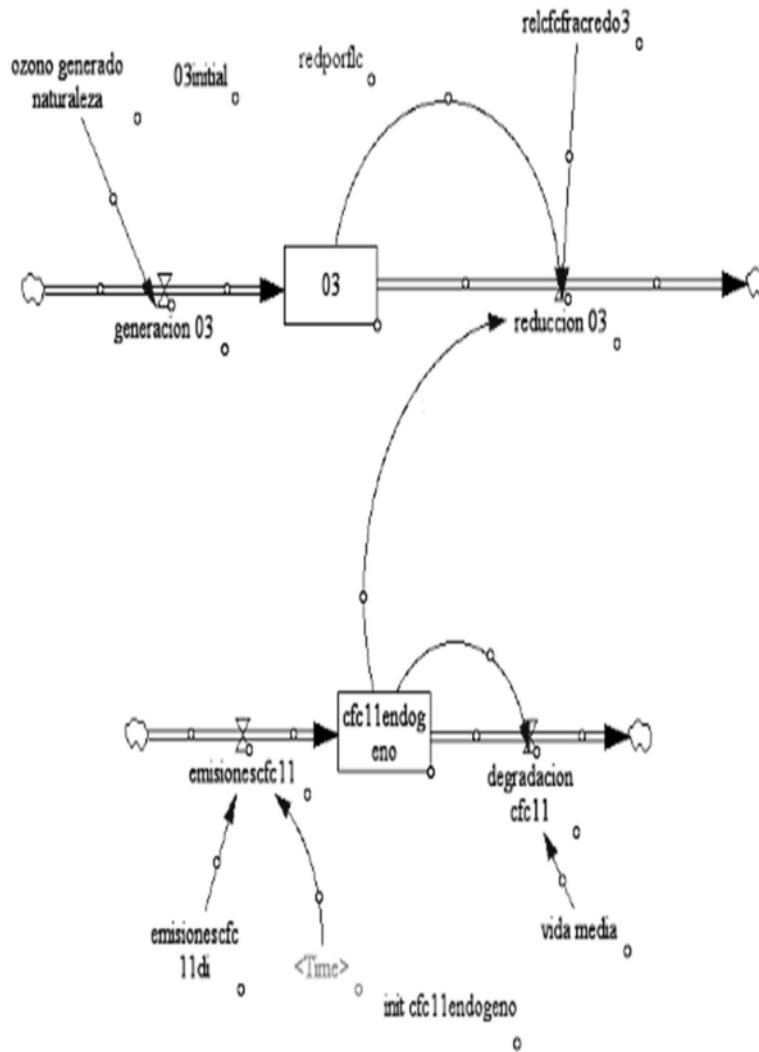


Fig. 2. Modelo Agotamiento Ozono sin Mecanismo de Cooperación.

Las simulaciones para este modelo inicial ofrecen un comportamiento promedio para el ozono promedio global, como se presenta en la Fig. 3. Los datos utilizados corresponden al ozono total promedio medido en Arosa Suiza por el Instituto para la Ciencia Atmosférica y del Clima (IAC).

El comportamiento del ozono se explica por la estabilización en la concentración de CFC-11 luego que sus emisiones llegaron a 0 después de la aplicación del tratado de Montreal. Cabe preguntarse si un mecanismo de cooperación basado en confianza será o no será efectivo para promover la cooperación y mejorar la concentración de ozono en el futuro.

3.1 Hipótesis Dinámica

La hipótesis dinámica propuesta define cómo la cooperación basada en confianza produce la reducción de la concentración de emisiones de CFC-11 y CFC-12. A mayor confianza, menores serán las emisiones de CFC. La reducción en las emisiones reduce la velocidad del deterioro del ozono, lo que eventualmente conduce a un mejoramiento de su concentración. El mejoramiento de la concentración de ozono a su vez incrementa la confianza que luego será necesaria para continuar reduciendo las emisiones. El ciclo que determina esta estructura es de tipo refuerzo, lo que supone que el ciclo también funciona para un sentido inverso de influencia. Ver figura 4.

