

Diseño de una actividad lúdica para enseñanza del problema de máxima cobertura: Instala el hospital

Design of a playful activity for teaching the Maximum Coverage Problem: Set up the hospital



Diseño de una actividad lúdica para enseñanza del problema de máxima cobertura: Instala el hospital¹

Design of a playful activity for teaching the Maximum Coverage Problem: Set up the hospital

Jair Eduardo Rocha-González², Ángela María Rodríguez-León³, Dayana Caterine Narvaez-Gómez⁴

Artículo recibido en abril 28 del 2020; artículo aceptado en septiembre 11 del 2020

Este artículo puede compartirse bajo la [Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) y se referencia usando el siguiente formato: Rocha-González, J. E., Rodríguez-León, A. M. y Narvaez-Gómez, D. C. (2021). Diseño de una actividad lúdica para enseñanza del problema de máxima cobertura capacitado: Instala el hospital. *I+D Revista de Investigaciones*, 16(1), 180-198. <http://dx.doi.org/10.33304/revinv.v16n1-2021015>.

Resumen

Este artículo contiene el diseño y desarrollo de una actividad lúdica con la cual es posible explicar los términos y relaciones que hacen parte del concepto del problema de máxima cobertura. Para ello, se seleccionó y empleó la metodología de cibernética de tercer orden en la formulación de actividades didácticas, con la cual fue posible caracterizar los diferentes elementos del problema referido y establecer la forma de relación de estos, para, a partir de ellos, establecer un contexto y una secuencia de actividades que posibiliten la explicación del concepto de máxima cobertura. Esto, a través de un juego con propósito direccionado al aprendizaje, que fue probado en estudiantes de un espacio curricular y un semillero de investigación. El diseño empleado y la actividad lúdica resultado del proceso muestran cómo es posible la construcción de actividades didácticas para la enseñanza de problemas de ingeniería desde una perspectiva cibernética.

Palabras clave: Juego de simulación, lúdica, máxima cobertura, modelo matemático, ubicación de instalaciones.

Abstract

This article contains the design and development of a playful activity with which it is possible to explain the terms and relationships that are part of the concept of the maximum coverage problem. For this purpose, the methodology of third order cybernetics was selected and used in the formulation of didactic activities, with which it was possible to characterize the different elements of the referred problem and to establish the form of relation among them, in order to establish a context and a sequence of activities that allow the explanation of the concept of maximum coverage through a game whose purpose is to learn, and that was tested on students of a curricular space and a research

¹ Artículo de investigación, enfoque cualitativo, resultado del proyecto finalizado relacionado con la iniciación investigativa en lúdicas, del semillero de investigación IMAPRO, perteneciente al área de ciencias sociales e ingeniería industrial, subárea de educación en ingeniería, desarrollado por el grupo investigación GIII, financiado por la Universidad de La Salle (Bogotá, Colombia). Dirección: calle 2 n.º 10-70, PBX: +5713535360. Fecha de inicio: 10 de julio de 2019. Fecha de terminación: 29 de febrero de 2019.

² Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad Francisco José De Caldas. Adscrito al grupo de investigación GIII, Universidad de La Salle (Bogotá, Colombia). Dirección: calle 2 n.º 10-70, PBX: +5713535360. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4636-5462>. Correo electrónico institucional: jerocha@unisalle.edu.co.

³ Ingeniero Industrial, Universidad de La Salle. Adscrito al grupo de investigación GIII, Universidad de La Salle (Bogotá, Colombia). Dirección: calle 2 n.º 10-70, PBX: +5713535360. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5445-8522>. Correo electrónico institucional: arodriguez83@unisalle.edu.co.

⁴ Ingeniero Industrial, Universidad De La Salle. Adscrito al grupo de investigación GIII, Universidad de La Salle (Bogotá, Colombia). Dirección: calle 2 n.º 10-70, PBX: +5713535360. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5834-0057>. Correo electrónico institucional: dnarvaez93@unisalle.edu.co.

seedbed. The design employed and the playful activity that resulted from the process show how it is possible to construct didactic activities for teaching engineering problems from a cybernetic perspective.

Keywords: simulation game, playful activity, maximum coverage, mathematical model, location of facilities.

Introducción

El problema de localización con máxima cobertura identifica el número mínimo de edificaciones con proyección de instalación en un área geográfica definida, con el propósito de que ningún usuario se encuentre a una distancia mayor de un parámetro dado de una o varias instalaciones nuevas a establecer en el proceso de decisión (Church y ReVelle, 1974). Este aspecto corresponde a una competencia en la formación de ingenieros de diferentes áreas para dar solución a necesidades de cobertura de servicios, suministro de mercancía y productos, provisión de asistencia humanitaria, entre otros aspectos (Boloori Arabani y Farahani, 2012; Farahani *et al.*, 2012); competencia que corresponde al diseño de la actividad lúdica objetivo de este artículo.

De esta forma, este tipo de problemas usualmente maximizan la cantidad de demanda cubierta por un número de instalaciones con una distancia de servicio aceptable (Church y ReVelle, 1974; Farahani *et al.*, 2012). Esto lleva a pensar que un nodo o un conjunto de ellos con demandas de servicios pueden ser cubiertos por una instalación de servicio, aspecto que en la realidad puede no ser capaz de cubrir en muchas ocasiones (Daskin, 1983).

De esta forma, el problema de máxima cobertura puede tener amplias aplicaciones con variantes como la maximización de la demanda cubierta, con restricciones que explican la relación entre la cobertura de demanda con uno o más potenciales lugares de servicio, así como con pesos iguales para cada punto de demanda, entre otros conceptos que pueden incorporarse en el diseño lúdico propuesto (Church y ReVelle, 1974; Current y Storbeck, 1988; White y Case, 1974).

Fundamentados en los anteriores conceptos, el objetivo de este artículo es presentar la propuesta de una forma alternativa para enseñar el problema de máxima cobertura, por medio del diseño de una lúdica donde sea posible generar un ambiente didáctico que incorpore los conceptos del problema de localización de máxima cobertura capacitada a un problema real de una zona en Colombia, siguiendo una metodología de realimentación de flujos de información con cibernética descrita en la literatura (Rocha-Gonzalez, 2011).

Ahora bien, para el diseño didáctico propuesto se encontraron dos antecedentes. El primero se centra en la localización de una empresa, con un método cualitativo de planeación estratégica, en el que se consideran

factores como demanda de productos, recursos, inseguridad, clima, inundaciones, entre otros (Vargas, 2013).

El segundo antecedente presenta el diseño de una lúdica para la enseñanza de localización de una o varias instalaciones, por medio del método de centro de gravedad que utiliza distancias rectilíneas y un heurístico para en el diseño (Davila Velez, 2014). Estos sirven como referencia para establecer la ausencia de métodos para la enseñanza del método de máxima cobertura, en relación con el cálculo de distancias, objetivo del modelo y enfoque cuantitativo para el desarrollo lúdico presentado.

Por tanto, realizar una didáctica acerca de los problemas de localización de instalaciones de producción o servicios es justificable, ya que este tipo de decisiones de localización involucran una cantidad considerable de recursos financieros a largo plazo (Farahani y Hekmatfar, 2009). Esto se debe a que las instalaciones son generalmente costosas e inamovibles, y afectan la operación y provisión de productos y servicios (Onieva, 2013). Tal es el caso de análisis de instalación de hospitales en el departamento del Chocó, para el cual se consideran los factores de demanda, dimensión de la instalación y diferencias en la ubicación.

