

Copyright © 2019

[This article is published under the terms of the Attribution-ShareAlike 4.0 International \(CC BY-SA\)](#)



<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/issue/view/1108>

DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.16631>

Clasificación del artículo: **Investigacion**

**(T1) Diseño de modelo de simulación que representa el
genoma de inteligencia colectiva de Malone, Laubacher y
Dellarocas**

**Design of a simulation model that represents the
collective intelligence genome of (malone et al., 2010)**

Fecha de recepción: 08 de julio de 2021

Fecha de aceptación: 07 de Febrero de 2022

Cómo citar: Vargas-Guarnizo., M.P. y Bohórquez-Arévalo., L.E. (2022). *Diseño de modelo de simulación que representa el genoma de inteligencia colectiva de Malone, Laubacher y Dellarocas. Tecnura*, 26(72). <https://doi.org/10.14483/22487638.16631>

Mónica Patricia Vargas Guarnizo

Ingeniera mecánica, magíster en Ingeniería Industrial. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Contacto: mpvargasg@correo.udistrital.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5310-0086>

Luz Esperanza Bohórquez Arévalo

Doctor en Ciencias de la Dirección, magíster en Administración de Empresas, especialista en Ingeniería de la Calidad, ingeniera Industrial. Docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Contacto: lebohorqueza@udistrital.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8401-3471>

(T2) Resumen

Contexto: Thomas Malone definió la inteligencia colectiva (IC) en la apertura del Centro de Inteligencia Colectiva del MIT en 2006 como "grupos de personas que hacen cosas colectivamente que parecen inteligentes" (Glenn, 2015). El centro indica que su misión es investigar cómo pueden conectarse las personas para que, colectivamente, actúen de manera más inteligente que los individuos de manera individual. Esta investigación diseñó un modelo de simulación multiagente, cuyo objetivo fue representar el genoma de IC propuesto por Malone *et al.* (2010), en un entorno con situaciones emergentes en el que coexista una organización jerárquica, a fin de explorar diferentes configuraciones de variables externas e internas a las organizaciones que permitan maximizar el aprovechamiento de recursos.

Metodología: Se planteó un modelo de simulación multiagente que incluye elementos estocásticos para modelar el comportamiento de los agentes y sus interacciones, que no se conocen con exactitud. La metodología propuesta planteó cinco etapas: 1) conceptualización, 2) definición de requerimientos, 3) análisis y diseño, 4) codificación, y 5) pruebas y validación. Para el proceso de verificación, sintonización y validación del modelo de simulación desarrollado, se representaron, en este, dos de los genomas documentados por Malone *et al.* (2010), para el caso Wikipedia. El primero corresponde a la edición de artículos individuales; este genoma fue usado para ajustar las variables que intervienen en el modelo con el fin de maximizar el aprovechamiento de los recursos en las organizaciones; el segundo corresponde a cómo se incluye un artículo en la colección general de Wikipedia, dicho caso fue usado para determinar el grado en el cual el modelo de simulación desarrollado corresponde a la representación del modelo metodológico propuesto por Malone *et al.* (2010).

Resultados: Considerando que los casos de Wikipedia documentados por Malone *et al.* (2010) son teóricos, se definió que la situación a analizar en la contrastación del modelo metodológico con el modelo de simulación desarrollado era el comportamiento colectivo inteligente en la organización que contenía el genoma de IC; esto con el propósito de aprovechar de mejor manera los recursos disponibles para aprovechar ideas/oportunidades o mitigar amenazas. De las pruebas realizadas para determinar el grado de correspondencias entre los modelos, se evidenció que en el 70 % de ellas el porcentaje de aprovechamiento y de mitigación estuvo por encima del 50 %, de allí se concluyó que el modelo de simulación desarrollado correspondía a la representación del modelo metodológico del genoma de IC propuesto por Malone *et al.* (2010), acorde con los casos empresariales de estudio.

Conclusiones: El modelo de simulación desarrollado contribuye a la comprensión del modelo metodológico y a la exploración de diferentes configuraciones del genoma de IC que permiten evaluar características que otorgue el comportamiento inteligente de una organización empresarial.

Palabras clave: inteligencia colectiva, genoma de inteligencia colectiva, simulación basada en agentes.

Abstract

Context: Thomas Malone defined collective intelligence at the opening of the MIT Center for Collective Intelligence in 2006 as "groups of people who collectively do things that appear intelligent" (Glenn 2015). The center indicates that its mission is to investigate How can people connect? so that, collectively, they act smarter than individuals individually. This research designed a multiagent simulation model whose objective was to represent the collective intelligence (CI) genome proposed by (Malone et al. 2010), in an environment with emergent situations in which a hierarchical organization coexists, in order to explore different configurations of external variables. and internal to organizations that allow maximizing the use of resources.

Methodology: A multiagent simulation model is proposed that includes stochastic elements to model the behavior of agents and their interactions, which are not known exactly. The proposed methodology presents five stages: 1) conceptualization, 2) definition of requirements, 3) analysis and design, 4) coding, and 5) testing and validation. For the verification, tuning and validation process of the simulation model designed, two of the

genomes documented by (Malone et al. 2010) were represented in the Wikipedia case. The first corresponds to the edition of individual articles, this genome was used to adjust the variables that intervene in the model in order to maximize the use of resources in organizations; the second genome corresponds to how an article is included in the general collection of Wikipedia, this case was used to determine the degree to which the simulation model designed corresponds to the representation of the methodological model proposed by (Malone et al. 2010).

Results: Considering that the Wikipedia cases documented by (Malone et al. 2010) are theoretical cases, it was defined that the situation to be analyzed in the contrasting of the methodological model with the designed simulation model was the intelligent collective behavior in the organization that contained the genome of CI, this in terms of making better use of available resources to take advantage of ideas-opportunities or mitigate threats. From the tests carried out to determine the degree of correspondence between the models, it was evidenced that in 70% of them the percentage of use and mitigation was above 50%, hence it was concluded that the simulation model designed corresponded to the representation of the methodological model of the CI genome proposed by (Malone et al. 2010), in accordance with the business case studies.

Conclusions: The simulation model designed contributes to the understanding of the methodological model and to the exploration of different configurations of the CI genome that allow to evaluate characteristics that the intelligent behavior of a business organization grants.

Keywords: collective intelligence, collective intelligence genome, agent based simulation.

