

Aplicación del algoritmo de Euler en el estudio de la complejidad dinámica en mecanismos de cooperación

Jorge A. Parra^{*}, Eliécer Pineda^{**}, Adriana Lizcano^{***}

Fecha de recibido: 23/02/2016 Fecha de aprobación: 08/03/2016

Resumen

Los dilemas sociales son conflictos de racionalidad en donde individuos racionales terminan en situaciones de estancamiento e irracionalidad no previstas. En la literatura se ha demostrado que la cooperación puede ser de utilidad para enfrentar dichos dilemas, pero aún son necesarias herramientas para entender su complejidad. Este artículo presenta cómo el algoritmo de Euler puede ser una herramienta útil para el estudio de la complejidad dinámica en mecanismos de cooperación.

Palabras clave: *Dilemas sociales, Cooperación, Euler, Confianza, Análisis de sensibilidad.*

Abstract

Social dilemmas are situations where people face conflicts of rationality in which all persons could receive the worse outputs. Cooperation can be used to solve such dilemmas but it presents complexity. This paper presents a proposal to use algorithms to perform sensitivity analysis for studying cooperation mechanisms and suggests this approach to understand the dynamic complexity of cooperation.

Keywords: *Social dilemmas, Cooperation, Euler, Trust, Sensitivity analysis.*

^{*}Universidad Autónoma de Bucaramanga, Grupo de Investigación en Pensamiento Sistémico. Email: jparra@unab.edu.co

^{**}Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Cra. 27 No. 40-43, Bucaramanga, Santander. Email: epinedaba@gmail.com

^{***}Universidad Industrial de Santander. Cra 27 calle 9. Bucaramanga, Colombia. Email: adriana.lizcano@gmail.com

‡Se concede autorización para copiar gratuitamente parte o todo el material publicado en la Revista Colombiana de Computación siempre y cuando las copias no sean usadas para fines comerciales, y que se especifique que la copia se realiza con el consentimiento de la Revista Colombiana de Computación.

1. Introducción

Este artículo se ubica en el área interdisciplinaria de los Estudios Institucionales, que aplica en Ciencia Política, Economía, Medio Ambiente y Energía entre otros. El artículo es del tipo producto de investigación y sintetiza el uso de algoritmos para el estudio de mecanismos de cooperación. El objetivo del artículo es presentar el uso y utilidad del algoritmo de Euler en los procesos de análisis de sensibilidad, para identificar y comprender la complejidad dinámica en mecanismos de cooperación, lo que es aplicable al mejoramiento del diseño de instituciones.

Las instituciones pueden ser entendidas como reglas, normas y estrategias diseñadas para regular la interacción de los seres humanos [1]. Los dilemas sociales pueden entenderse como conflictos entre la racionalidad individual y el bienestar colectivo [2]. Si los individuos optan por la racionalidad individual, en situaciones de interdependencia, podrían terminar en una situación donde todos pierden [3].

Si los dilemas sociales no se resuelven, los recursos comunes pueden congestionarse o contaminarse y los bienes públicos podrían no ser proveídos. Dichos conflictos de racionalidad son objeto de investigación, ya que se ha invitado a los individuos a siempre actuar de forma racional individualista para lograr el mejor resultado posible y así alcanzar el bienestar colectivo. Para enfrentar estos dilemas, los grupos pueden optar por el control por parte de un agente externo, la asignación de derechos de propiedad privada y la cooperación. La regulación por un agente externo y la asignación de derechos de propiedad privada pueden no ser aplicables ni efectivas en gran variedad de recursos comunes y bienes públicos, por lo que la investigación sobre la cooperación ha ganado relevancia.

La cooperación puede revolver dilemas sociales, si se permite la comunicación cara a cara y si los intereses de los miembros del grupo son simétricos mediante la aplicación del mecanismo de cooperación basado en confianza [3]. Sin embargo, no se ha reportado ni la existencia de la complejidad dinámica ni la forma de estudiar dicha complejidad para dicho mecanismo.

2. Desarrollo

Se presenta a continuación la estructura del mecanismo de cooperación basado en confianza y la metodología aplicada para su estudios.

2.1 Mecanismo de cooperación basado en confianza

El mecanismo de cooperación basado en confianza puede ser representado por un ciclo de realimentación positivo o de refuerzo [4], como se presenta en la Fig. 1.

