



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN
DE INGENIEROS EN LA
ERA DIGITAL



METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS HUMANOS SOCIALMENTE JUSTOS

Andrés Esteban Acero

**Universidad Sergio Arboleda
Bogotá Colombia**

Resumen

En nuestra sociedad, no solo han cambiado las formas de producir, circular y utilizar el conocimiento de ingeniería, sino también su lugar dentro de la sociedad y la cultura. Si algo caracteriza al mundo actual es la creciente demanda de nuevas formas de aplicar ingeniería, medios de producción e innovaciones organizativas. Este cambio cobra relevancia en la vida del ingeniero cuando una iniciativa como el desarrollo de la investigación científica y tecnológica se convierte en una oportunidad para la intervención en artefactos derivados de cambios sociales y ambientales. Por lo tanto, esta investigación de trabajo se centra en el diseño de una metodología para mejorar las condiciones de calidad de vida de los sistemas humanos complejos. Para lograr este objetivo, se desarrolló un marco metodológico novedoso que integra el concepto de justicia social con las prácticas de ingeniería. Para ello, se realizó un análisis de las prácticas de ingeniería de tres proyectos bajo una visión específica de la justicia social. Esta visión se construyó con las diferentes partes interesadas y utilizando mapas cognitivos difusos para comprender cómo, mediante una ingeniería de sistemas socialmente justa, se puede lograr una mejora en las condiciones sociales de los sistemas humanos complejos. Además, se evaluaron estas prácticas y compararon los posibles escenarios que pueden producir cambios positivos para las comunidades mediante el uso de análisis comparativo cualitativo y cuantitativo.

Palabras clave: prácticas de ingeniería; justicia social; aprendizaje de máquinas; fenomenografía

Abstract

In our society, not only have the ways of producing, circulating and using engineering knowledge changed, but also their place within society and culture. If something characterizes the current world is the growing demand for new ways of applying engineering, means of production and organizational innovations. This change becomes relevant in the life of the engineer when an

initiative such as the development of scientific and technological research becomes an opportunity for intervention in artifacts derived from social and environmental changes. Therefore, this research work focuses on the design of a methodology to improve the quality of life conditions of complex human systems. To achieve this goal, a novel methodological framework was developed that integrates the concept of social justice with engineering practices. For this, an analysis of the engineering practices of three projects was carried out under a specific vision of social justice. This vision was built with different stakeholders and using diffuse cognitive maps to understand how, through socially just systems engineering, an improvement in the social conditions of complex human systems can be achieved. In addition, these practices were evaluated and compared possible scenarios that can produce positive changes for communities using qualitative and quantitative comparative analysis.

Keywords: *Engineering practices, social justice, machine learning, phenomenography*

1. Introducción

El problema de la justicia social no es solo un tema disciplinario. El estudio de los problemas relacionados con el desarrollo de la sociedad y las implicaciones de las relaciones que nosotros, como seres humanos, construimos con nuestra sociedad fueron relegados durante mucho tiempo a áreas del conocimiento como la sociología o la antropología (Kuhn, 1998; Leydens y Lucena, 2014; Trevelyan, 2010). Sin embargo, los movimientos sobre la justicia social han comenzado a cambiar a otras áreas y se han convertido en parte de la columna vertebral del conocimiento disciplinario para la práctica profesional (Bell & Morse, 2005). Este fenómeno refleja la necesidad de comprender cómo el conocimiento que se puede generar a partir de la práctica de la ingeniería (PI) puede producir cambios profundos en una sociedad como Colombia. Lejos del idealismo, los ingenieros deben cambiar la idea de ir más allá del deber (Nichols y Weldon, 1997) para, como profesión, conectar el conocimiento, las personas y el entorno para fomentar y estimular la transformación del mundo (Wright, 2013).