Marco referencial

El marco de referencia de este artículo contiene dos aspectos. El primero se enfoca en el problema de localización de instalaciones con máxima cobertura y su variación con capacidad; el segundo aspecto se refiere a la disponibilidad de instalaciones hospitalarias en el departamento del Chocó para el contexto del juego.

De esta manera, el aspecto relativo a los métodos de localización de instalaciones y su relación geográfica, el problema de ubicación de cobertura máxima (SCP) y su variante con capacidad (CMCLP) son tradicionalmente formulados con modelos de programación entera mixta, cuya solución se realiza a través de algoritmos de corte o de bifurcación y acotamiento, para obtener óptimos globales del sistema (Drezner, 2007).

Para ello, el problema de cubrimiento de conjuntos *set covering problem* (SCP) es un tipo de modelo clásico de análisis combinatorio, que consiste en encontrar la ubicación de una o varias locaciones nuevas que cubran las necesidades de un conjunto de usuarios diseminados en un área geográfica al menor costo posible (Crawford *et al.*, 2016).

En consecuencia, el modelo de programación entera mixta que representa el problema de cubrimiento de conjuntos puede formularse de la siguiente manera (Xu *et al.*, 2020):

Índices:

i : Áreas de demanda (total n)
 j : Instalaciones potenciales (total m)

Parámetros:

a_i : Cantidad de demanda en el área i
 C_j : Capacidad de la instalación j
 p : Número de instalaciones para el sitio

Variables de decisión:

$X_j \begin{cases} 1, \text{ si la instalación } j \text{ está ubicada} \\ 0, \text{ de lo contrario} \end{cases}$

$Y_{ij} \begin{cases} 1, \text{ si la demanda } i \text{ se asigna por el centro } j \\ 0, \text{ de lo contrario} \end{cases}$

De acuerdo con la notación anterior, el modelo canónico se presenta a continuación:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_i * Y_{ij} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^m Y_{ij} \leq 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^m X_j = p \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n a_i * Y_{ij} \leq C_j * X_j \quad \forall j \quad (4)$$

$$X_j = \{0,1\} \quad \forall j \quad (5)$$

$$Y_{ij} = \{0,1\} \quad \forall j \quad (6)$$

Donde la función objetivo (1) maximiza la demanda que está cubriendo; la ecuación (2) es la restricción que indica que cada demanda debe asignarse como máximo a una instalación; la ecuación (3) indica que el número de instalaciones total debe ser exactamente el número de instalaciones indicadas (p); en la ecuación (4) se establecen los límites de capacidad, y se indica que el volumen de trabajo del establecimiento de una instalación no puede superar su capacidad; así mismo señala que una demanda nunca puede ser asignada a una instalación que no ha sido ubicada.

Entre tanto, para formular el problema de máxima cobertura capacitado, se considera una capacidad b_i de cada instalación $i \in I$ y las siguientes variables de decisión:

Variables de decisión:

$X_{ij} \begin{cases} 1 \text{ si el cliente } j \text{ esta cubierto por una instalación} \\ \text{ubicada en el nodo } i \\ 0 \text{ en otros casos} \end{cases}$

$Y_j \begin{cases} 1 \text{ si se selecciona una instalación en la ubicación } i \\ 0 \text{ en otros casos} \end{cases}$

El problema de máxima cobertura capacitado se formula de la siguiente manera:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} h_j x_{ij} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad \forall j \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} h_j x_{ij} = b_i y_i \quad \forall i \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_{ij} \leq p \quad \forall j \quad (4)$$

$$X_{ij} = \{0,1\} \quad \forall i, j \quad (5)$$

$$Y_i = \{0,1\} \quad \forall i \quad (6)$$

La función objetivo (1) y las restricciones (2) aseguran que cada cliente sea asignado a una sola instalación. El conjunto de restricciones (3) garantizan que se respete la capacidad de las instalaciones seleccionadas y, además, prohíben la asignación de clientes a centros cerrados. La restricción (4) permite seleccionar cuando más p instalaciones, mientras que (5) y (6) son las restricciones de integridad de las variables de decisión (López Robles, 2005).

Se puede decir que el objetivo de la cobertura máxima del problema de localización (MCLP) es ubicar un número fijo de instalaciones con el objetivo de proporcionar el servicio cubriendo tantas demandas como sea posible (ReVelle *et al.*, 2008; ReVelle y Swain, 1970).

Como consecuencia, este tipo de problema es aplicado en múltiples situaciones, como la provisión de servicios básicos a pobladores de ciudades distintas, el balance de líneas de producción, selección de municipios para la construcción de instalaciones contra fuego o instalación de redes de teléfonos celulares, para obtener la máxima cobertura con un mínimo costo posible (Crawford *et al.*, 2016).

A partir de los anteriores modelos, se extraen y presentan en la Tabla 1 los conceptos de modelo matemático, variables binarias, entre otros, que se consideran indispensables para el entendimiento de la lúdica, ya que son los utilizados en su desarrollo.

Tabla 1
 Conceptos incluidos en el modelo de cobertura máxima para la localización de locaciones

Concepto	Descripción
Modelo matemático	Constituye una representación o abstracción de la realidad. Es un intento de describir alguna parte del mundo real en términos matemáticos (Brito-Vallina <i>et al.</i> , 2011).
Variable binaria	Se puede interpretar como probabilidades que analiza. Es el resultado de una decisión: el decisor (persona, empresa, país) tiene que optar entre realizar una determinada acción o no, por ello el valor de la variable será cero o uno (Álvarez García, 2008).
Cobertura	Cantidad o porcentaje abarcado por una cosa o una actividad (Real Academia Española, 2020).
Ubicación de instalaciones	Consiste en realizar un estudio sistemático para determinar el sitio más conveniente que certifique la eficacia y eficiencia de las operaciones (Barragan Díaz y Cucaita Urbina, 2010).

Fuente: Autores.

Finalmente, en este aspecto los conceptos y modelos presentados de cobertura de conjuntos y de máxima cobertura que fueron anteriormente presentados establecen las variables y condiciones que se desarrollarán en el desarrollo de la presente lúdica, los cuales se incluyen en cada uno de los pasos de la metodología. Así, se conforma una heurística para el desarrollo didáctico, sin acudir en un inicio a la solución computacional requerida para un problema de programación entera mixta.

En otro aspecto, referente al departamento del Chocó para el contexto del juego, se presenta la ubicación geográfica: limita por el norte con la República de Panamá y el mar Caribe; por el este, con los departamentos de Antioquia, Risaralda y Valle del Cauca; por el Sur, con el departamento del Valle del Cauca, y por el Oeste, con el océano Pacífico, y cuenta con 30 municipios (Gobernación del Chocó, 2020), tal como se aprecia en la Figura 1.

Este departamento, en términos de atención en salud, cuenta en la actualidad con cinco hospitales de nivel I dedicados a atención básica y primeros auxilios, y uno más de nivel II, con servicios especializados. Esto se evidencia en los informes y artículos periodísticos publicados sobre el estado de salud en el Chocó, que servirán de contexto a esta actividad, tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2
 Hospitales del departamento del Chocó

Hospital	Ubicación	Nivel
Hospital Ismael Roldán Valencia	Quibdó	I
Hospital San Francisco de Asís	Quibdó	II
Ese Hospital San José de Condoto	Condoto	I
E S E Hospital Eduardo Santos Istmina	Istmina	I
Hospital San José de Tado	Tadó	I
E.S.E Hospital San Roque	El Carmen de Atrato	I

Fuente: Elaborado a partir de Organización Panamericana de la Salud Colombia (2010).