(T2) Introducción

Dado que las organizaciones se enfrentan a mercados cambiantes, situación que ha impulsado a estas a la búsqueda de ventajas competitivas que les permitan sobresalir y mantenerse estables (De la Hoz *et al.*, 2014), esta investigación tuvo como objetivo diseñar, implementar y validar un modelo de simulación multiagente que represente el genoma de inteligencia colectiva (IC) propuesto por Malone *et al.* (2010), en un entorno con situaciones emergentes en el que coexista una organización jerárquica, a fin de explorar diferentes configuraciones de variables externas e internas a las organizaciones que permitan maximizar el aprovechamiento de recursos.

La IC hace referencia a la capacidad de colaborar y coordinar de manera efectiva el trabajo de los integrantes de un grupo, generando la emergencia de comportamientos inteligentes que se reflejan en mayor aprovechamiento de recursos. La IC es quizás uno de los predictores de mayor relevancia en el desempeño de un equipo que las habilidades individuales (Malone *et al.*, 2010).

A la fecha, una de las propuestas de IC en organizaciones humanas de mayor reconocimiento es la realizada por el Centro de Inteligencia Colectiva del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts). En este centro se encuentra el trabajo de Malone *et al.* (2010), quienes luego de examinar más de 250 ejemplos de IC identificaron bloques que clasificaron a partir de las siguientes preguntas: ¿Qué se está haciendo?, ¿quién lo está haciendo?, ¿por qué lo está haciendo?, y ¿cómo lo está haciendo? Cada uno de los bloques fue denominado *gen*; los genes vistos organizacionalmente son los elementos centrales a partir de los cuales se construyen los sistemas de IC. El mapa genético permite identificar las condiciones bajo las cuales cada gen es útil, y las múltiples posibilidades de combinarlos de manera efectiva; la

combinación completa de genes asociados con un ejemplo específico de IC puede ser visto como el *genoma* de ese sistema (Malone *et al.*, 2010).

Para el desarrollo del documento, en la primera parte se presenta la metodología de la investigación; en la segunda, se describe el modelo del genoma de IC de Malone *et al.* (2010); en la tercera, se presenta el diseño de la simulación basada en agentes que representa el modelo de Malone *et al.* (2010); en la cuarta, se exploran las diferentes configuraciones de variables externas e internas a la organización, a fin de identificar cuál maximiza el aprovechamiento de recursos para captar ideas/oportunidades y mitigar amenazas; finalmente se presentan las conclusiones de la investigación.

(T2) Metodología

La metodología propuesta planteó cinco etapas y la ejecución de cada una, de manera iterativa e incremental. La primera etapa fue la de conceptualización, con la que se buscó entender el comportamiento de los individuos ante determinada situación e identificar las características de los genes del genoma de IC para plasmarlas, para esto se consideró realizar la revisión de literatura alrededor de IC y modelación y simulación basada en agentes; además, se definieron parámetros y variables que determinaron el comportamiento de los individuos frente a las condiciones del entorno; por último, se procedió a caracterizar el genoma de IC en el modelo de simulación.

En la segunda etapa, definición de requerimientos, se estableció el quehacer de cada organización y de los agentes que forman parte de ellas. La tercera etapa fue la de análisis y diseño, que tuvo como objetivo implementar los requerimientos en el sistema. La primera actividad que se realizó en esta etapa fue analizar el modelo Ants Packet Predation 2NET

Human, propuesto por Posada (2018), debido a que con anticipación se identificaron algunos rasgos característicos del genoma de IC; luego se creó un esquema inicial del diseño de la simulación objetivo de este trabajo, y por último, se establecieron las estructuras de datos, la arquitectura general de *software*, las representaciones de interfaz y los algoritmos.

En la cuarta etapa, codificación, se transformaron los requerimientos y el diseño funcional planteado en código. Para desarrollar el modelo de simulación se consideró el *software NetLogo*, debido a que ha sido usado en una amplia variedad de contextos educativos y a que académicamente se muestra con amplias facilidades de aplicación. La quinta y última etapa fue la de pruebas y validación, y consistió en determinar el grado en el que el modelo de simulación corresponde a la adecuada representación del modelo metodológico; lo anterior, a través de la verificación de la estructura y de los parámetros; la configuración y análisis del caso empresarial de Wikipedia expuesto por Malone *et al.* (2010), en el modelo de simulación desarrollado; la configuración del entorno para definir los escenarios de prueba y la puesta a punto del modelo de simulación desarrollado hasta tanto represente el genoma de IC propuesto por Malone *et al.* (2010) y se evidencie IC acorde con el caso empresarial de estudio.

(T3) Diseño del modelo de simulación

El diseño del modelo tomó como punto de partida la simulación *Ants Packet Predation 2NET Human*, propuesta por Posada (2018), que tenía como propósito comparar el desempeño de dos organizaciones con respecto a la agilidad para atender las oportunidades y amenazas del entorno; y además, se consideró lo planteado por Niño y Román (2016):

El aprendizaje organizacional privilegia los niveles organizacionales y de grupo sobre el nivel individual, y se considera un proceso favorecido por estructuras organizacionales planas y ambientes organizacionales ricos en autonomía local, confianza y cooperación más allá de las fronteras funcionales entre divisiones o departamentos. (p. 136)

Para la consecución del objetivo de esta investigación, en el modelo de simulación se configuraron dos organizaciones empresariales: la primera representó el genoma de IC de Malone *et al.* (2010) y la segunda tuvo características de una estructura jerárquica en la toma de decisiones y la orientación al dinero. Así, se pudo comparar el comportamiento de las dos organizaciones respecto al aprovechamiento de los recursos.

El desarrollo de una organización depende directamente de su capacidad para tomar decisiones y para adaptarse a las condiciones del entorno (López *et al.*, 2014); por tanto, las condiciones externas que pueden influir en las dos organizaciones y con las que mantienen en continua interacción son cambiantes e iguales para las dos organizaciones; es decir, se encuentran inmersas en un entorno empresarial caracterizado por la presencia de ideas/oportunidades y factores perturbadores o amenazas, y en el que las dos empresas tienen la misma posibilidad de identificarlas, aprovecharlas o mitigarlas.