Para lograr este nuevo tipo de ingeniería, es necesario llevar a cabo una evaluación completa de la relación entre las PI y sus implicaciones en la justicia social. Según las Naciones Unidas (2016), para reducir la desigualdad que existe en el mundo, es necesario prestar atención a las necesidades de las poblaciones desfavorecidas y marginadas, y la ingeniería tiene el potencial de cerrar esta brecha. En la literatura actual, las PI y su relación con los problemas sociales y ambientales se han evaluado en diferentes ocasiones (Kabo y Baillie, 2009; Midgley, 2011; Ulrich, 1987). Además, este tema se ha evaluado utilizando diferentes marcos, como el estudio del desarrollo sostenible (Jones, Michelfelder y Nair, 2017) y la ética (Baillie & Levine, 2013). Sin embargo, estos estudios anteriores no nos informan sobre las acciones que se deben tomar en el PE para mejorar las condiciones de vida de las personas necesitadas. Para crear un espacio intersticial (Wright, 2013) dentro de los modelos capitalistas para el empoderamiento de la sociedad, se debe llevar a cabo un análisis en profundidad de las prácticas y el conocimiento de la ingeniería. Si, por ejemplo, los ingenieros industriales "mejoran las cosas" (Rodríguez Valbuena, 2012), debería incluir cambios profundos para el bienestar de toda la sociedad.

Adicionalmente, se ha hablado mucho sobre ingeniería y prácticas responsables que conducen a una mejora en la calidad de vida de las comunidades, pero poco se ha analizado sobre este tipo de proyectos dentro del contexto colombiano. Si bien hay casos claros sobre temas como la infraestructura o la gestión ambiental justa, estudios limitados han explorado el diseño de sistemas realizados por los ingenieros y su relación con la sociedad. Ejemplos de esta situación se muestran en estudios sobre la poca relación que existe entre los ingenieros en las áreas de producción con los trabajadores para los que diseñan sus planes de producción (Kuhn, 1998) o la falta de habilidades directivas de los ingenieros dentro de las empresas de fabricación en el Reino Unido y Japón (Lam, 1996), donde la solución técnica ha tenido prioridad sobre aspectos sociales o culturales. Lo que no podemos ignorar es que hay ingenieros que han considerado conceptos clave de justicia social, como la participación, la evaluación de impacto, el desarrollo de capacidades en las comunidades involucradas y el empoderamiento productivo, y los han llevado a la acción (Leydens, Lucena y Nieusma, 2014). El estudio de este tipo de iniciativas y propuestas desde una perspectiva sistémica puede arrojar luz sobre los aspectos clave de la ingeniería industrial socialmente justa.

Por tanto, este artículo se centra en la aplicación de una metodología para el diagnóstico de sistemas en los cuales la intervención de los ingenieros pueda modificar las condiciones de vida de los seres humanos. Para ello, se propone el uso de una herramienta de soft computing llamada mapas cognitivos difusos en conjunto con estudios fenomenográficos y trabajo comunitario, todo esto para la construcción de propuestas viables que permitan mejorar la distribución de los beneficios generados por las prácticas de los ingenieros. Esta metodología fue utilizada en tres proyectos de ingeniería en los cuales se evidencia de la integración de procesos y conocimientos disciplinares a través de una práctica profesional que permitiera conectar a la ingeniería con la sociedad. En estos proyectos se evaluarán las percepciones de los diferentes actores sobre la mejora de la capacidad (objetivo) de sus comunidades (agencia) para mejorar el acceso a recursos y oportunidades (medios).

Dado este panorama, el presente artículo se distribuye de la siguiente manera: en el capítulo dos se presenta el propósito de investigación de la tesis, en el capítulo 3 se muestra la metodología propuesta y algunas particularidades de la integración de las herramientas utilizadas, en el capítulo cuatro se presentan los resultados preliminares de la implementación de cada uno de los casos la metodología en los casos de estudio seleccionados y, por último, algunas conclusiones sobre este estudio.

2. Propósito de investigación

El objetivo principal de esta investigación es desarrollar un marco metodológico para dilucidar atributos de PI socialmente justa que ayuden a mejorar las condiciones de calidad de vida de las comunidades en condición de vulnerabilidad y, posteriormente, formular estrategias de diseño que refuercen la justicia social en sistemas complejos de ingeniería humana nuevos y existentes. La investigación incluye la evaluación de la metodología con información pública, entrevistas y talleres con los participantes en tres proyectos de ingeniería que servirán de casos de estudio. Estos casos proporcionarán información clave para desarrollar estrategias específicas para el tipo de sistema

con el marco metodológico. Además, se espera con los resultados obtenidos proponer un metamodelo de ingeniería socialmente justa que permita la implementación de estrategias efectivas para el trabajo con comunidades tanto en contextos rurales como urbanos.