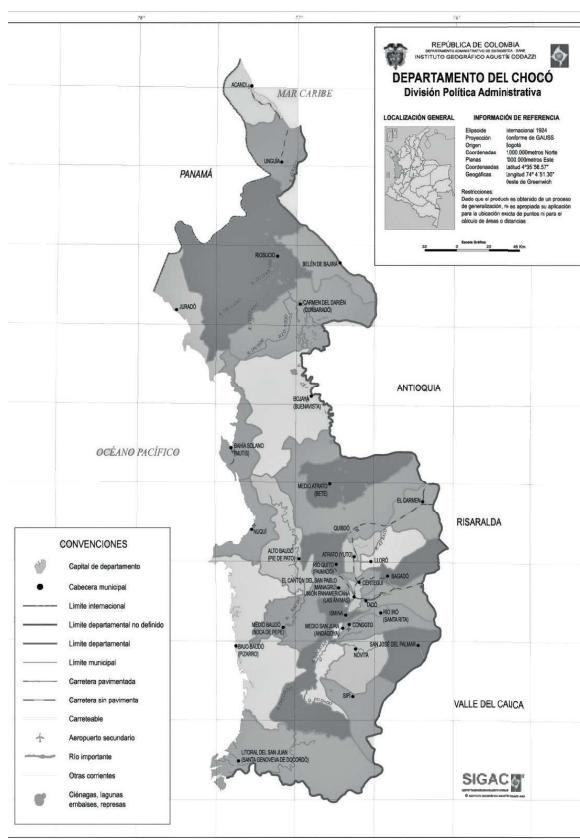


Figura 1. Mapa del departamento del Chocó. Fuente: Mapas Interactivos (2020).

Los anteriores datos, al ser contrastados con las cifras internacionales aceptadas de distancia desde una instalación hospitalaria nivel III o II, para cubrir poblaciones en servicios de salud estimadas en un máximo tiempo de recorrido de dos horas y un máximo de 200 kilómetros con vías de comunicación terrestre

(López y Aguilar, 2004), y niveles inferiores en distancia y tiempo de recorrido para instalaciones hospitalarias con menor categoría de atención, hacen pensar que el departamento tiene un bajo cubrimiento en el servicio de salud. Esta situación se evidencia en el hecho de que los hospitales se concentran en los municipios del centro del departamento, con vías de comunicación terrestre, y deja a la periferia y a un gran número de municipios que no tienen vías terrestres de comunicación sin cobertura de servicios médicos, ya que muchos de ellos solo cuentan con comunicación fluvial o aérea en el departamento, con tiempos medios de desplazamiento entre ocho horas y dos días de recorrido, y entre trecientos veinte y cuatrocientos ochenta kilómetros para los municipios más alejados del departamento (Gobernación del Chocó, 2010).

En otro aspecto, la población del departamento está distribuida tal como se presenta en la Tabla 3, la cual fue elaborada a partir de las proyecciones de la población del departamento del Chocó, con base en el censo nacional del 2020, que realizó el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Además, en la Figura 1 se muestra el mapa político del departamento del Chocó con sus 30 municipios.

Tabla 3
 Número de habitantes de los municipios del Chocó proyección 2020

Municipio	Habitantes 2020
Quibdó	116.322
Acandí	9.160
Alto Baudó	41.785
Atrato	11.337
Bagadó	7.844
Bahía Solano	9.450
Bajo Baudó	17.948
Bojayá	10.135
El Cantón del San Pablo	9.011
Carmen del Darién	5.603
Cértegui	10.274
Condoto	15.502
El Carmen de Atrato	15.264
El Litoral del San Juan	17.265

Istmina	26.133
Juradó	3.188
Lloró	11.637
Medio Atrato	34.617
Medio Baudó	14.551
Medio San Juan	18.268
Nóvita	7.960
Nuquí	9.068
Río Iro	10.580
Río Quito	9.512
Riosucio (2)	29.103
San José del Palmar	4.689
Sipí	4.336
Tadó	19.233
Unguía	15.367
Unión Panamericana	10.386

Fuente: Autores con base en DANE (2020).

Metodología

Este estudio es de tipo descriptivo y cualitativo, con enfoque no experimental, por cuanto el diseño de la actividad lúdica para la enseñanza del problema de cobertura máxima se fundamenta en la aplicación de cibernética de tercer orden, como elemento en el desarrollo de un juego que puede recrear un escenario desde una perspectiva de sistema retroalimentado, tal como lo define la red IDDEAL durante el año 2014 (Rocha González *et al.*, 2014).

De este modo, la metodología empleada en el desarrollo lúdico contiene cuatro niveles de pensamiento, tal como se describe en la Figura 2. En la parte superior se muestra un nivel axiológico, donde se observan las prácticas reales y las prácticas declaradas que se realizan en la construcción de un modelo de localización. El siguiente nivel en forma descendente es semiológico, que trata de la emisión de los mensajes pertinentes para la formulación de objetivos coherentes con el propósito de la lúdica.