El desarrollo y ejecución de proyectos para aprovechar ideas/oportunidades puede realizarse de manera individual o grupal. Las acciones individuales son desarrolladas por un solo agente, en tanto que las grupales implica la coordinación de dos y hasta diez agentes. Las ideas/oportunidades desarrolladas de manera individual se encuentran concentradas en la interfaz gráfica del modelo de simulación en tres puntos equidistantes entre las dos organizaciones; por su parte, las ideas/oportunidades que pueden ser desarrolladas de manera grupal emergen en cualquier posición dentro del entorno empresarial. Adicionalmente, las

ideas/oportunidades que pueden ser desarrolladas de manera individual se restablecen, es decir, vuelven a aparecer en el entorno empresarial cuando diez ideas/oportunidades del total de existentes quedan sin ejecutar; en el caso de las ideas/oportunidades grupales estas permanecen en el entorno por un periodo que depende de una constante y del número de agentes necesarios para ejecutarla.

Los factores perturbadores o amenazas (que pueden ser también comprendidos como amenazas) absorben los recursos disponibles de la organización y ponen en riesgo su perdurabilidad. En la simulación los agentes de cada organización tienen la capacidad de afrontar de manera individual o grupal los factores perturbadores o amenazas. Los factores perturbadores o amenazas no están ubicados en un punto fijo del entorno empresarial, por tanto, pueden presentarse en cualquier lugar y momento.

Por otro lado, y teniendo en cuenta que los recursos son uno de los factores que influyen en la emergencia de ideas y de manera amplia en la creatividad de una organización (Dananjaya y Kuswanto, 2015; Kim *et al.*, 2016; Smith *et al.*, 2008; Chang y Shih, 2019; Walton, 2003; Lomberg *et al.*, 2017; Jain y Jain, 2016; Blomberg y Kallio, 2017; Yeh y Huan, 2017), el modelo de simulación se configuró de tal forma que cuando un individuo es vinculado a cualquiera de las dos organizaciones, este adquiere una cantidad de recursos de tipo humano, material, financiero, técnico y tecnológico, cuyo valor corresponde a un número aleatorio en el rango de 0 a 650. El valor de los recursos disponibles por un empleado cambia en función del éxito en el desarrollo y ejecución de ideas/oportunidades, en la neutralización de factores perturbadores o amenazas explorados en el entorno empresarial, y en la ejecución de una idea que haya sido creada por él; es decir, el desarrollo y ejecución de algún proyecto y la creación de una idea exige una inversión en recursos y puede generar ganancias, si este se logra

ejecutar de manera satisfactoria. La satisfacción en el desarrollo de un proyecto se da si este logra ejecutarse antes de que la oportunidad o el factor perturbador desaparezca del entorno empresarial.

El diseño de la forma en que trabajan las dos organizaciones se orientó por las preguntas que se encuentran en la propuesta de Malone *et al.* (2010). Así, las tablas 1 y 2 resumen cómo fueron ideados cada uno de los genes para ser incorporados en el modelo de simulación, tanto para la organización configurada con el genoma de IC como para la organización jerárquica, respectivamente.

Tabla 1

Idealización de los genes propuestos por Malone *et al.* (2010), para ser incorporados en el modelo de simulación para la organización configurada con el genoma de IC

¿Qué se está haciendo?	Decidir	Desarrollar y ejecutar proyectos para aprovechar ideas/oportunidades o mitigar factores perturbadores o amenazas.
	Crear	Concebir una idea de negocio para mejorar las circunstancias actuales o crear otras nuevas.
¿Quién lo está haciendo?	Multitud	Para la acción de decidir todos los agentes que forman parte de la lista de contactos del agente proponente intervienen en la decisión de aceptar o rechazar la propuesta de una actuación conjunta, sin tener en cuenta el rol que tiene el agente que la hace; es decir que es indiferente si la propuesta la hace un agente común o aquel que es marcado como líder. En el caso de la acción crear todos los miembros de la organización, incluidos los líderes, pueden crear algún tipo de inquietud frente a los problemas identificados en la organización.
	Jerarquía	En la acción decidir se da más importancia al rol que tiene el agente que hace la propuesta, es decir, que si el agente identificado como líder es quien identifica una oportunidad de negocio y hace la propuesta de actuación conjunta hay más posibilidad de que los agentes que estén en su lista de contactos la acepten. Para la acción crear solo los agentes identificados como líderes tienen la potestad de crear algún tipo de inquietud frente a los problemas identificados en la organización.
¿Por qué lo están haciendo?	Dinero	Basados en la definición de <i>altruismo</i> , los agentes de la organización priorizan la creencia en el beneficio para el individuo. Puede tomar valores entre 1 y 10: 1 representa que el colaborador está bajamente motivado, y 10 que está totalmente motivado. Modula la retribución en términos de recursos que los agentes reciben al realizar actividades de decisión y de creación.
	Amor	Basados en la definición de <i>altruismo</i> , los agentes de la organización priorizan la creencia en el beneficio para la organización. Puede tomar valores entre 1 y 10: 1 representa que el colaborador está bajamente motivado, y 10 que está totalmente motivado. Modula la retribución en términos de recursos que la organización recibe al realizar actividades de decisión y de creación.
	Gloria	Se definió como el reconocimiento que incrementa el nivel de confianza entre los agentes que forman parte de la organización. Puede tomar valores entre 1 y 10: 1 representa que el colaborador está bajamente motivado, y 10 que está totalmente motivado. Evoluciona en función del resultado de las actuaciones conjuntas, las experiencias positivas conducen a incrementar la confianza percibida entre los miembros, mientras que las negativas conducen a disminuirla; la confianza cambia acorde con la situación, el contexto y no es proporcional entre los agentes (Alfarez 2005; Marsh, 1994; Luhmann, 1979; Deutsch, 1958).

¿Cómo lo están haciendo?	Decisión individual	Mercado	Se basa en la valoración de recursos disponibles y el análisis de costo/beneficio, buscando maximizar tanto sus propios recursos como los de la organización.
		Red social	Se evidencia mediante el arreglo para la vinculación de los agentes a la organización y la evolución del grado de confianza entre ellos.
	Decisión grupal	Votación	La regla del sistema de votación expone que, si más de la mitad de los votantes se deciden por una de las opciones, esta debe ser el resultado único de la elección.
		Promedio	Se calcula la media aritmética, sumando los valores numéricos de la decisión de cada agente de desarrollar y ejecutar un proyecto, y dividiendo por el número de agentes convocados.
		Consenso	Todos los agentes convocados a participar en el desarrollo y ejecución de un proyecto aceptan o rechazan de manera unánime la propuesta.
		Mercado de predicción	Esta afectado indirectamente por el gen mercado toda vez que para una decisión grupal es necesaria la percepción individual de los agentes.
	Colección		Solo el agente que haya identificado un problema en el medio donde se encuentra y origine una inquietud sobre cómo resolverlo, podrá evaluar si su idea puede implementarse y ponerse a disposición de la organización para su aprovechamiento y ejecución; y pondrá los recursos necesarios para el proceso de creación.
	Colaboración		El agente que haya originado la inquietud envía un mensaje directo a los individuos que forman parte de su lista de contactos para presentársela y pone a su consideración la opción de trabajar colaborativamente para ponerla a disposición de la organización; aquellos cuya evaluación haya sido positiva aportan parte de sus recursos disponibles al proceso de creación.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2