3. Metodología propuesta

Los pasos a llevar a cabo para la metodología propuesta son:

- **Recolección de información:** Para ello, se realizarán entrevistas semiestructuradas con los participantes de estos estudios de caso. Los criterios de selección serán ingenieros que participaron en los proyectos, miembros no ingenieros de los proyectos, así como los miembros de la comunidad que se benefician o se vieron afectados por los proyectos. A través de estas entrevistas, se invitará a los participantes a explorar la aplicación de las prácticas de ingeniería a través de una lente de justicia social.
- **Fenomenografía:** La primera parte del análisis de datos será un estudio fenomenográfico sistémico. Dado que estamos buscando descripciones de los sistemas de actividad humana, se llevará a cabo un estudio fenomenográfico que resaltará los aspectos centrales de la visión de la justicia social de la práctica de la ingeniería. Todas las entrevistas se transcribieron y las transcripciones se sometieron a un riguroso análisis fenomenográfico. Además, se incluirán dos consideraciones de Terra y Passador (2015) sobre el lado sistémico de los estudios fenomenográficos para crear las categorías de descripción. Primero, la relación entre los conceptos debe ser considerada y eliminada del análisis. Si el objetivo es encontrar el concepto real, debe reconocerse cualquier posible correlación. Segundo, la investigación debe reconocer su relación con el sistema bajo estudio. El resultado, obtenido de las transcripciones, no contemplará nada más que las unidades de concepto necesarias, de modo que el problema pueda percibirse tal como es. A partir de este estudio se extraerán categorías de descripción que nos permiten ver los conceptos claves asociados a las prácticas de la ingeniería bajo una visión particular de justicia social.
- **Mapas cognitivos difusos:** Después de definir los conceptos, se dibujarán mapas cognitivos difusos. Los mapas cognitivos difusos son una herramienta de modelamiento de sistemas que se aplica principalmente en sistemas dinámicos complejos al describir las relaciones causales que existen entre sus parámetros llamados conceptos (Mpelogianni y Groumpos, 2018). Esta herramienta nació del trabajo de Rodol Axelrod en el mapa cognitivo (Axelrod, 1976), que luego fue formalizado por Bart Kosko (1986), y muestra la relación de los elementos del "paisaje mental" sobre un tema. Cada uno de los mapas se componen de dos elementos, una matriz con los valores de las relaciones y los conceptos seleccionados. Un ejemplo de la herramienta está en el mapa de la entrevista C001, empleada del sector turístico:

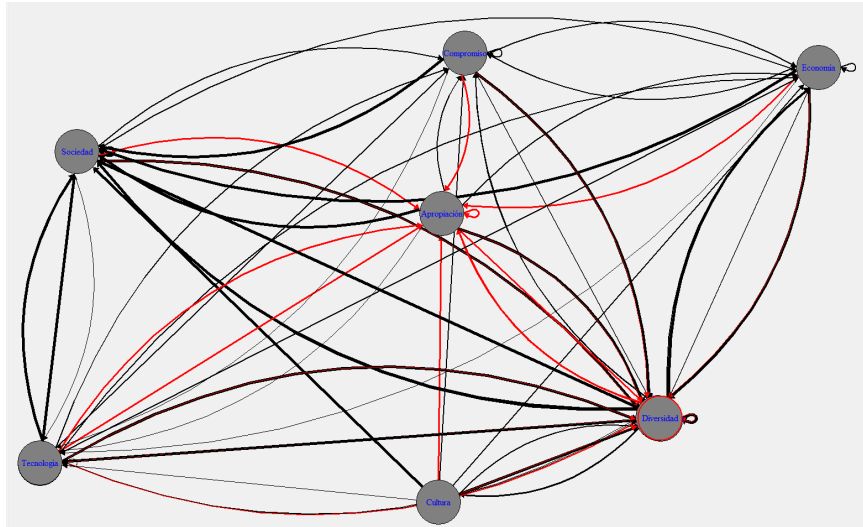


Figura 1. Mapa cognitivo sobre la justicia de C001.