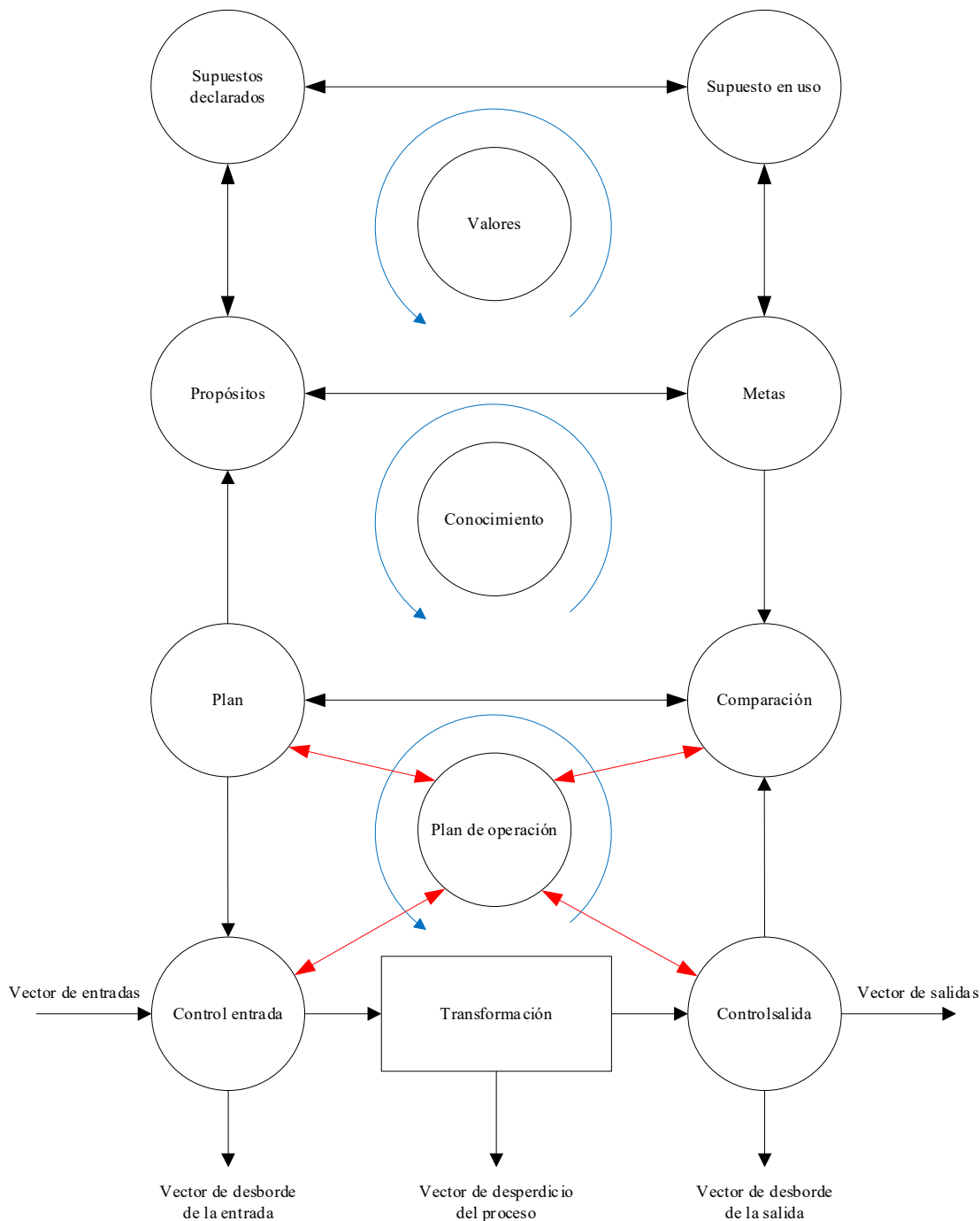


Figura 2. Círculo de retroalimentación de tercer orden genérico. Fuente: Nova Arevalo *et al.* (2011) citado en Rocha González *et al.* (2014).

Posteriormente, en el tercer nivel descendente se tiene uno epistemológico, en el cual se evalúa la aprehensión de los conceptos al comparar los resultados del diligenciamiento de los formatos y su influencia en el desarrollo de la lúdica planeada, a través de un plan de

consumo y aplicación de recursos. Para finalizar, en el nivel inferior se tiene un conjunto de entradas, procesos de transformación y salidas que corresponden a un nivel ontológico de la noción de proceso (Rocha González *et al.*, 2014).

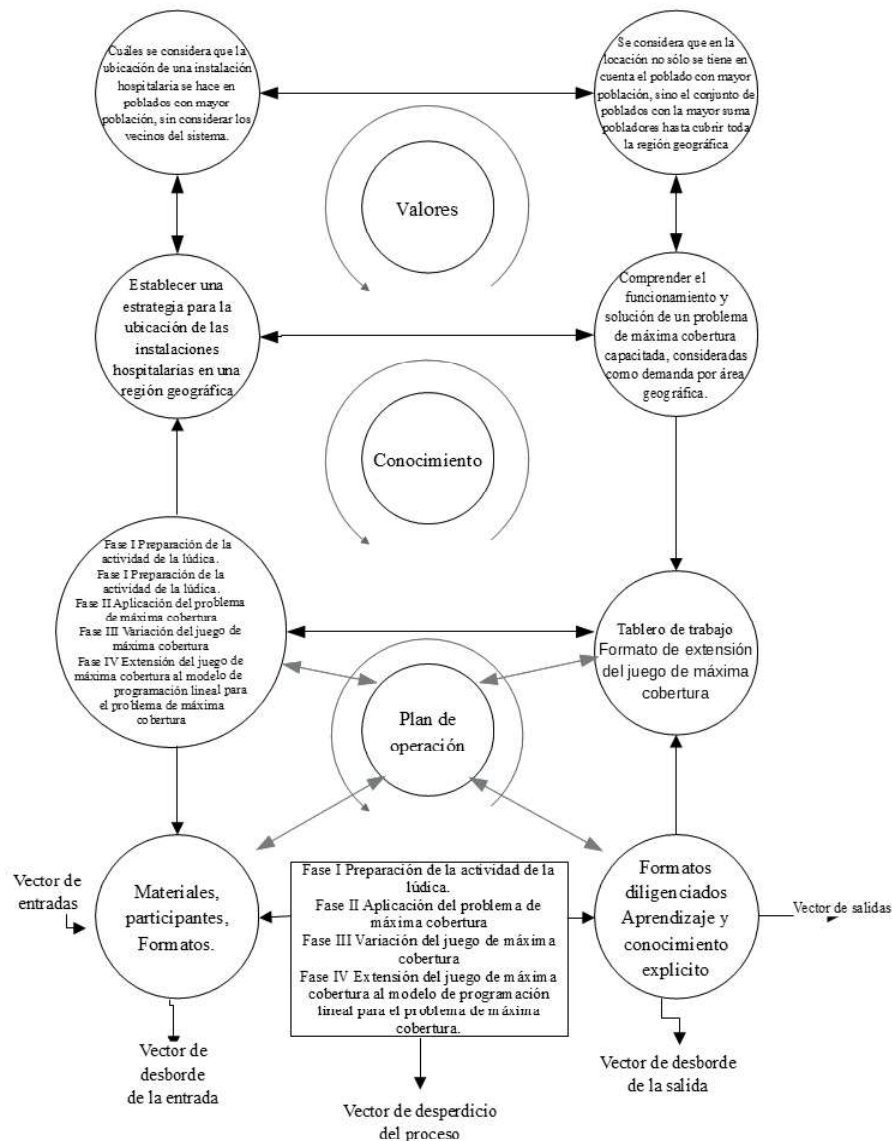


Figura 3. Círculo de retroalimentación de tercer orden genérico. Fuente: Autores.

A partir de los conceptos reseñados obtenidos de la cibernética de tercer orden, fue posible construir una representación de la lúdica con estos elementos (ver Figura 3), con los niveles axiológicos, semiológicos, epistemológicos y ontológicos referidos, como se relata a continuación:

1. Supuesto declarado: Son los referentes que utilizan las personas de forma usual, en los cuales se considera que la ubicación de una instalación hospitalaria se hace en lugares con mayor población sin considerar los vecinos del sistema.
2. Supuesto en uso: Es el referente para usar en el desarrollo de la actividad lúdica, en el cual se considera que en la localización no solo se tiene en cuenta el lugar con mayor población, sino el conjunto de lugares con el mayor número de pobladores, hasta cubrir toda la región geográfica.
3. Propósitos: En este ámbito se define la finalidad de la lúdica, la cual pretende establecer una estrategia para la ubicación de instalaciones hospitalarias en una región geográfica.
4. Metas: En este nodo se simbolizan los conceptos que servirán de objeto de aprendizaje y con los cuales un

participante podrá comprender el funcionamiento y solución de un problema de máxima cobertura. Se consideran la demanda por área geográfica, la variable binaria de decisión de ubicar o no una instalación, así como la cobertura que corresponde a la suma de elementos ubicados en áreas contiguas en un problema e instalación de ubicación.

5. Plan: En este nodo se simbolizan las fases consecutivas con las que el juego se realiza: 1) preparación de la actividad lúdica; 2) formulación del plan de ubicación de hospitales de forma intuitiva, y 3) formulación del modelo de cubrimiento máximo capacitado.
6. Comparación: En este control se establece la aprehensión de los conceptos establecidos como metas de aprendizaje frente a los resultados obtenidos en los formatos diligenciados por los participantes al realizar la lúdica, los cuales se obtendrán a través de dos fotografías de los resultados consignados en los tableros de trabajo llenos por cada grupo en cada fase del juego.
7. Control de entradas: En este nodo se identifican todos los recursos lúdicos necesarios en el desarrollo de la actividad, que abarcan los participantes, materiales, espacios y tableros utilizados por cada grupo de trabajo.
8. Proceso: Representa la realización de la actividad lúdica al seguir en forma consecutiva las siguientes fases: Fase I: Preparación de la actividad de la lúdica; Fase II: Aplicación del problema de máxima cobertura, y Fase III: Variación del juego de máxima cobertura.
9. Control de salidas: Representa las salidas de la actividad, las cuales están direccionadas a la satisfacción que se obtiene al realizar el juego y la significancia del aprendizaje de los conceptos del modelo de ubicación de instalaciones con máxima cobertura.