Idealización de los genes propuestos por Malone *et al.* (2010), para ser representados en el modelo de simulación para la organización jerárquica

¿Qué se está haciendo?	Crear	Concebir una idea de negocio para mejorar las circunstancias actuales o crear otras nuevas.
	Decidir	Desarrollar y ejecutar proyectos para para aprovechar ideas/oportunidades o mitigar factores perturbadores o amenazas.
¿Quién lo está haciendo?	Jerarquía	Solo los agentes identificados como líderes tienen la potestad de crear algún tipo de inquietud frente a los problemas identificados en la organización, o de proponer el desarrollo y ejecución de nuevos proyectos.
¿Por qué lo están haciendo?	Dinero	Basados en la definición de <i>altruismo</i> , los agentes de la organización priorizan la creencia en el beneficio para el individuo. Tiene un coeficiente estático en el tiempo y no modula la retribución en términos de recursos para los agentes que apoyan las actividades de creación o de decisión.
	Amor	Basados en la definición de <i>altruismo</i> , los agentes de la organización priorizan la creencia en el beneficio para la organización. Tiene un coeficiente estático en el tiempo y no modula la retribución en términos de recursos para la organización al desarrollar actividades de creación o de decisión.
	Gloria	Se definió como el reconocimiento que incrementa el nivel de confianza entre los agentes que forman parte de la organización. La dinámica de confianza evoluciona con el desarrollo de acciones conjuntas, pero a diferencia de la organización configurada con el genoma de IC es que no está siendo afectada adicionalmente por algún control deslizante, simplemente está acompañado por un coeficiente cuyo valor permanece invariable en el tiempo.
¿Cómo lo están haciendo?	Debido a que la disposición configurada para la organización jerárquica se concibió a partir de los principios de una estructura organizacional de jerarquía formal, basada en una sola autoridad; en donde todas las posiciones deben ubicarse a lo largo de líneas oficiales de mando y control de arriba hacia abajo, es decir, transmisión de órdenes de arriba hacia abajo; se consideró que solo los agentes identificados como líderes tienen la potestad de proponer el desarrollo y ejecución de proyectos y la creación de ideas, y por ende únicamente dichos agentes tienen la opción de convocar a otros para participar en una acción conjunta; cuando un agente recibe una propuesta de actuación conjunta por parte del líder, la procesa para aceptarla o rechazarla y si decide aceptarla se dirige hacia la ubicación de aquel líder.	

Fuente: elaboración propia.

Los mecanismos de evaluación implementados en el modelo de simulación, y que permiten que los agentes tanto de la organización configurada con el genoma de IC como de la jerárquica consideren aceptar o rechazar una propuesta de actuación conjunta, se resumen en la tabla 3.

Finalizada la configuración de las dos organizaciones, es importante aclarar que aquella que contiene los componentes del genoma de IC representa al modelo propuesto por Malone *et al.* (2010), exclusivamente cuando la multitud es quien realiza la tarea de crear y decidir.

Tabla 3
Mecanismos de evaluación

	Organización configurada con el genoma de IC		Organización jerárquica	
Mecanismo de evaluación para la acción decidir	$\begin{aligned} &let\ decision \\ &= (GLORIA * e_confidence) \\ &+ (MULTITUD * e_pwr) \\ &+ (DINERO_D * cbi_a) \\ &+ (AMOR_D * cbo_a) \end{aligned}$	El valor de GLORIA, GLORIA_C, MULTITUD, MULTITUD_C, DINERO_D, DINERO_C, AMOR_D y AMOR_C está dado por el control deslizante dispuestos en la interfaz gráfica del modelo de simulación y que llevan el mismo nombre.	$\begin{aligned} &set\ dec_t\ abs\ ((C1 \\ &* e_confidence) \\ &+ (C2 * e_pwr) \\ &+ (C3 * cbi_a) \\ &+ (C4 * cbo_a)) \end{aligned}$	El valor de los coeficientes C1, C2, C3 y C4 dependerán de la jerarquización que se haga de las variables que intervienen.
Mecanismo de evaluación para la acción crear	$\begin{aligned} &set\ dec_creation\ ((GLORIA_C \\ &* c_crear) + (MULTITUD_C \\ &* e_pwr) + (DINERO_C \\ &* cbi_a) + (AMOR_C \\ &* cbo_a)) \end{aligned}$		$\begin{aligned} &set\ dec_C\ abs\ ((C1 \\ &* c_crear_r) + (C2 \\ &* e_pwr) + (C3 \\ &* cbi_a) + (C4 \\ &* cbo_a)) \end{aligned}$	
e_pwr, representa la relación de influencia entre los agentes dada por una posición privilegiada entre ellos. cbi_a, representa la creencia en el beneficio para el individuo. cbo_a, representa la creencia en el beneficio para la organización. e_confidence, representa la el grado de confianza entro los individuos de una organización empresarial ante la acción de decidir. c_crear representa el grado de confianza entro los individuos de una organización empresarial ante la acción de crear. c_crear_r, representa el grado de confianza generado entre los agentes por crear nuevas ideas en la organización jerárquica.				

Fuente: elaboración propia.

(T3) Validación del modelo de simulación

En el proceso de verificación, sintonización y validación del modelo de simulación se seleccionaron algunas de las variables más relevantes y se combinaron entre sí, para observar y analizar qué comportamiento siguen las organizaciones configuradas y determinar qué combinación permite maximizar el aprovechamiento de los recursos y de

ideas/oportunidades, o mitigar factores perturbadores o amenazas; las variables que se sometieron a modificación en este proceso fueron las descritas en la tabla 4.