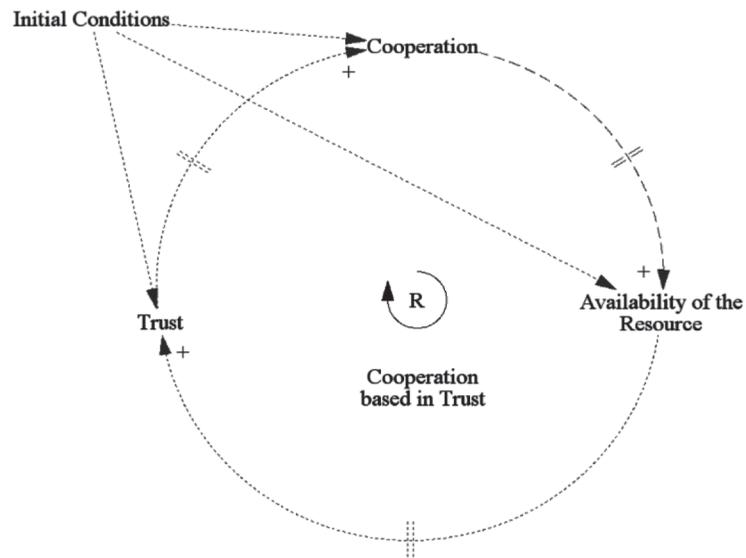


Fig. 1. Mecanismo de Cooperación Basado en Confianza [4].

2.2 Metodología

Luego de contar con una estructura que representa el mecanismo de cooperación, se estudia su sensibilidad. El mecanismo de confianza y su articulación en el dilema social son representados mediante un modelo matemático de simulación, conformado por un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden que se resuelve mediante el algoritmo de Euler. El análisis de sensibilidad supone generar datos en un rango predefinido con una distribución uniforme para la variable estudiada utilizando la herramienta Vensim [5] y resolver mediante Euler el sistema de ecuaciones para cada uno de los valores generados.

2.3 Descripción, análisis y complejidad computacional del algoritmo de Euler

Si se tiene en cuenta el peor caso posible, la complejidad del método de Euler es de carácter lineal. El tiempo computacional requerido dependerá del número de ecuaciones diferenciales que conforman el

sistema, entendiendo que a mayor número de ecuaciones diferenciales por resolver mayor tiempo de procesamiento requerido. Para el caso de la confianza de cooperación, la ecuación diferencial es:

$$\frac{dT_{rust}}{dt} = T_{rust}(t + dt) - T_{rust}(t) \quad (1)$$

De esta forma, conociendo el valor inicial de $T_{rust}(t = 0)$ y el paso de simulación dt se puede aproximar los valores para esta ecuación diferencial.

A continuación se presenta el algoritmo de Euler y una aproximación a su análisis de complejidad:

```

Require:  $T_{rust}(t=0)$ , Tiempo final
1:  $i = 0$ 
2:  $t = 0$ 
3:  $dt = 1$ 
4: while  $i < T_{tiempofinal}$  do
5:    $dT_{rust} = [T_{rust}(t + dt) - T_{rust}(t)] * dt$ 
6:    $i = i + 1$ 
7:    $t = t + 1$ 

```

En la notación $T(n)$ que señala el tiempo que tarda un algoritmo, se puede aproximar para el algoritmo anterior así:

- En la línea 1 se ejecuta 1 Operación Elemental (OE) correspondiente a una asignación.
- En la línea 2 se ejecuta 1 (OE).
- En la línea 3 se ejecuta 1 (OE).
- En la línea 4 se ejecuta la condición del bucle con 5 (OE) si la condición retorna verdadero.

Para este algoritmo, $T(n) = 1 + 1 + 1 + (5 * n)$. Por lo que $T(n) = 3 * (5(n - 1))$, lo que supone que la aproximación al tiempo de ejecución es de carácter lineal en función de las n repeticiones del cálculo de $dTrust$ para cada paso de simulación.

3. Resultados

La estructura del mecanismo de cooperación basado en confianza supone dos características de complejidad dinámica que fueron descubiertas gracias al uso del algoritmo de Euler en el análisis de sensibilidad

efectuado: la dependencia a las condiciones iniciales y el tiempo de ajuste del retardo en la información. El análisis de sensibilidad permite evaluar las implicaciones dinámicas de la estructura así como señalar las variables y los rangos de valores en los que se presenta la variabilidad determinando su complejidad dinámica. Los gráficos de simulación describen las zonas y los porcentajes de posibilidad de que se presenten zonas específicas de comportamiento, permitiendo identificar la inestabilidad de un mecanismo. A continuación se presentan dos aplicaciones y una discusión que permite distinguir el aporte a la literatura.

3.1 Dependencia de la cooperación a las condiciones iniciales de la confianza

El mecanismo de cooperación basado en confianza presenta complejidad dinámica, tal como se ilustra en la Fig. 2. De esta forma, la efectividad de la cooperación dependerá de que la confianza alcance valores iniciales de una magnitud suficiente para sostener la acción colectiva.