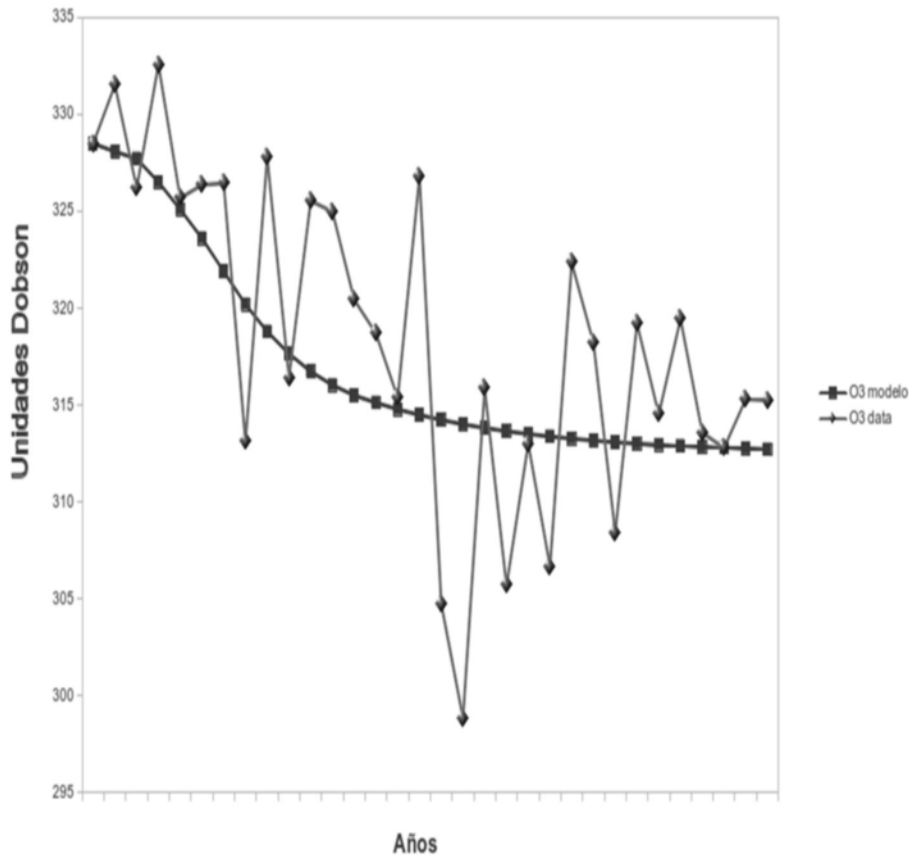


Fig. 3. Datos vs Simulación Modelo Ozono sin Mecanismo. Fuente de los datos: Institute for Atmospheric and Climate Science (IAC). Fuente modelo: elaboración propia.

Si no se perciben avances en el mejoramiento de la concentración de ozono no se producirá la suficiente confianza que permita mantener la reducción de emisiones lo que mantendrá la concentración de CFC en la atmósfera que a su vez reducirán la concentración de ozono.

Cabe destacar que este ciclo de realimentación no se cierra completamente sino luego de muchos años debido al tiempo de residencia de los CFC en la atmósfera. Esto supone un problema para el mantenimiento de la cooperación basada en confianza puesto que la construcción de la confianza necesaria para mantener la cooperación durante décadas podría no producir los efectos en el mejoramiento de la concentración de ozono necesarios para mantener las reducciones. Comprender esta limitación es el aporte de este artículo.

La integración del mecanismo de cooperación al modelo supone la siguiente ecuación diferencial para la confianza:

$$\frac{dConfianza}{dt} = incrementoconfianza - decremento$$

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. Si la cooperación, representada por la concentración de ozono 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 deterioran las moléculas de ozono reduciendo su concentración.