Dado que el resultado de la simulación depende de una cantidad significativa de variables que deben ser ajustadas, y con el ánimo de conocer cómo influye cada una de ellas y cada posible combinación, se optó por un diseño experimental usando el paquete estadístico *Minitab*. De esta manera se podrán tomar decisiones respecto a cómo ajustar cada variable para lograr el comportamiento inteligente de las organizaciones, en términos del aprovechamiento de los recursos, al representar el genoma específico de Wikipedia. Este caso fue identificado por Malone *et al.* (2010) y les permitió demostrar cómo grupos de personas grandes y poco organizados pueden trabajar juntos de manera sorprendentemente efectiva. Malone *et al.* (2010) mencionan que, en Wikipedia, personas de todo el mundo han producido colectivamente la enciclopedia más grande del mundo, con artículos de notable calidad; allí, quienes deciden colaborar pueden hacer cualquier modificación, y la decisión sobre qué cambios se mantienen, se toma mediante un consenso general de quienes se interesan, pues las personas que hacen este trabajo son voluntarias. El genoma de IC que planteó Malone *et al.* (2010) para Wikipedia es el que se muestra en la tabla 5.

Tabla 4

Variables sometidas a modificación en el proceso de validación del modelo de simulación

Variable	Descripción
e_Repo_Crear	Define las ganancias en términos de recursos que recibe cada uno de los agentes que participaron en la creación de una idea, cuando esta es desarrollada y ejecutada satisfactoriamente, inicialmente se evaluó con un valor mínimo de 1 y un máximo de 80.
e_Repo_Trans	Determina las ganancias en términos de recursos que recibe cada uno de los agentes que participaron en el desarrollo y ejecución de un proyecto, cuando este resulta satisfactorio, inicialmente se consideró como valor mínimo 1 y como valor máximo 80.
e_Repo_Nido	Establece las ganancias en términos de recursos que recibe la organización cada vez que el desarrollo y ejecución de un proyecto tiene un resultado satisfactorio, inicialmente se estimó como valor mínimo 1 y como valor máximo 80.
Costo_De_Idea	Representa el porcentaje de recursos que invierte un agente cada vez que participa en la creación de una idea, se evaluó con un valor mínimo de 0,1 y un máximo de 0,5.

Variable	Descripción
Umbral_C	Corresponde al umbral de decisión para la creación de una idea en la organización configurada con el genoma de IC, es el valor que debe ser superado en la suma ponderada de los factores que intervienen en el mecanismo de evaluación para que una propuesta de creación sea aceptada; en el proceso de exploración se consideró inicialmente como valor mínimo -16 y como valor máximo 13.
Umbral_D	Corresponde al umbral de decisión para la ejecución de proyectos en la organización configurada con el genoma de IC, es el valor que debe ser superado en la suma ponderada de los factores que intervienen en el mecanismo de decisión para que una propuesta de ejecución de proyectos sea aceptada; en el proceso de exploración se consideró inicialmente como valor mínimo -16 y como valor máximo 13.
Umbral_C_R	Corresponde al umbral de decisión para la creación de una idea en la organización jerárquica, es el valor que debe ser superado en la suma ponderada de los factores que intervienen en el mecanismo de evaluación para que una propuesta de creación sea aceptada; en el proceso de exploración se consideró inicialmente como valor mínimo -1 y como valor máximo 10.
Umbral_T_R	Corresponde al umbral de decisión para la ejecución de nuevos proyectos en la organización jerárquica, es el valor que debe ser superado en la suma ponderada de los factores que intervienen en el mecanismo de decisión para que una propuesta de ejecución de proyectos sea aceptada; en el proceso de exploración se consideró inicialmente como valor mínimo -1 y como valor máximo 10.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5

Genoma de inteligencia colectiva para Wikipedia

Ejemplo	Qué		Quién	Por qué	Cómo
Editar un artículo existente en Wikipedia	Crear	Nueva versión del artículo	Multitud	Amor, gloria	Colaboración
	Decidir	Mantener la versión actual	Multitud	Amor, gloria	Consenso

Fuente: tomado de Malone *et al.* (2010).

Lo primero para realizar el diseño de experimentos fue determinar las variables a analizar y sus niveles, como se indicó al inicio de este apartado; luego se creó el diseño factorial fraccional en el *software Minitab* para considerar la posible interrelación entre las variables, se seleccionaron cinco repeticiones o réplicas para cada prueba. Al introducir ocho variables, cada una con dos niveles, *Minitab* arroja que se deben ejecutar 80 pruebas; además, muestra una matriz de diseño con la configuración de cada una de ellas, cabe aclarar que son 16 escenarios o configuraciones diferentes y cinco corridas por cada uno.

Luego de tener el arreglo para cada una de las pruebas, se procedió a realizar la configuración del modelo de simulación para representar cada una y ejecutar las respectivas corridas; cada una se hizo para 6000 unidades de tiempo o *ticks* establecidas en *NetLogo*. La variable de respuesta que se consideró en el diseño de experimentos fue el comportamiento colectivo que parezca inteligente en las organizaciones configuradas, esto en términos de aprovechar de

mejor manera los recursos disponibles y las ideas/oportunidades, o mitigar factores perturbadores o amenazas; por tanto, se sumó el número de proyectos que resultaron exitosos para cada caso.

Siguiendo con el diseño experimental, se procedió a ingresar los datos de la variable de respuesta al *software Minitab*, con el fin de obtener un modelo a partir de los datos y de generar algunas gráficas que permitieran evaluar los efectos de las ocho variables, y determinar cuáles son más importantes para optimizar el aprovechamiento de los recursos disponibles en las organizaciones configuradas.

Tabla 6
Valor de referencia para las variables e interacciones

Term	p-Value	VIF
Constant	0,000	
Umbral de creación OA	0,000	1,00
Umbral de aprovechamiento OA	0,000	1,00
Umbral de creación OR	0,000	1,00
Umbral de aprovechamiento OR	0,000	1,00
Recursos por crear	0,000	1,00
Recursos por aprovechar	0,000	1,00
Recursos a la organización	0,000	1,00
Recursos invertidos para crear	0,000	1,00
Umbral de creación OA* Umbral de aprovechamiento OA	0,000	1,00
Umbral de creación OA* Umbral de creación OR	0,024	1,00
Umbral de creación OA* Umbral de aprovechamiento OR	0,000	1,00
Umbral de creación OA* Recursos por crear	0,036	1,00
Umbral de creación OA* Recursos por aprovechar	0,097	1,00
Umbral de creación OA* Recursos a la organización	0,000	1,00
Umbral de creación OA* Recursos invertidos para crear	0,000	1,00

Fuente: elaboración propia.