Finalmente, se realizó un ejercicio de validación en el que participaron 20 estudiantes del curso Diseño y Distribución en Planta, e integrantes de un semillero de investigación del programa académico de Ingeniería Industrial de la Universidad de La Salle. El ejercicio buscó validar el diseño y la comprensión del funcionamiento de la lúdica y de la temática de solución del problema de máxima cobertura. La recolección de las apreciaciones de los participantes se realizó a través de la observación; es decir, en tanto los estudiantes participaron en la aplicación de la lúdica, los integrantes del equipo de desarrollo observaron las actividades y el comportamiento, y recolectaron además los comentarios de los participantes y los datos del proceso.

Resultados diseño de la lúdica

Participantes

Para el desarrollo de la lúdica se emplean cuatro grupos de interés, cada uno conformado con cinco integrantes a los que se les asignarán los roles de consultores. De esta manera, tienen como meta colaborar en la solución del ejercicio de forma intuitiva siguiendo las instrucciones dadas en la metodología.

Materiales de la lúdica

Los materiales necesarios para realizar la lúdica con cuatro grupos son: 20 fichas de hospital tipo I y el mismo número de fichas de hospital tipo II (ver Figuras 4 y 5), y una ficha tamaño carta, con información sobre el número de habitantes por municipio, los hospitales existentes y la capacidad de cobertura de cada tipo de hospital a instalar en el departamento del Chocó, como la que se aprecia en la Figura 6 (también descrita en el Anexo 2).

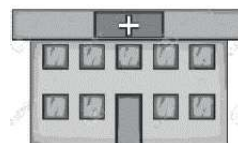


Figura 4. Ficha representativa de un hospital pequeño nivel I. Fuente: (Ryabokon, 2020).



Figura 5. Ficha representante de un hospital grande nivel II. Fuente: (Pngtree, 2020).

Para lograr un aprendizaje y practicar la actividad lúdica es necesario un espacio cómodo, con área mínima de 9m x 6m, en el que se ordenarán los diferentes grupos y la manipulación de los demás materiales. Además, se necesitan cuatro mesas de aproximadamente 1,6 m x 0,9 m, cada una de ellas con 5 sillas; de igual forma, una mesa adicional y dos sillas, para ubicar algunos medios tecnológicos como computador y video beam, tal como se muestra en la Figura 7.

De acuerdo con el contexto anteriormente presentado, se presentan las fases y pasos que conforman la estructura de la lúdica.

Fase I: Preparación de la actividad lúdica

- Paso I: Contextualización de los organizadores en el desarrollo de la lúdica y el rol de los integrantes

Se presentarán las condiciones básicas iniciales para el desarrollo de la lúdica y la explicación del objetivo del juego, donde cada integrante de cada equipo tendrá el rol de consultor para la localización de instalaciones; esto con un tiempo de cinco minutos.

El juego inicia cuando cada equipo haya recibido las instrucciones y la contextualización con el material correspondientes para la lúdica.

- Paso II: Organización de los equipos de participantes

Se realizará la conformación de cuatro equipos, cada uno con cinco integrantes. Estos contarán con el rol de consultores en localización de instalaciones. Cada equipo hace referencia a un color (amarillo, azul, rojo y verde). Debido a que las fichas entregadas a cada grupo corresponderán a su color, esta tiene el diseño expuesto en la Figura 9.

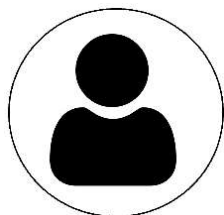


Figura 9 Fichas de la lúdica en colores amarillo, azul, rojo y verde.
Fuente: Autores.

Los participantes con el rol de consultores recibirán en un sobre la contextualización del problema, el cual está en una hoja tamaño carta con la redacción propuesta y presentada en el Formato 1, que se incluye en el Anexo 1 de este documento. Adicionalmente, cada grupo de participantes recibe la ficha de información descrita en la Figura 6, ampliada a través del Anexo 2, en la cual encontrará la información acerca de la ubicación actual de los hospitales, la capacidad disponible y la población actual en cada municipio, con la cual se estimará para el departamento del Chocó la máxima cobertura.

En el tablero se encontrará un mapa político del departamento del Chocó, con diversos colores que corresponden con el color de las fichas que simbolizan los hospitales de diferente nivel, además de unas fichas de colores que representan la cantidad de habitantes para cada municipio; este paso tendrá una duración de diez minutos.

- Paso III: Presentación de indicaciones de colocación de fichas, capacidad y población

Este paso tiene una duración promedio de cinco minutos, y en él se aclararán dudas acerca de los datos o la colocación de las fichas de la población en el tablero, así como las reglas de capacidad de cubrimiento de los hospitales que varía según su nivel (I, II), los cuales se pueden observar en la Tabla 4, y la cantidad de habitantes.

En este aparte se entregará el Formato 2, disponible en el Anexo 3, el cual describe cómo colocar las fichas que simbolizan el número de personas sobre cada municipio disponible en el tablero (una ficha equivale a 10.000 habitantes y las fichas de fracción a 2500 habitantes por un cuarto de ficha). Así mismo, se dan indicaciones sobre la ubicación precisa de las fichas que representan los hospitales actuales encima del tablero de cada equipo, con la regla disponible en la Tabla 4.

Tabla 4
Restricciones de la instalación según tipo de hospital

Tamaño del hospital	Capacidad de cobertura
Pequeño nivel I	Solo los adyacentes a su ubicación
Grande nivel II	Primer y segundo nivel de adyacentes

Fuente: Autores.

Fase II: Aplicación del problema de máxima cobertura

- Paso I: Estimación del número de hospitales de manera intuitiva con máxima cobertura

Esta fase inicia con la pregunta que realiza uno de los organizadores en voz fuerte: ¿Cuál sería la ubicación del mínimo de hospitales para cubrir la mayor demanda de pacientes en el departamento del Chocó?

Ante esto, los participantes en cada grupo podrán ubicar un número de hospitales de los diferentes tipos sobre uno, dos o más municipios del tablero, haciendo las sumas de la cantidad de personas cubiertas, con la posibilidad de realizar las combinaciones de hospitales necesarias, lugares que consideren posibles, teniendo como objetivo utilizar el menor número de hospitales. Estos datos se podrán consignar en el mismo tablero con el uso de marcadores de colores.

El registro en el tablero, disponible en la Figura 8, se realiza colocando en la segunda columna los nombres de los municipios que cubren un hospital nivel I o II. En la columna tres se pone un consecutivo del número de hospitales nivel I, mientras en la cuarta columna se coloca el número de habitantes de cada municipio cubierto por un hospital nivel I. Este mismo proceso se realiza para los de nivel II; se coloca el nombre de los municipios en la segunda columna, mientras el registro del número de habitantes por cada municipio y el consecutivo

de este tipo de hospital en las columnas seis y siete, respectivamente.

- Paso II: Determinación de la cantidad de hospitales a utilizar para cubrir el mayor número de pacientes

Una vez se ha terminado de ubicar en el tablero el último municipio con una asignación a cualquier tipo de hospital, se cuenta el total de hospitales de cada tipo y ese será el número mínimo de hospitales a instalar.