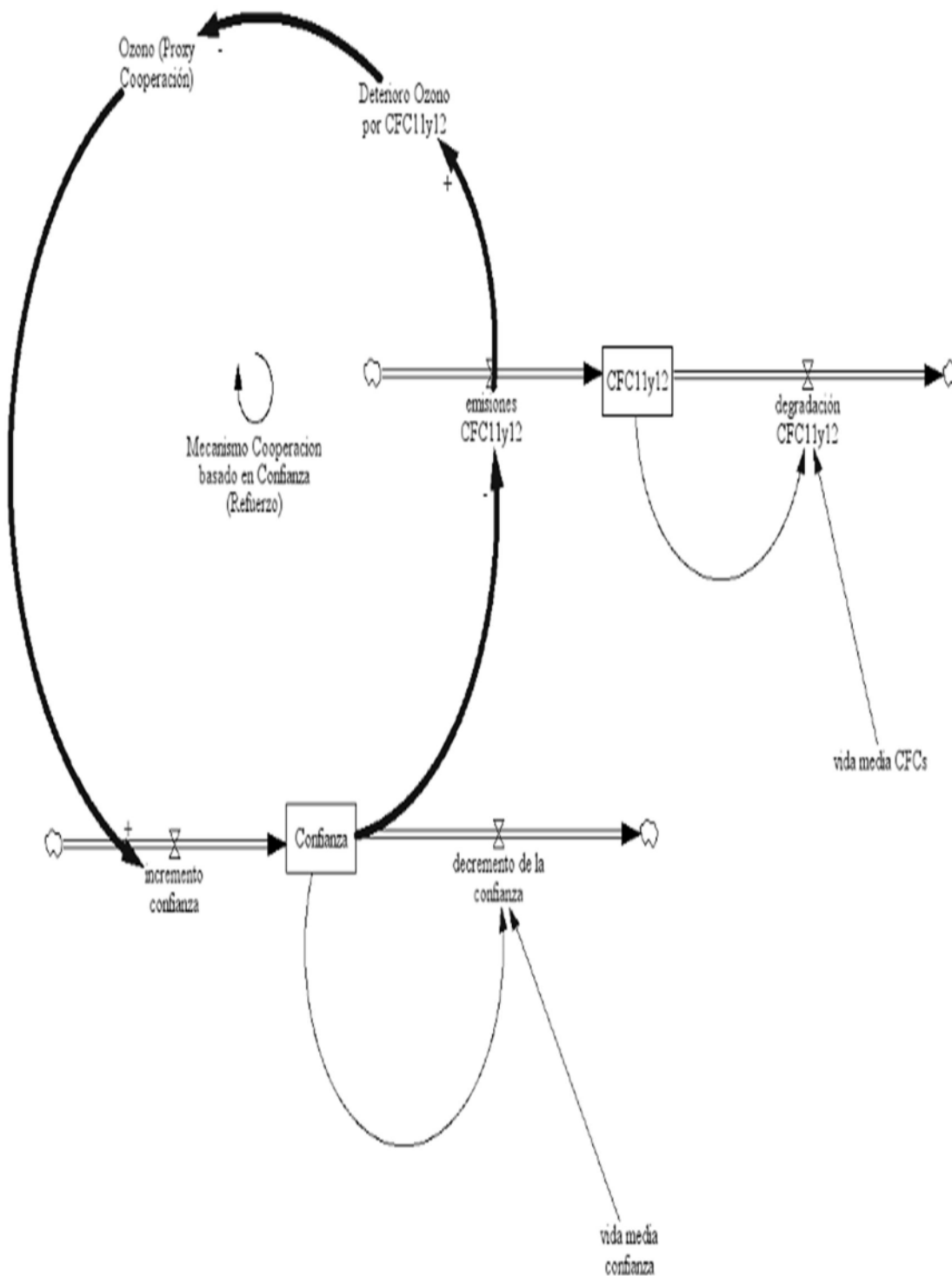


Fig.4. Hipótesis dinámica que ilustra el funcionamiento de mecanismo de cooperación basado en confianza en la reducción de emisiones de CFC-11.