De los resultados arrojados por *Minitab* luego del análisis, y teniendo en cuenta que los efectos son estadísticamente significativos cuando sus valores *p* en la tabla *Coefficientes codificados* son menores que el nivel de significancia, cuyo valor predeterminado es de 0,05, se concluyó que el efecto de todas las variables es significativo para el modelo, como lo muestra la tabla 6. Se evaluó también el diagrama de Pareto de los efectos estandarizados (figura 1) para determinar en qué medida los efectos influyen en la variable de respuesta; los

efectos que se extienden más allá de la línea de referencia, que en este caso está en 2, son estadísticamente los más significativos para el modelo. De dicho grafico se ratifica lo concluido del análisis de varianza presentado en la tabla 6.

Considerando los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza, el diagrama de Pareto y la correlación entre variables (figura 2), se optó por adelantar nuevas pruebas en las cuales a la variable *e_Repo_Trans* y a la interacción entre las variables *Umbral_C* y *Costo_De_Idea* se les asignaran diferentes niveles, con el propósito de maximizar la variable de respuesta; mientras que el resto de variables permanecerían constantes. Para lo anterior, se configuró un escenario optimista, otro de tendencias y uno pesimista; en la tabla 7 se relaciona el valor asignado a cada variable en cada uno de los escenarios.

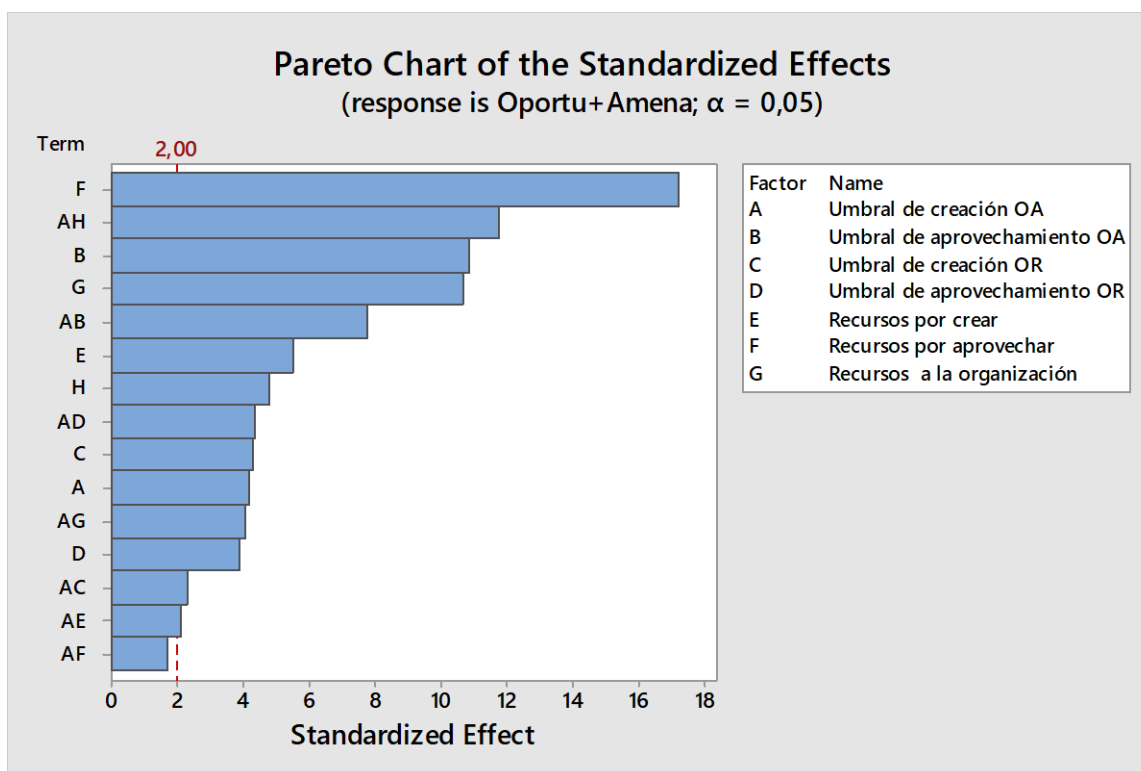


Figura 1. Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados
Fuente: elaboración propia.

Tabla 7

Parámetros definidos para el escenario optimista, de tendencia y pesimista, a partir de los resultados del diseño experimental

	Escenario optimista	Escenario de tendencia	Escenario pesimista
Umbral_C	-9	-9	-9
	-2	-2	-2
	6	6	6
Umbral_D	-9	-2	6
Umbral_C_R	0	5	8
Umbral_T_R	0	5	8
e_Repo_Crear	70	40	10
e_Repo_Trans	20	20	20
	40	40	40
	60	60	60
e_Repo_Nido	70	40	10
Costo_De_Idea	0,1	0,1	0,1
	0,25	0,25	0,25
	0,5	0,5	0,5

Fuente: elaboración propia.

(T2) Resultados

De la combinación de los valores presentados en la tabla 7 resultaron 27 combinaciones diferentes por cada escenario, y para garantizar los resultados se hicieron 5 corridas por cada una; por tanto, en total se realizaron 405 pruebas, cada una para 6000 unidades de tiempo, o *ticks*, establecidas en *NetLogo*.

En las pruebas sobre el escenario optimista se evidenció que, en el 70 % de las configuraciones, la organización que contenía el genoma de IC presentaba niveles más altos en términos de aprovechar de mejor manera los recursos disponibles y las ideas/oportunidades, o mitigar factores perturbadores o amenazas, comparados con los obtenidos por la organización jerárquica; la misma situación se presentó en el escenario de tendencia y en el pesimista con valores de 81 % y 77 %, respectivamente.

Por otro lado, en el escenario optimista, el valor más alto de aprovechamiento de recursos que alcanzaron las organizaciones fue 496 para la configurada con el genoma de IC, y 270 para la jerárquica. En el escenario de tendencia fue 572 y 168, respectivamente; y en el pesimista, fue 240 y 133. La tabla 8 resume las combinaciones que permiten maximizar el aprovechamiento de los recursos en las organizaciones configuradas para cada uno de los escenarios; analizándolos se logró concluir que, para maximizar el aprovechamiento de los recursos en las organizaciones configuradas, las variables consideradas deben tomar los siguientes valores:

Umbral_C	-2
Umbral_D	-2
Umbral_C_R	5
Umbral_T_R	5
e_Repo_Crear	40
e_Repo_Trans	60
e_Repo_Nido	40
Costo_De_Idea	0,1