Posterior a ello, se rotan los grupos para que cada equipo realice una auditoría visual sin tocar el tablero de sus competidores, con el propósito de verificar el cumplimiento de las restricciones de cobertura y capacidad del problema en análisis.

- Paso III: Determinación del equipo ganador

Una vez se verifica el cumplimiento de restricciones, los organizadores recogerán los datos y darán por ganadores a quienes tengan la menor cantidad de hospitales de cada tipo. En caso de que un competidor tenga una menor cantidad de hospitales tipo I que sus adversarios pero no de hospitales tipo II, el grupo ganador será aquel que tengan el menor valor en la resta del número de hospitales ubicados, menos el número de hospitales óptimos disponibles. Para esto se recogen los sobres con la información dada y los resultados de cada grupo.

Fase III: Variación del juego de máxima cobertura

- Paso I: Determinación de la cantidad de hospitales por utilizar para cubrir el mayor número de pacientes

Una vez determinado el número de hospitales (actividad desarrollada en los pasos I y II de la fase II), se procede a realizar una variación del sistema de juego, la cual consiste en solicitar a los participantes tomar una fotografía del tablero, guardar la información del tablero realizado, y desarrollar el montaje de la solución óptima del problema disponible en un sobre que se entregará en este momento del juego.

Además, a los participantes de cada grupo se les solicitará que verifiquen el cumplimiento de las restricciones de cobertura y capacidad de la solución óptima. Aquí cada grupo debe realizar la resta del número de hospitales de cada nivel de la solución óptima del total de hospitales de cada grupo calculado de manera intuitiva.

Fase IV: Extensión del juego de máxima cobertura al modelo de programación lineal para el problema de máxima cobertura

- Paso I: Formulación de la función objetivo del modelo de programación lineal para el problema de máxima cobertura

Para esta extensión, a cada grupo de trabajo se le entrega el formato presentado en el Anexo 4. En la fila uno del formato, se escribe con un esfero el número de habitantes de cada municipio, mientras en la fila dos se coloca el nombre de cada municipio, y en la fila 3 se tienen los símbolos H1 y H2 por cada municipio, que simbolizan los hospitales nivel I y II, respectivamente.

- Paso II: Formulación de las restricciones del modelo de programación lineal para el problema de máxima cobertura

Para cada fila señalizada a partir del número seis, presentado en el Anexo 4, se debe establecer en la columna A el nombre de un municipio y un tipo de hospital, tal como se presenta en la Figura 10. Posterior a ello, se debe reflexionar si el nivel del hospital que se escribió en el municipio tiene cobertura sobre el municipio escrito en cada una de las columnas de la parte superior. Si es así, coloque el dígito uno y el signo más (1+) en la celda que corresponde al nivel de hospital para el municipio de la columna y repita el proceso tantas veces como el número de municipios tenga en las columnas. En el resto de celdas donde no existe cobertura o no corresponde al tipo de hospital a instalar, escriba el dígito cero junto al signo más (0+). Este proceso se realiza para todas las combinaciones de municipio y tipo de hospitales escritos a partir de la celda número seis.

- Paso III: Ubicación del valor del vector de disponibilidad en las restricciones del modelo de programación lineal para el problema de máxima cobertura.

En este paso, al final de cada fila coloque el signo igual (=) seguido del valor uno, lo cual significa que en cada municipio solo se puede instalar un hospital de único nivel; verifique en cada fila que todos los hospitales del municipio de la fila en análisis sean del mismo nivel.

Una vez terminado, el valor uno indica la variable que se toma para la restricción, y el número cero indica las variables no contenidas en la restricción, teniendo como fundamento que la variable de decisión será de tipo binario y con la definición de decisión de ubicar en el municipio tipo i un hospital de tipo j .

Con esta representación, se tiene la formulación de un modelo de localización de instalaciones con máxima cobertura listo para su solución en un *software* de optimización. En el Anexo 4 se presenta el formato descrito en la Figura 10 de la extensión del juego.

Finalmente, la lúdica concluye con la comparación de los resultados obtenidos en los intentos anteriores por cada grupo y la solución óptima del problema, declarando ganador a quien tenga el menor número de errores entre sus respuestas y la solución óptima del problema.

	A	B		C		D		E		F		G			
1		Municipio 1		Municipio 2		Municipio 3		Municipio 4		Municipio 5		Municipio 6			
2		H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2		
3															
4															
5															
6		Municipio 1 H1	1+	0+	1+	0+	1+	0+	0	0+	0	0+	0	0+	=1
7		Municipio 1 H2	0+	1+	0+	1+	0+	0+	0+	1+	0+	1+	0+	0+	=1
8		Municipio 2 H1	0+	0+	1+	0+	1+	0+	0+	0+	1	0+	0+	0+	=1
9		Municipio 2 H2	0+	1+	0+	1+	0+	1+	0+	0+	0+	1+	0+	1+	=1
10		Municipio 3 H1													
11		Municipio 3 H2													
12		Municipio 4 H1													
13		Municipio 4 H2													
14		Municipio 5 H1													
15		Municipio 5 H2													
16		Municipio 6 H1													
17		Municipio 6 H2													

Figura 10. Simulación de un formato de extensión del juego. Fuente: Autores.

Posteriormente, se desarrolló un ejercicio de validación del diseño y la comprensión de la actividad lúdica con un grupo de Diseño y Distribución en Planta, así como de integrantes del semillero de investigación de un programa académico de Ingeniería Industrial. En este ejercicio, a través de la observación, se identificó que los participantes se contextualizaron y relacionaron fácilmente con el objetivo de la lúdica, lo que demuestra claridad del contenido y de su explicación. Durante el desarrollo, los participantes, por medio de su razonamiento lógico, lograron tener mayor comprensión del escenario en general y a su vez corregir aquellas ubicaciones que se podrían reubicar para un mejor resultado, lo que denota su influencia en el aprendizaje. Adicionalmente, algunos estudiantes expresaron las diferencias existentes entre los propósitos de formación y las actividades realizadas en el juego.

Conclusiones

La aplicación de la metodología de cibernética de tercer orden para el diseño de lúdicas permitió establecer una actividad que tomó elementos de los conceptos disponibles en la literatura acerca del tema de localización de instalaciones con el método de máxima cobertura. Este, mediante un trabajo en equipo, permitió establecer un diseño pedagógico coherente en el cual se establecen los diferentes niveles de actuación de los participantes conforme con el postulado de esta técnica de diseño.

La metodología seguida permitió el diseño de una actividad lúdica que puede ser usada en la enseñanza del modelo de máxima cobertura, a través del reconocimiento de los conceptos de variable binaria, cobertura y ubicación de instalaciones, el cual corresponde a la fase de investigación propuesta y aceptada hasta el momento por el semillero de investigación y los entes de coordinación en investigación del programa académico al que pertenecen estos estamentos.

Con la validación del diseño de la actividad lúdica con un grupo de estudiantes, fue posible pensar en formular en el futuro un diseño experimental para establecer la validación desde un parámetro cuantitativo y científico. Esta fase puede incluir el desarrollo de una rúbrica para establecer la aprehensión de conocimiento obtenida

con este dispositivo didáctico en comparación con otras formas de enseñanza.

Esta actividad lúdica puede ser desarrollada múltiples veces para las áreas de ingeniería, debido a que el material empleado puede ser reutilizado, además de ser de bajo costo en su concepción y réplica con los modelos disponibles en este documento.