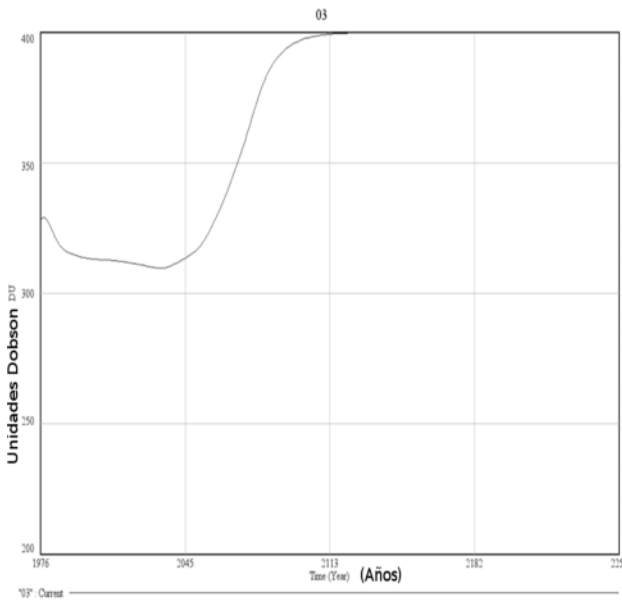


Fig. 5. Simulación Ozono con Baja Exigencia de Confianza.

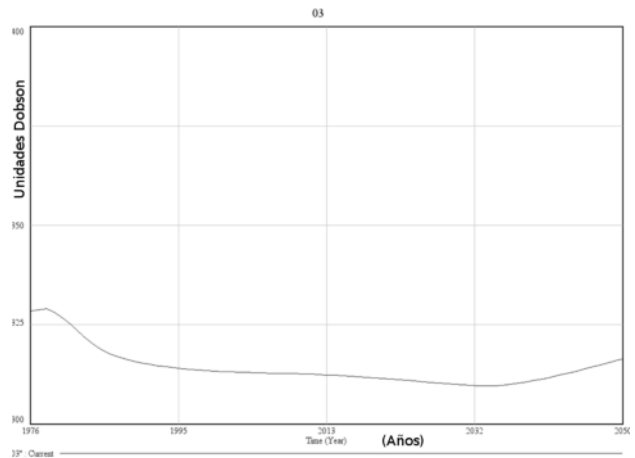


Fig. 6. Simulación Ozono con Alta Exigencia de Confianza.

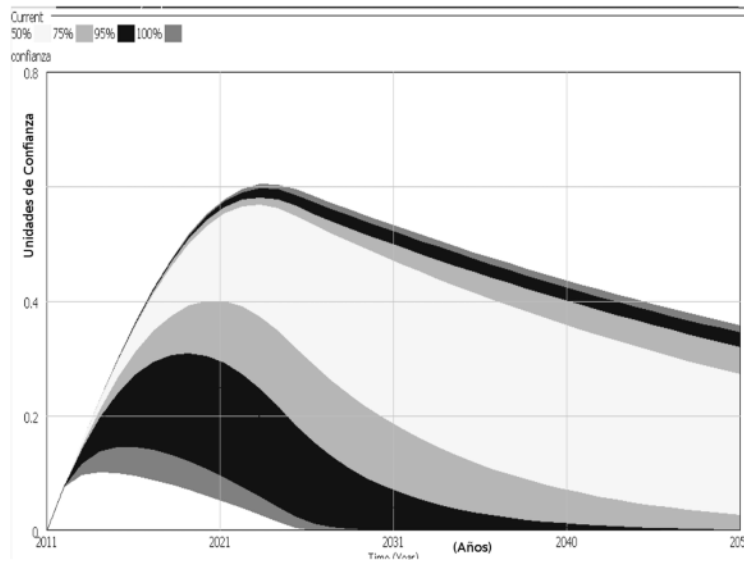


Fig. 7. Análisis de sensibilidad para la vida media del CFC-11 sobre la confianza.