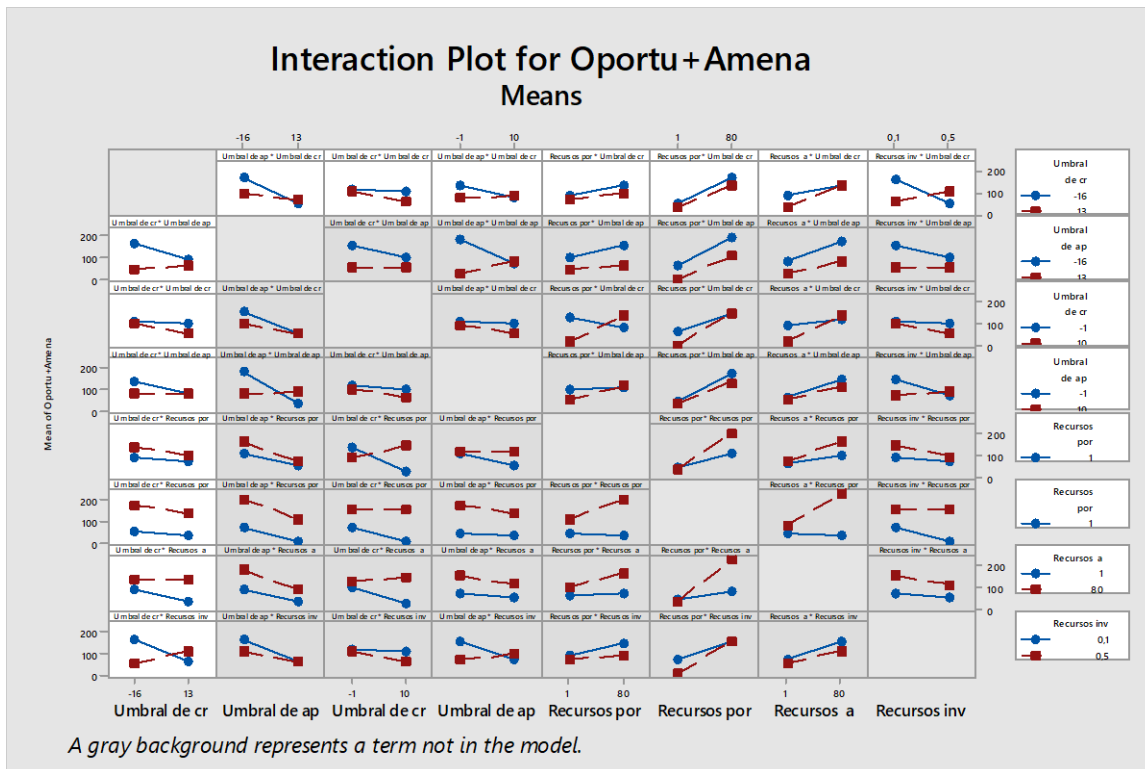


Figura 2. Interacción entre variables
Fuente: elaboración propia.

Tabla 8
Combinaciones que optimizan la variable de respuesta para cada uno de los escenarios

	Escenario optimista		Escenario de tendencia		Escenario pesimista	
	Organización con el genoma de IC	Organización jerárquica	Organización con el genoma de IC	Organización jerárquica	Organización con el genoma de IC	Organización jerárquica
Umbral_C	-2	-2	-2	-2	6	-2
Umbral_D	-9	-9	-2	-2	6	6
Umbral_C_R	0	0	5	5	8	8
Umbral_T_R	0	0	5	5	8	8
e_Repo_Crear	70	70	40	40	10	10
e_Repo_Trans	60	60	60	60	60	40
e_Repo_Nido	70	70	40	40	10	10
Costo_De_Idea	0,1	0,25	0,1	0,5	0,1	0,1

Fuente: elaboración propia.

Una vez definido el valor que tomaría en el modelo de simulación diseñando cada una de las variables sometidas a sintonización, y continuando con el proceso de verificación del modelo de simulación, se recurrió a tomar otro de los casos documentados por Malone *et al.* (2010)

de Wikipedia, que es el que se muestra en la tabla 9, y representarlo en el modelo de simulación desarrollado.

Dado que el caso de Wikipedia documentado por Malone *et al.* (2010) es teórico, se definió que la situación a analizar en la contrastación del modelo metodológico con el modelo de simulación desarrollado era el comportamiento colectivo inteligente en la organización que contiene el genoma de IC, esto en términos de aprovechar de mejor manera los recursos disponibles y las ideas/oportunidades, o mitigar amenazas, por tanto, se estableció que cuando la organización influenciada por el genoma de IC presentara porcentajes de aprovechamiento y de mitigación de más del 50 %, se consideraría un comportamiento inteligente.

Para garantizar los resultados, la configuración del genoma se sometió a diez corridas, cada una se realizó hasta 6000 unidades de tiempo, o *ticks*. Los resultados de las pruebas realizadas que se relacionan en la tabla 10, permitieron evidenciar que, en el 70 % de las corridas, el porcentaje de aprovechamiento y de mitigación estuvo por encima del 50 %, de ahí se concluyó que el modelo de simulación desarrollado corresponde a la representación del modelo metodológico del genoma de IC propuesto por Malone *et al.* (2010), acorde con el caso empresarial de estudio.

Tabla 9
Genoma de inteligencia colectiva para Wikipedia

Ejemplo	Qué		Quién	Por qué	Cómo
Crea la colección de artículos de Wikipedia	Crear	Artículo nuevo	Multitud	Amor, gloria	Colección
	Decidir	Eliminar la versión preliminar	Multitud	Amor, gloria	Votación

Fuente: tomado de Malone *et al.* (2010).

Tabla 10

Resultados en términos de aprovechamiento de recursos para la organización que contiene el genoma de IC al representar el genoma de Wikipedia

	Número de ideas/oportunidades y amenazas dispuestas en el medio	Número de proyectos desarrollados por la organización configurada con el genoma de IC para aprovechar ideas/oportunidades y mitigar amenazas	Porcentaje de aprovechamiento y mitigación
Corrida 1	887	431	49
Corrida 2	829	379	46
Corrida 3	931	531	57
Corrida 4	850	533	63
Corrida 5	1145	573	50
Corrida 6	800	434	54
Corrida 7	405	314	78
Corrida 8	1024	520	51
Corrida 9	915	499	55
Corrida 10	962	565	59

Fuente: elaboración propia.

(T2) Conclusiones

Los modelos de simulación multiagente permiten representar los comportamientos emergentes de una organización empresarial, a partir de la interacción entre los agentes internos y externos.