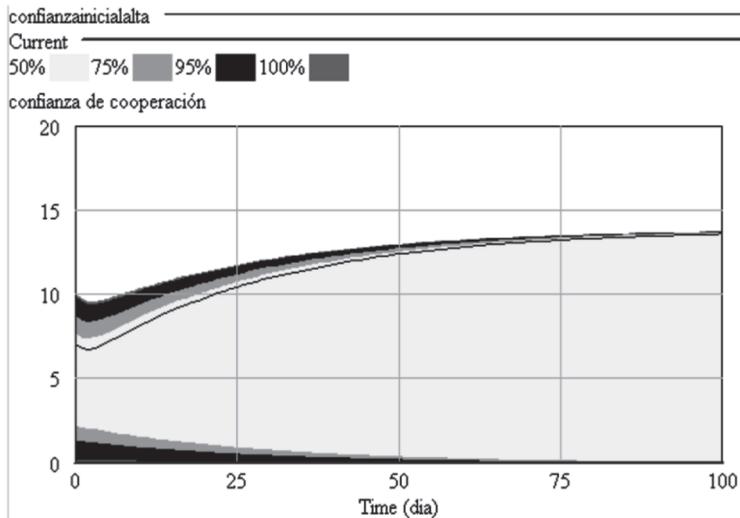


Fig. 2: Análisis de sensibilidad para la generación cooperativa de electricidad. Se varió $Trust(t = 0) = [0, 10]$ [4]

3.2 Efecto de la magnitud del retardo en la confianza

El mecanismo de cooperación basado en confianza presenta complejidad dinámica a consecuencia de la magnitud del retardo en la acumulación de la confianza. Si el tiempo de ajuste de la confianza tiene

una magnitud suficiente, la cooperación se sostendrá por más tiempo que si su magnitud es relativamente menor [6]. Esto se ilustra en la Fig. 3.

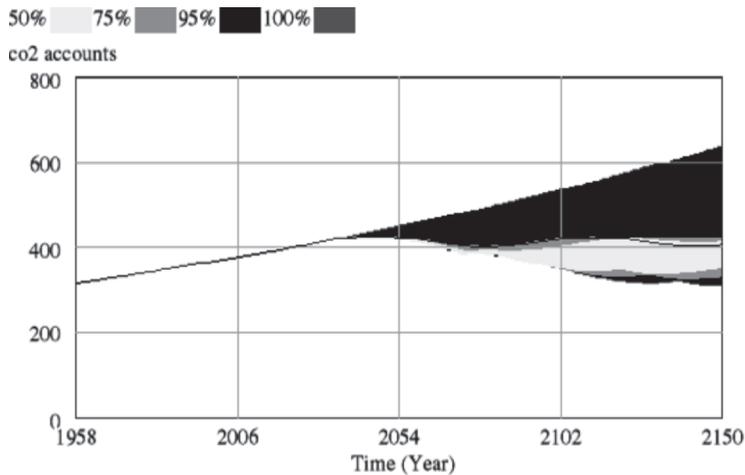


Fig. 3. Análisis de Sensibilidad para el tiempo de ajuste de la confianza en la crisis por acumulación de C O₂ en la atmósfera en el rango entre 5 y 10 años [4]

3.3 Discusión

Los análisis de sensibilidad presentados ilustran complejidad dinámica del mecanismo, permitiendo a su vez una gestión de la cooperación y un diseño mejorado de las instituciones que integren el mecanismo. Para evidenciar este aporte, se llevó a cabo una revisión sistemática utilizando Scopus para señalar el aporte ofrecido por este artículo. En la primera búsqueda se utilizaron las palabras clave *computational, algorithms, institutional* y *analysis* y se recuperaron 0 artículos pertinentes. La segunda búsqueda, con las palabras clave *computational, algorithms, cooperation* y *analysis*, se sintetiza en la Tabla 1:

Tabla 1. Síntesis de la revisión de la literatura realizada.

Referencia	¿Se aplica análisis institucional?	¿Declaran el uso de algoritmos?	¿Explican teoría con el análisis?	¿Sugieren mejoras en el diseño institucional?
[7]	Algoritmo de aprendizaje de poblaciones de agentes aplicado a búsquedas.	SI	NO	NO
[8]	Modelo de asignación para un sistema multiagente	SI	NO	NO
[9]	Algoritmo cooperativo multiobjetivo de optimización numérica aplicado al diseño de alas de aviones	SI	SI	NO
[10]	Algoritmo de cooperación para redes egoístas.	SI	SI	SI