El juego diseñado tiene de manera preliminar un componente de significancia, entendido como el manejo de los conceptos para establecer el aprendizaje de un modelo de localización de instalaciones. Este factor está pendiente de comprobar en la segunda fase de la investigación, por lo cual se permite en una primera instancia establecer una duda razonable acerca de la aclaración de los conceptos previos a una clase de modelado de localización de instalaciones.

Este juego propone un componente de satisfacción, al proporcionar un espacio lúdico y potencializar el trabajo en equipo, así como otras competencias de diseño y de cooperación esperadas para brindar soluciones a necesidades sentidas en la mejora de métodos, tal como es la perspectiva profesional del ingeniero industrial.

La metodología propuesta proporciona a los participantes un escenario lúdico o gamificado de competencia, lo cual podría ser útil en la evaluación de competencias en proporcionar una solución al problema de máxima cobertura, a través de un método de estudio de caso o juego de simulación en un salón de clase en un corto tiempo.

Finalmente, este estudio presenta dificultades en la adquisición de recursos para el diseño y desarrollo de la actividad lúdica, ya que se requiere un grupo base con alta dedicación a este tipo de desarrollo, así como recursos materiales que no están disponibles para las diferentes réplicas de refinación y afinamiento de la lúdica.

Agradecimientos

Agradecimientos a la Universidad de La Salle, por el espacio y el apoyo brindado en el diseño de la lúdica, así como a los estudiantes del semillero de investigación IMAPRO, quienes participaron en el afinamiento y validación de esta lúdica.

Referencias

Álvarez García, B. (2008). *Modelos de elección binaria*. Universidad de Vigo. http://alvarez.webs.uvigo.es/teaching_archivos/ectria2_0708/binary.pdf

Barragan Diaz, J. M. y Cucaita Urbina, C. A. (2010). *Localización y distribución de instalaciones*

- industriales en industrias AJM Ltda.* Universidad Libre de Colombia.
- Boloori Arabani, A. y Farahani, R. Z. (2012). Facility Location Dynamics: an Overview of Classifications and Applications. *Computers and Industrial Engineering*, 62(1), 408-420. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.09.018>
- Brito-Vallina, M. L., Alemán-Romero, I., Fraga-Guerra, E., Para-García, J. L. y Arias de Tapia, R. I. (2011). Papel de la modelación matemática en la formación de los ingenieros. *Ingeniería Mecánica*, 14(2), 129-139.
- Church, R. y ReVelle, C. (1974). The Maximal Covering Location Problem. *Papers in Regional Science*, 32(1), 101-118. <https://doi.org/10.1111/j.1435-5597.1974.tb00902.x>
- Crawford, B., Soto, R., Legue, I. F. y Olguin, E. (2016). A Discrete Invasive Weed Optimization Algorithm for the Set Covering Problem. *2016 11th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/CISTI.2016.7521489>
- Current, J. R. y Storbeck, J. E. (1988). Capacitated Covering Models. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 15(2), 153-163. <https://doi.org/10.1068/b150153>
- DANE. (2020). *Proyecciones y Retroproyecciones de Población*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Daskin, M. S. (1983). A Maximum Expected Covering Location Model: Formulation, Properties and Heuristic Solution. *Transportation Science*, 17(1), 48-70. <https://doi.org/10.1287/trsc.17.1.48>
- Davila Velez, J. G. (2014). Localizando el centro. En *Metodologías activas para la enseñanza de la ingeniería industrial y áreas afines de la Comunidad GEIO y la Red IDDEAL* (pp. 294-302). <https://es.scribd.com/document/431394108/Memorias-X-Encuentro-Comunidad-Geio-y-III-Red-Iddeal>
- Drezner, Z. (2007). A General Global Optimization Approach for Solving Location Problems in the Plane. *Journal of Global Optimization*, 37(2), 305-319. <https://doi.org/10.1007/s10898-006-9051-y>
- Farahani, R. Z., Asgari, N., Heidari, N., Hosseini, M. y Goh, M. (2012). Covering Problems in Facility Location: A Review. *Computers y Industrial Engineering*, 62(1), 368-407. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.08.020>
- Farahani, R. Z. y Hekmatfar, M. (2009). *Facility Location*. Physica-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-7908-2151-2>
- Gobernación del Choco. (2010). *Análisis de situación de salud. Municipios fronterizos del Departamento del Choco*. <https://www.minsalud.gov.co/plandecenal/mapa/analisis-de-situacion-salud-choco-2010.pdf>
- Gobernación del Chocó. (2020). *Información general*. <http://www.choco.gov.co/departamento/informacion-general>
- López, F. y Aguilar, A. (2004). Niveles de cobertura y accesibilidad de la infraestructura de los servicios de salud en la periferia metropolitana de la Ciudad de México. *Investigaciones Geográficas*, 53, 185-209.
- López Robles, C. (2005). *Propuesta algorítmica para el problema de máxima cobertura capacitado* [tesis de maestría, Universidad de las Américas Puebla]. Colección de tesis digitales Bibliotecas UDLAP: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meii/lopez_r_c/
- Mapas Interactivos. (2020). *Mapa Político de Chocó*. Didactalia. <https://mapasinteractivos.didactalia.net/comunidad/mapasflashinteractivos/recurso/mapa-politico-de-choco-colombia-igac/a95bbfe4-4cba-480c-aa01-340a7da40ab3>
- Nova Arevalo, N. A., Pinzón Rueda, W. A., y Quintero, R. (2011). *Cibernética de tercer orden y su aplicación a la telefonía móvil*.
- Onieva, L. (2013). *Diseño de Sistemas Productivos y Logísticos*. Dextra.
- Organización Panamericana de la Salud Colombia. (2010). *Indicadores básicos en salud Chocó*. https://www.paho.org/col/index.php?option=com_d ocman&view=download&category_slug=datos-y-estadisticas&alias=1190-ib-choco-2008&Item id=688
- Pngtree. (2020). *Materiales de construcción de un hospital-gráfico vectorial*. https://es.pngtree.com/freepng/ai-simple-cartoon-medical-hospital-building-materials_4049666.html
- Real Academia Española. (2020). Diccionario de la lengua española, 23.ª ed., [versión 23.3 en línea]. <https://dle.rae.es/cobertura>
- ReVelle, C. S., Eiselt, H. A. y Daskin, M. S. (2008). A Bibliography for Some Fundamental Problem Categories in Discrete Location Science. *European Journal of Operational Research*, 184(3), 817-848. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.12.044>

- ReVelle, C. S. y Swain, R. W. (1970). Central Facilities Location. *Geographical Analysis*, 2(1), 30-42. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1970.tb00142.x>
- Rocha-Gonzalez, J. (2011). Propuesta metodológica para la implementación de la lúdica como alternativa en la enseñanza en ingeniería industrial. *Tercer Seminario Internacional Sistemas Productivos SISPRO: La Lúdica en la Enseñanza de la Ingeniería Industrial*.
- Rocha González, J. E., Arango, C. A., Mejía Ospina, L. A. y Pinzón Rueda, W. A. (2014). *Diseño y evaluación de juegos, Dispositivos lúdicos, pedagógicos y didácticos. Una propuesta desde la cibernética de tercer orden*.
- Ryabokon, I. (2020). Foto de archivo - ícono del hospital. *Ilustración de dibujos animados de ícono de vector de hospital para web*. 123RF. <https://es.123rf.com/clipart-vectorizado/hospital.html?altt=1&sti=np4n29d2voqrbr9ya5%7C&m&mediapoup=66987907>
- Vargas, C. C. (2013). ¡Ubícate! Actividad lúdica enfocada en planeación estratégica, factores externos y distribución en planta. *IX Encuentro Comunidad GEIO y II Encuentro de Red IDDEAL*, 270–281. <https://tecnologicomfenalco.edu.co/wp-content/uploads/librosinvestigacion/ceio.pdf>
- White, J. A. y Case, K. E. (1974). On Covering Problems and the Central Facilities Location Problem. *Geographical Analysis*, 6(3), 281-294. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1974.tb00513.x>
- Xu, J., Murray, A., Wang, Z. y Church, R. (2020). Challenges in Applying Capacitated Covering Models. *Transactions in GIS*, 24(2), 268-290. <https://doi.org/10.1111/tgis.12608>


Anexo 1

Formato 1. Contextualización del problema

INSTALA EL HOSPITAL

El Gobierno nacional luego de un análisis de cobertura en salud en cada uno de los departamentos de Colombia, decidió hacer la instalación de hospitales de nivel I y nivel II en el departamento del Choco. Debido a la falta de cobertura en salud del departamento, teniendo como soporte que solamente se cuenta con un hospital de nivel II.