Con los resultados obtenidos en la validación del modelo de simulación desarrollado, al representar el caso específico de la empresa Wikipedia, se puede afirmar que el modelo de simulación desarrollado representa el genoma de IC propuesto por Malone *et al.* (2010), cuando la multitud es quien realiza la acción de crear y decidir, lo que contribuye a la comprensión del modelo metodológico y a la exploración de diferentes configuraciones del genoma que permita evaluar características que otorgue el comportamiento inteligente de una organización empresarial.

A través del análisis y validación realizado para sintonizar un modelo de simulación, se encuentran un número importante de interacciones no consideradas durante su desarrollo. Además, en el caso de una organización empresarial, el uso de un modelo como el

desarrollado en esta investigación, pone de manifiesto puntos débiles en su estructura. Por tanto, el proceso de representación mediante modelos resulta beneficioso para la toma de decisiones.

Si bien todas las variables representativas del modelo son significativas para este, y pasan la validación estadística, la variable que mayor significancia representa corresponde a las ganancias en términos de recursos que recibe cada uno de los agentes que participaron en el desarrollo y ejecución de un proyecto.

Una de las actividades más complejas que se realizó en esta investigación fue la de sintonización de los factores externos e internos a la organización que permitieron maximizar el aprovechamiento de recursos, ya que debido a la complejidad del modelo no fue fácil identificar una metodología que permitiera considerar todos los posibles escenarios. Inicialmente se consideró adelantar la sintonización a través del método de ensayo y error; sin embargo, luego de varias iteraciones manuales no fue posible encontrar una región que permitiera comprobar la maximización de la variable de respuesta; por tanto, se optó por usar en primera medida un diseño experimental de la forma 2^k , y luego la configuración de escenarios optimistas, de tendencias y pesimistas, en los cuales les fueron asignados diferentes niveles a aquellas variables que representaban mayor significancia para el modelo de simulación desarrollado.

El modelo de simulación desarrollado cuenta con limitaciones derivadas principalmente por la complejidad de representar organizaciones empresariales; sin embargo, pueden ser superadas en etapas posteriores de la investigación y de hecho constituyen un curso de acción a seguir dentro de la misma. El considerar otras interacciones u otros factores puede generar

niveles de complejidad mayores que facilitaran la comprensión y análisis de las organizaciones empresariales; y ampliar así otras áreas de investigación.

Una de las futuras líneas de investigación podría estar encaminada a analizar el efecto de diferentes configuraciones de los genes que conforman el genoma de IC propuesto por Malone *et al.* (2010), como alternativa que permitiría a las organizaciones empresariales desarrollar agilidad, en comparación con organizaciones jerárquicas caracterizadas por la orientación al dinero y la toma de decisiones *top down*.

(T2) Referencias

Alfarez, A. (2005). *A framework for decentralised trust reasoning* [Tesis doctoral]. University of London. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1444477>

Blomberg, A. y Kallio, T. (2017). Antecedents of organizational creativity: Drivers, barriers or both? *Journal of Innovation Management* Blomberg, 5, 78-104.
https://doi.org/10.24840/2183-0606_005.001_0007

Chang, Y. y Shih, H. (2019). Work curiosity: A new lens for understanding employee creativity. *Human Resource Management Review*, 29(4), 100672.
<https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2018.10.005>

Dananjaya, I. y Kuswanto, A. (2015). Influence of external factors on the performance

through the network of small and medium enterprises. *European Journal of Business and Management*, 7(27), 38-48.

De la Hoz, J., Carrillo, E. y Gómez, L. (2014). Memorias organizacionales en la era del almacenamiento en la nube. *Tecnura*, 18(40), 115-126.
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.2.a09>

Deutsch, M. (1958). Trust and suspicion. *Journal of Conflict Resolution*, 2(4), 265-279.
<https://doi.org/10.1177/002200275800200401>

Glenn, J. (2015). Collective intelligence systems and an application by the Millennium Project for the Egyptian Academy of Scientific Research and Technology. *Technological Forecasting and Social Change*, 97, 7-14.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.10.010>

Jain, R. y Jain, C. (2016). Employee creativity: A conceptual framework. *Management and Labour Studies*, 41(4), 294-313. <https://doi.org/10.1177/0258042X16676664>

Kim, K., Ryoo, S. y Lee, H. (2016). Environmental uncertainty and interorganizational information sharing: Accommodating manufacturer and supplier perspectives.

Information Development, 32(5), 1485-1502.

<https://doi.org/10.1177/0266666915608425>

Lomberg, C., Kollmann, T. y Stöckmann, C. (2017). Different styles for different needs. The effect of cognitive styles on idea generation. *Creativity and Innovation Management*, 26(1), 49-59. <https://doi.org/10.1111/caim.12188>

López, C. A., Medina, V. H. y Udden, L. (2014). Decision-making model for the development of productive capacity as a component of a knowledge management system. *Tecnura*, 18(edición especial doctorado), 16-29. 10.14483/Udistrital.Jour.Tecnura.2014.DSE1.A01.

Luhmann, N. (1979). *Trust and power*. Polity Press.

Malone, T. W., Laubacher, R. y Dellarocas, C. (2010). *The collective intelligence genome*. *MIT Sloan Management Review*, 51(3), 21-31. <https://doi.org/10.1109/EMR.2010.5559142>

Marsh, S. (1994). *Formalising trust as a computational concept* [Tesis doctoral]. University of Stirling].

Niño, Y. y Román, R. (2016). El rol de los trabajos de grado como motor de aprendizaje

organizacional. El caso de los programas académicos de Tecnología Industrial e Ingeniería de Producción en la Universidad Distrital (Bogotá, D. C.). *Tecnura*, 20(edición especial), 132-146. 10.14483/Udistrital.Jour.Tecnura.2016.SE1.a10.

Posada, J. E. (2018). *La autoorganización empresarial como alternativa para incrementar la agilidad organizacional: una comparación de escenarios de simulación multiagente* [Tesis de maestría, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13507>.

Smith, M., Busi, M., Ball, P. y Van der Meer, R. (2008). Factors influencing an organisation's ability to manage innovation: A structured literature review and conceptual model. *International Journal of Innovation Management*, 12(4), 655-676. <https://doi.org/10.1142/S1363919608002138>

Walton, A. (2003). The impact of interpersonal factors on creativity. *International Journal of Entrepreneurial Behaviour & Research*, 9(4), 146-162. <https://doi.org/10.1108/13552550310485120>

Yeh, S. y Huan, T. (2017). Assessing the impact of work environment factors on employee creative performance of fine-dining restaurants. *Tourism Management*, 58, 119-131. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.10.006>