[11]	Modelo de confianza basado en recomendación difusa para redes móviles ad- hoc	SI	SI	SI
[6]	Retardos en la cooperación y sus efectos en la adopción de tecnologías de consumo eficientes y su efecto en la reducción de emisiones de C O2	SI	SI	SI
[12]	Retardos en la cooperación y sus efectos en la adopción de tecnologías de generación bajas en emisiones de C O2	SI	SI	SI
[13]	Evaluación de la cooperación basada en confianza y su aplicabilidad para enfrentar la crisis del Ozono	SI	SI	SI
[4]	Estudios de complejidad dinámica a mecanismos de cooperación en dilemas sociales.	SI	SI	SI
[14]	Se evalúan mecanismos de cooperación para promover el cumplimiento de la normatividad sobre emisiones móviles.	SI	SI	SI
[15]	Evaluación del mecanismo de cooperación basada en confianza para la promoción de la acción colectiva entre autogeneradores.	SI	SI	SI

Según la Tabla 1, en el área de la cooperación ya existe una tradición alrededor del desarrollo de algoritmos que expliquen cómo es que los individuos deciden cooperar [16]. Se evidencia que a pesar de que existe una tradición en los trabajos presentados, sólo se hace uso del análisis de sensibilidad para comprender la complejidad dinámica salvo en los trabajos del autor.

4. Conclusiones

Se ha presentado cómo el uso del algoritmo de Euler, implementado en el análisis de sensibilidad del mecanismo de cooperación basado en confianza, permitió conocer y entender la complejidad dinámica que lo caracteriza. Conocer la complejidad del mecanismo permite identificar los parámetros y los valores que ellos deben asumir para mejorar su desempeño. La dependencia a las condiciones iniciales puede enfrentarse con mecanismos complementarios, así como los tiempos de retardo se pueden reducir para fortalecer la acción colectiva.

Este aporte es relevante para el estudio y mejoramiento del diseño de instituciones y tiene aplicación en la gestión de la cooperación.

Referencias

- [1] E. Ostrom, *Understanding Institutional Diversity*, Princeton University Press, 2005.
- [2] P. Kollck, «Social Dilemmas: The Anatomy of Cooperation,» *Annual Review of Sociology*, pp. 183-214, 1998.

- [3] E. Ostrom, «A behavioral approach to the rational choice theory of collective action,» de *Polycentric games and institutions: readings from the Workshop in Political Theory and Policy Analysis*, University of Michigan Press, 2000, p. 472.
- [4] J. A. Parra Valencia, «Evaluación de la Cooperación en Dilemas Sociales de Gran Escala: Un enfoque desde la Dinámica de Sistemas para la evaluación de mecanismos de promoción de la acción colectiva,» *E.A Española*, 2012.
- [5] P. Vensim, «Ventana systems, inc,» 2010. [En línea]. Available: www.vensin.com.
- [6] J. A. Parra Valencia, «Los retardos en la adopción de tecnologías energéticamente eficientes: Un enfoque dinámico sistémico,» *E.A Española*, 2015.
- [7] D. Barbucha, A cooperative population learning algorithm for vehicle routing problem with time windows, vol. 146, *Neurocomputing*, 2014, pp. 210-229.
- [8] W. Wang y Y. Yang, «Community-Aware Task Allocation for Social Networked Multiagent Systems,» *IEEE*, pp. 1529-1543, 2014.
- [9] J. Désidéri, «Cooperation and competition in multidisciplinary optimization: Application to the aero-structural aircraft wing shape optimization,» *Computational Optimization and Applications*, pp. 29-68, 2012.
- [10] K. Rzadca y T. D., «Promoting cooperation in selfish computational grids,» *European Journal of Operational Research*, pp. 647-657, 2009.
- [11] J. Luo, X. Liu y M. Fan, «A trust model based on fuzzy recommendation for mobile ad-hoc networks,» *Computer networks*, pp. 2396-2407, 2009.
- [12] J. A. Parra Valencia, «Los retardos y las tecnologías de generación de energía alternativa: Un enfoque sistémico para la promoción de la cooperación en la reducción de las emisiones de carbono,» *E.A Española*, 2015.
- [13] J. A. Parra Valencia, «Dyner, Evaluación de Aplicabilidad de la Cooperación en la Crisis del Ozono: Un Enfoque dinámico sistémico,» *E.A Española*, 2013.

- [14] J. A. Parra Valencia, «Cooperación para el Mejoramiento de la Calidad del Aire: Un enfoque dinámico sistémico para la evaluación mecanismos en el cumplimiento de la regulación de emisiones móviles,» *E.A Española*, 2012.
- [15] J. A. Parra Valencia, «Cooperación en la Provisión de Electricidad: Un Enfoque Dinámico,» *E.A Española*, 2014.
- [16] R. Axelrod y W. D. Hamilton, «The evolution of cooperation,» *Science*, pp. 1390-1396, 1981.