Entre el reconocimiento del nivel de ozono en la atmósfera y el incremento de la confianza de cooperación existe un retardo de información que afecta la acumulación de confianza y las acciones para mantener la reducción en las emisiones de CFC-11. Dado el tiempo de residencia o vida media de los CFC en la atmósfera, los cooperadores podrían interrumpir su cooperación volviendo a emitir al no ver los resultados de su acción cooperativa en el mejoramiento de la concentración del ozono. Esto supone una limitación para la

aplicación exclusiva del mecanismo de cooperación basada en confianza para enfrentar la crisis del agotamiento del ozono.

3.3 Simulaciones

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 de confianza de cooperación. En este escenario la concentración de ozono se recupera gracias a que

los esfuerzos de cooperación permiten generar y sostener nueva cooperación.

La simulación con baja exigencia de confianza supone que las condiciones para el funcionamiento del mecanismo de cooperación por confianza permiten que el grupo mantenga la cooperación gracias al conocimiento del estado del recurso compartido. Esta información permite que los individuos decidan cooperar. De esta forma mejora la concentración de ozono. Ver figura 5.

En la segunda simulación se definió un escenario de alta exigencia de confianza. El escenario de alta exigencia supone que se requiere mayor confianza para promover la cooperación, por lo que la confianza generada no es suficiente para promover la cooperación. Consecuencia de lo anterior la acción colectiva no consigue mejorar la concentración de Ozono. Ver Figura 6.

3.2 Análisis de Sensibilidad

Se realizaron múltiples análisis de sensibilidad. En cada análisis se realizan 200 simulaciones con el parámetro seleccionado dentro del rango establecido generando valores mediante una distribución uniforme.

En el ejercicio de sensibilidad aquí presentado se examinó el efecto sobre la probabilidad de desempeño del modelo a cambios entre 50 y 150 años en la Vida Media CFC-11. Este análisis permite evaluar el efecto que la inercia del sistema debido al tiempo de residencia de los CFC en la atmósfera. La Fig. 7 presenta las zonas de posibles trayectorias para la confianza de cooperación como efecto de la variación de la vida media para el CFC-11.

Este análisis de sensibilidad ilustra como el tiempo de retardo definido por el tiempo de residencia de los CFC en la atmósfera afecta el desempeño de la confianza de cooperación, que explica la variabilidad que la concentración de ozono podría presentar dada la variabilidad en el retardo para obtener los resultados de los efectos de las acciones cooperativas sobre la acumulación de confianza.

4. DISCUSIÓN

El mecanismo de cooperación basado en confianza [14,15] ha sido evaluado como efectivo para

promover la cooperación en dilemas sociales de pequeña escala tanto en configuraciones de laboratorio [21] como en configuraciones de campo [36]. Este trabajo sugiere que el tiempo de retardo que condiciona la información sobre el estado de la concentración de ozono como recurso común y la dependencia a las condiciones iniciales de la confianza juegan un papel importante en la efectividad de una versión dinámica del mecanismo de cooperación basado en confianza para la crisis del ozono asumida como un dilema social de gran escala.

Este tipo de mecanismos ha sido evaluado en otros dilemas sociales tales como crisis de electricidad y el cambio climático [25]. A pesar que las emisiones de CFC-11 se reportan como cero en el presente, existe el riesgo de nuevas emisiones debido a la degradación de la confianza de cooperación. Si el grupo no comprende que se encuentra en un sistema de alta inercia en el que los resultados de la cooperación no se verán sino tiempo después, existe el riesgo de se suspendan las acciones cooperativas que restringen las emisiones de CFC. Esto abre la posibilidad de que otros mecanismos de cooperación sean estudiados para enfrentar las dificultades que los retardos y la dependencia a las condiciones iniciales de la confianza suponen para la cooperación [25].