Esta herramienta también permite simular posibles estados futuros según las conexiones y los estados del sistema existente. Lo que se busca con esta herramienta es conectar el conocimiento cualitativo de cada uno de estas entrevistas y convertirlos en modelos matemáticos comparables (Kok, 2009) con los cuales concluir sobre las condiciones y estrategias de cada uno de los mapas creados.

- Comparación de los mapas: Para poder realizar una comparación adecuada entre los mapas creados, este estudio utiliza el Análisis Comparativo Cualitativo (QCA) (Schneider y Wagemann, 2010). Este es un método teórico de conjuntos y una técnica analítica que se basa en la comparación sistemática de las condiciones causales y de resultado para visualizar y analizar la complejidad causal (Friel et al., 2017). Al utilizar el álgebra Booleana, el análisis contrafactual y la minimización lógica, este método permite comparar casos como configuraciones de factores (Ragin y Rihoux, 2004), observar información empírica de una manera más parsimoniosa y, posteriormente, realizar interpretaciones causales basadas en la lógica de la necesidad causal y suficiencia (Schneider & Wagemann, 2010). De este modo, QCA desarrolla una concepción de causalidad que deja espacio para la complejidad y la equifinalidad, lo que significa que diferentes caminos causales, cada uno relevante de una manera distinta, pueden producir el mismo resultado. Este análisis es especialmente relevante para entender cómo se pueden generar análisis sobre diferentes percepciones del mismo concepto.
- Creación de escenarios y análisis causal: Finalmente, las posibles trayectorias y la relación de los actores el proyecto debe evaluarse utilizando los mismos parámetros del mapa cognitivo difuso creado en el tercer paso. Por lo tanto, estos mapas cambiarán de acuerdo con las expectativas y los actores validarán los escenarios futuros en los que las prácticas de ingeniería ayudan a mejorar la calidad de vida de las comunidades. Debido a que este método incluye datos cuantitativos, estos modelos se pueden comparar en términos de la definición de justicia social de Leydens y Lucena (2014):

“Social Justice is an engineering practices that strive to enhance human capabilities (goal) through an equitable distribution of opportunities

and resources while reducing imposed risks and harms (means) among agentic citizens of a specific community” (p. 4).

- Recomendaciones y trabajo con los actores relevantes: Los resultados esperados de este estudio no son solo la adquisición y análisis de datos, sino los resultados que se convertirán en acciones específicas con las comunidades. Por tanto, junto con los actores se construirá y estudiará posibles mejoras específicas en las prácticas de ingeniería, todas derivadas del análisis llevado a cabo con los actores.

4. Resultados preliminares

Esta sección se centrará en mostrar los resultados preliminares de esta tesis. Dado que solamente se llevan 6 meses de avance, se espera poder mostrar mejores resultados en futuras ocasiones.

4.1. Adquisición de datos

Un total de 12 entrevistas semi-estructuras fueron llevadas a cabo a personas pertenecientes a dos proyectos de ingeniería en los cuales se incluye como concepto central el impacto social positivo. Esta entrevista consiste de una serie de preguntas que se le informarán previamente y otras preguntas que surjan durante la entrevista, lo cual toma aproximadamente 45 minutos en total. Para garantizar la confidencialidad, el anonimato, y proteger su privacidad, en las transcripciones de las entrevistas no se utiliza en ningún momento su nombre o datos de referencia. Las respuestas son almacenadas en un computador bajo un código único de respuesta y no por el nombre del participante. Asimismo, el código único será asociado con sus respuestas y el nombre no se utiliza en ningún lugar del presente artículo.