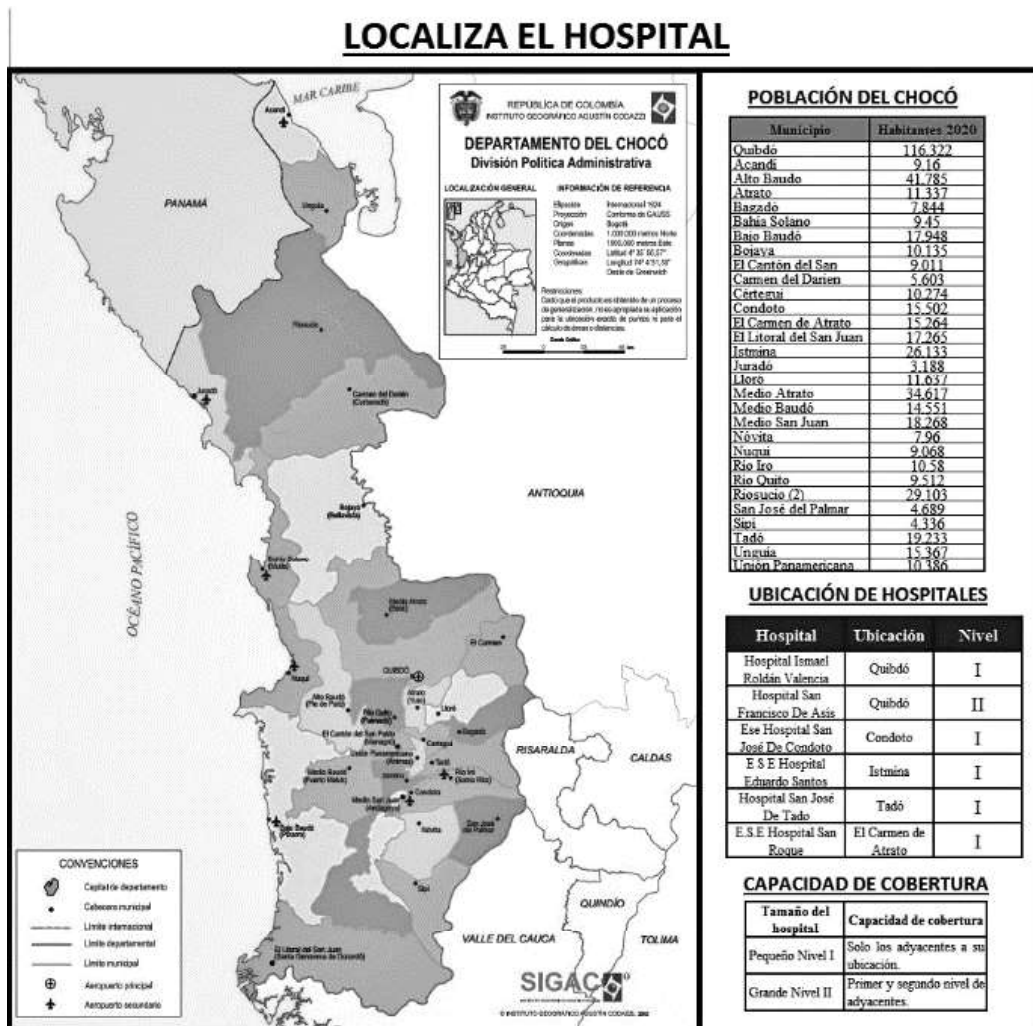
Para mejorar las condiciones en salud del departamento el gobierno nacional busca una propuesta donde se instale el menor número de hospitales nivel I y nivel II en el departamento del Choco y a su vez cubra la mayor población posible.



Ingenieros ustedes serán los consultores para este proyecto, estamos a la expectativa de sus propuestas, mejoremos las condiciones de cobertura del Choco en salud juntos.

Anexo 2

Ficha de información



Anexo 3

Formato 2. Disposición de fichas representativas de habitantes

Municipio	Habitantes 2020	1 ficha [10.000 habitantes]	½ ficha [5.000 habitantes]	¼ ficha [2.500 habitantes]	1/8 ficha [1.250 habitantes]
Quibdó	116.322	11	1		1
Acandí	9.160		1	1	1
Alto Baudó	41.785	4			1
Atrato	11.337	1			1
Bagadó	7.844		1	1	
Bahía Solano	9.450		1	1	1
Bajo Baudó	17.948	1	1	1	
Bojayá	10.135	1			
El Cantón del San Pablo	9.011		1	1	1
Carmen del Darién	5.603		1		
Cértegui	10.274	1			
Condoto	15.502	1	1		
El Carmen de Atrato	15.264	1	1		
El Litoral del San Juan	17.265	1	1		1
Istmina	26.133	2	1		
Juradó	3.188			1	
Lloró	11.637	1			1
Medio Atrato	34.617	3		1	1
Medio Baudó	14.551	1		1	1
Medio San Juan	18.268	1	1	1	
Nóvita	7.960		1	1	
Nuquí	9.068		1	1	1
Río Iro	10.580	1			
Río Quito	9.512		1	1	1
Riosucio (2)	29.103	2	1	1	1
San José del Palmar	4.689			1	1
Sipí	4.336			1	1
Tadó	19.233	1	1	1	1
Unguía	15.367	1	1		
Unión Panamericana	10.386	1			

Anexo 4

Formato de extensión del juego de máxima cobertura

	A	B		C		D		E		F		G		
1														
2		Municipio 1		Municipio 2		Municipio3		Municipio 4		Municipio 5		Municipio 6		
3		H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	
4														
6	Municipio 1 H1	1+	0+	1+	0+	1+	0+	0	0+	0	0+	0	0+	=1
7	Municipio 1 H2	0+	1+	0+	1+	0+	0+	0+	1+	0+	1+	0+	0+	=1
8	Municipio 2 H1	0+	0+	1+	0+	1+	0+	0+	0+	1	0+	0+	0+	=1
9	Municipio 2 H2	0+	1+	0+	1+	0+	1+	0+	0+	0+	1+	0+	1+	=1
10	Municipio 3 H1													
11	Municipio 3 H2													
12	Municipio 4 H1													
13	Municipio 4 H2													
14	Municipio 5 H1													
15	Municipio 5 H2													
16	Municipio 6 H1													
17	Municipio 6 H2													

Nota: Se requiere el borrado de los nombres de los municipios y del tipo de hospital, así como ampliarlo para el total de municipios y hospitales disponibles en el juego.