Este trabajo difiere del trabajo presentado en Parra [25] en cuanto a las limitaciones y el alcance. Parra [25] demostró cómo una configuración de mecanismos integrados puede conseguir una cooperación efectiva en dilemas sociales de gran escala. En este artículo sólo se evaluó la efectividad del mecanismo de cooperación basado en confianza para enfrentar la crisis del ozono, que si bien puede ser considerado como un dilema de gran escala, no fue abordado en [25]. En trabajos futuros puede asumirse el modelamiento de otros compuestos agotadores del ozono.

5. CONCLUSIONES

La confianza de cooperación en las simulaciones realizadas para la crisis del ozono aparece como función de la exigencia de confianza requerida para generar cooperación. Esto se debe al tiempo de residencia de los CFC-11 en la atmósfera, que dificulta el que el mecanismo pueda generar nueva confianza con base en sus esfuerzos de cooperación previos y a la dependencia a las condiciones iniciales de la confianza. Lo anterior

supone que los logros alrededor del control de emisiones no se encuentran garantizados en el futuro pues dada la inercia del sistema y la dependencia a las condiciones iniciales de la confianza de cooperación, existe el riesgo que brotes de desconfianza en la cooperación pudieran incluso permitir nuevas emisiones de CFC a la atmósfera, por lo que se justifica el estudio de combinaciones de mecanismos de cooperación que permitan asegurar el esfuerzo sostenido de cooperación en el largo plazo.

6. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Universidad Autónoma de Bucaramanga por la financiación de la investigación que permitió obtener los resultados reportados en este artículo y a los pares anónimos que con sus observaciones contribuyeron con la calidad de la versión final del artículo.

7. REFERENCIAS

- [1] M. Hoffmann, Ozone depletion and climate change: constructing a global response. State University of New York, 2005.
- [2] M. Molina, "Polar ozone depletion," Nobel lecture in chemistry: including presentation speeches and laureates biographies: 1991-95, vol. 7, p. 250, 1997.
- [3] F. Rowland, "Stratospheric ozone depletion by chlorofluorocarbons," *Ambio*, vol. 19, no. 6/7, pp. 281-292, 1990.
- [4] L. Bjorn, "Effects of ozone depletion and increased uv-b on terrestrial ecosystems," *International journal of environmental studies*, vol. 51, no. 3, pp. 217-243, 1996.
- [5] S. Solomon, R. Garcia, F. Rowland, and D. Wuebbles, "On the depletion of antarctic ozone," 1986.
- [6] D. Kirk-Davidoff, E. Hints, J. Anderson, and D. Keith, "The effect of climate change on ozone depletion through changes in stratospheric water vapour," *Nature*, vol. 402, no. 6760, pp. 399-401, 1999.
- [7] J. Longstreth, F. Gruijl, and M. Kripke, "Effects of increased solar ultraviolet radiation on human health," *Ambio*, vol. 24, no. 3, pp. 153-65, 1995.
- [8] M. Tevini and A. Teramura, "Uv-b effects on terrestrial plants," *Photochemistry and Photobiology*, vol. 50, no. 4, pp. 479-487, 1989.
- [9] "Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer," 1987.
- [10] R. Osbaldiston and K. Sheldon, "Social dilemmas and sustainability: promoting peoples' motivation to cooperate with the future," *Psychology of sustainable development*, pp. 37-58, 2002.
- [11] P. Stern, "Psychological dimensions of global environmental change," *Annual review of psychology*, vol. 43, no. 1, pp. 269-302, 1992.
- [12] L. Cameron, P. Brown, and J. Chapman, "Social value orientations and decisions to take proenvironmental action," *Journal of Applied Social Psychology*, vol. 28, no. 8, pp. 675-697, 1998.
- [13] P. Kollock, "Social dilemmas: The anatomy of cooperation," *Annual Review of Sociology*, vol. 24, no. 1, pp. 183-214, 1998.
- [14] E. Ostrom and J. Walker, *Trust and reciprocity: Interdisciplinary lessons from experimental research*. Russell Sage Foundation Publications, 2005.
- [15] E. Ostrom, "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*. University of Michigan Press, 2000, p. 472.
- [16] E. Ostrom, T. Dietz, N. Dolsak, P. Stern, S. Stonich et al., *The drama of the commons.*, 2002.
- [17] J. Von Neumann, O. Morgenstern, H. Kuhn, and A. Rubinstein, *Theory of games and economic behavior*. Princeton university press Princeton, NJ, 1953.
- [18] G. Hardin, "The tragedy of the commons. The population problem has no technical solution; it requires a fundamental extension in morality." *Science (New York, NY)*, vol. 162, no. 859, p. 1243, 1968.
- [19] R. Luce, H. Raiffa, and T. Teichmann, "Games and decisions," *Physics Today*, vol. 11, p. 33, 1958.
- [20] M. Olson, *The logic of collective action: Public goods and the theory of groups*. Harvard University Press, 1971.
- [21] E. Ostrom, R. Gardner, and J. Walker, *Rules, games, and common-pool resources*. University of Michigan Press, 1994.
- [22] M. McGinnis and E. Ostrom, "Will Lessons from Small-Scale Social Dilemmas Scale Up?" *New issues and paradigms in research on social dilemmas*, pp. 189-211, 2008.
- [23] A. Biel, C. Von Borgstede, and U. Dahlstrand, "Norm perception and cooperation in large scale social dilemmas," *Resolving social dilemmas:*