5. Bibliografía

- Axelrod, R. (1976). The Analysis of Cognitive Maps. In Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elite (pp. 55–76).
- Baillie, C., & Levine, M. (2013). Engineering Ethics from a Justice Perspective: A Critical Repositioning of What It Means To Be an Engineer. *International Journal of Engineering, Social Justice, and Peace*, 2(1), 10–20. Retrieved from <http://library.queensu.ca/ojs/index.php/IJESJP/article/view/3514>
- Bell, S., & Morse, S. (2005). Holism and understanding sustainability. *Systemic Practice and Action Research*, 18(4), 409–426. <https://doi.org/10.1007/s11213-005-7171-9>
- Friel, S., Pescud, M., Malbon, E., Lee, A., Carter, R., Greenfield, J., ... Meertens, B. (2017). Using systems science to understand the determinants of inequities in healthy eating. *PLoS ONE*, 12(11), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188872>
- Jones, S. A., Michelfelder, D., & Nair, I. (2017). Engineering managers and sustainable systems: the need for and challenges of using an ethical framework for transformative leadership. *Journal of Cleaner Production*, 140, 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.009>

- Kabo, J., & Baillie, C. (2009). Seeing through the lens of social justice: a threshold for engineering. *European Journal of Engineering Education*, 34(922781082), 317–325. <https://doi.org/10.1080/03043790902987410>
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24(1), 65–75. [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(86)80040-2)
- Kuhn, S. (1998). When Worlds Collide: Engineering Students Encounter Social Aspects of Production. *Science and Engineering Ethics*, 4, 457–472.
- Lam, A. (1996). Engineers, Management and Work Organization: A Comparative Analysis of Engineers' Work Roles in British and Japanese Electronics Firms. *Journal of Management Studies*, 33(2), 183–212.
- Leydens, J. A., & Lucena, J. C. (2014). Social Justice: A Missing, Unelaborated Dimension in Humanitarian Engineering and Learning Through Service. *International Journal for Service Learning in Engineering, Humanitarian Engineering and Social Entrepreneurship*, 9(2), 1–28. Retrieved from <http://library.queensu.ca/ojs/index.php/ijse/article/view/5447> <http://queens.scholarsportal.info/ojs/index.php/ijse/article/view/5447>
- Leydens, J. A., Lucena, J. C., & Nieusma, D. (2014). What is design for social justice? ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84905168763&partnerID=tZOtx3y1>
- Midgley, G. (2011). Theoretical Pluralism in Systemic Action Research. *Systemic Practice and Action Research*, 24(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11213-010-9176-2>
- Mpelogianni, V., & Groumpos, P. P. (2018). Re-approaching fuzzy cognitive maps to increase the knowledge of a system. *AI and Society*, 0(0), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00146-018-0813-0>
- Nichols, S. P., & Weldon, W. F. (1997). Professional responsibility: The role of the engineer in society. *Science and Engineering Ethics*, 3(3), 327–337. <https://doi.org/10.1007/s11948-997-0039-x>
- Ragin, C. C., & Rihoux, B. (2004). Qualitative Comparative Analysis (QCA): State of the Art and Prospects. *Qualitative Methods*, 2(2), 3–13. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.998222>
- Rodriguez Valbuena, L. F. (2016). El campo de la educación en ingeniería industrial en Colombia 1950-2000. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Schneider, C. Q., & Wagemann, C. (2010). Standards of good practice in qualitative comparative analysis (QCA) and fuzzy-sets. *Comparative Sociology*, 9(3), 397–418. <https://doi.org/10.1163/156913210X12493538729793>
- Terra, L. A. A., & Passador, J. L. (2015). A Phenomenological Approach to the Study of Social Systems. *Systemic Practice and Action Research*, 28(6), 613–627. <https://doi.org/10.1007/s11213-015-9350-7>
- Trevelyan, J. (2010). Reconstructing engineering from practice. *Engineering Studies*, 2(3), 175–195. <https://doi.org/10.1080/19378629.2010.520135>
- Ulrich, W. (1987). Critical heuristic of social systems design. *European Journal of Operational Research*, 31(31), 276–283.
- Wright, E. O. (2013). Transforming Capitalism through Real Utopias. *American Sociological Review*, 78(1), 1–25. <https://doi.org/10.1177/0003122412468882>

Sobre los autores

- **Andrés Esteban Acero:** Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial, candidato a doctor en Ingeniería de la Universidad de los Andes. Profesor Asistente de la Universidad Sergio Arboleda. andres.acerol@usa.edu.co.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)