Dynamic, structural, and intergroup aspects, pp. 245–252, 1999.

[24] L. Markóczy, “Trust but verify: Distinguishing distrust from vigilance,” in Presented in the Academy of Management Conference in Seattle, 2003.

[25] J. Parra, “Mecanismo de cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala,” Ph.D. dissertation, Universidad Nacional de Colombia. Doctorado en Ingeniería Área Sistemas, 2010.

[26] J. Parra and I. Dyner, “Cooperación, expectativa y racionamiento en dilemas sociales de recurso de gran escala,” *Revista de Dinámica de Sistemas*, vol. 4, no. 2, 2008.

[27] J. Parra and I. Dyner, “Mecanismo para la cooperación en crisis de electricidad y otros dilemas sociales de recurso de gran escala,” *Revista UIS Ingenierías*, vol. 8, no. 2, 2010.

[28] J. Sterman, *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world with CD-ROM*. Irwin/McGraw-Hill, 2000.

[29] D. Castillo and A. Saisel, “Simulation of common pool resource field experiments: a behavioral model of collective action,” *Ecological Economics*, vol. 55, no. 3, pp. 420–436, 2005.

[30] J. Parra and I. Dyner, “Cooperación mediante castigo en recursos comunes: un mecanismo explicativo dinámico,” *Revista de Dinámica de Sistemas*, vol. 3, no. 2, 2007.

[31] J. Forrester, *Industrial Dynamics*. MIT press Cambridge, MA, 1961.

[32] J. Morecroft, *Strategic modelling and business dynamics: a feedback systems approach*. Wiley, 2007.

[33] J. Forrester and P. Senge, “Tests for building confidence in system dynamics models,” *TIMS Studies in the Management Sciences*, vol. 14, pp. 209–228, 1980.

[34] J. Parra and I. Dyner, “Cooperation mechanism for large-scale social dilemmas involving resource depletion,” in *Proceedings International System Dynamics Conference*. System Dynamics Society, 2010.

[35] D. Harper, “The contribution of natural halogenation processes to the atmospheric halomethane burden,” *Naturally-produced organohalogenes*, vol. 1, p. 21, 1995.

[36] J. Cardenas, “How do groups solve local commons dilemmas? Lessons from experimental economics in the field,” *Environment, Development and Sustainability*, vol. 2, no. 3, pp. 305– 322, 2000.