

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Posgrados

**OPTIMIZACION DE LA DINAMICA DE USO EN
ESPACIOS DE CONSTRUCCION**

Bruno Silva Bastidas

**Carlos Jiménez Mosquera, Ph.D.
Director de Trabajo de Titulación**

Trabajo de titulación de posgrado presentado como requisito
para la obtención del título de Magister en Matemáticas Aplicadas

Quito, 31 de mayo de 2017

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE POSGRADOS**

**HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE
TITULACIÓN**

**OPTIMIZACION DE LA DINAMICA DE USO EN ESPACIOS
DE CONSTRUCCION**

Bruno Silva Bastidas

firmas

Carlos Jiménez Mosquera, Ph.D.
Director del Trabajo de Titulación

.....

Eduardo Alba, Ph.D.
Miembro del Comité de Trabajo de Titulación

.....

Carlos Jiménez Mosquera, Ph.D.
Miembro del Comité de Trabajo de Titulación
Director de la Maestría en Matemáticas Aplicadas

.....

César Zambrano, Ph.D.
Decano del Colegio de Ciencias e Ingeniería

.....

Hugo Burgos, Ph.D.
Decano del Colegio de Posgrados

.....

Quito, 31 de mayo de 2017

© **Derechos de Autor**

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Nombre: Bruno Silva Bastidas

Código de estudiante: 00127461

C.I.: 171858370-9

Fecha: Quito, 31 de mayo de 2017

DEDICATORIA

Para mi padre, a pesar de que no puede estar aquí conmigo para verme alcanzar nuevamente otra meta sé que estaría orgulloso.

Para mi madre, tal vez es poco para el ejemplo de todo el trabajo, esfuerzo y perseverancia que me ha mostrado durante toda su vida

Para mis hermanos y familia en general, por haberme regalado una vida llena de felicidad, a pesar de que no somos afectivos sé que siempre podré contar con ustedes.

Para todos mis amigos, seguramente sin su presencia no hubiera podido conseguir este logro.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Universidad San Francisco de Quito pues la consecución de este trabajo se logró gracias al programa de becas del Colegio de Posgrado para Maestría en Matemáticas Aplicadas. Agradecer también a todos los profesores que supieron darnos una guía para obtener nuevos conocimientos y permitirnos enfrentar nuevos retos.

A mis Padres, hermanos, familia, amigos y todo aquel que directa o indirectamente estuvo presente en este camino, esto no hubiera sido posible sin la presencia de todos ustedes.

A la banda de los boronois, locos aunque estuvo difícil en verdad fue un placer haber transitado este camino con ustedes, gracias.

Resumen

En este trabajo se plantea determinar la selección de un conjunto de *programas* (tipologías de edificaciones) óptimo que maximice la “dinámica” y el uso temporal de un espacio de construcción ubicado en el sector del Comité del Pueblo, esta selección debe cumplir con requisitos mínimos de salud (OMS: áreas verdes por habitantes), bienestar y de áreas de construcción, simulando el comportamiento de los alrededores y a la vez resolviendo problemáticas urbanas del sector.

Para la selección de este conjunto de programas a ser incluidos en el complejo arquitectónico se formuló el problema como un problema de optimización combinatoria y se construyó un modelo entero de programación lineal. Por otro lado, debido a la incertidumbre en ciertos parámetros del modelo, se formuló como un problema de optimización estocástica. Utilizando técnicas de resolución para esta clase de modelos, cómo las técnicas de optimización por escenarios y muestreo, se logró determinar distribuciones de probabilidad para las soluciones de las variables de decisión y el valor de la función objetivo, además se aproximó la esperanza del valor óptimo del problema mediante el promedio de los valores óptimos obtenidos de un conjunto de instancias construidas a partir de las distribuciones de probabilidad de los parámetros aleatorios del problema. Finalmente, un proceso para poder determinar una aproximación de la solución maximal esperada del problema fue definido.

Palabras clave: optimización combinatoria, programación lineal entera, optimización estocástica, optimización por escenarios, distribuciones de probabilidad, parámetros aleatorios, esperanza, solución maximal esperada, problemáticas urbanas.

Abstract

In this work the purpose is to determine the selection of an optimal set of *programs* (typologies of buildings) that maximize the “dynamics” and the temporary use of a construction site located in Comite del Pueblo, this selection must meet minimum requirements (OMS: green areas per inhabitant), welfare and construction dimensions, simulating the behavior of the surrounding area and at the same time solving the sector urban problems.

For the selection of this set of programs to be included in the architectural project the problem was formulated as one of combinatorial optimization, a model of integer linear programming was constructed. On the other hand, due to the uncertainty in certain parameters the model was formulated as one of stochastic optimization. Using resolution techniques for this class of models such as scenario optimization and sampling it was possible to determine probability distributions for the solutions of the decision variables and the value of the objective function, in addition the expected value of the optimum value of the problem was approximated by the average of the optimal values of a set of instances constructed from the probability distributions of the random parameters. Finally, a process to be able to determine an approximation of the expected maximal solution of the problem was defined.

Keywords: combinatorial optimization, integer linear programming, stochastic optimization, scenario optimization, probability distributions, expected value, random parameters, expected maximal solution, urban problems

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	6
Abstract	7
1 Introducción	9
1.1 Área de estudio	9
1.1.1 Identificación de actividades socio-económicas	11
1.1.2 Vialidad y dinámica del sector	13
1.1.3 Objetivo del proyecto	14
1.2 Optimización en arquitectura y urbanismo	17
2 Capítulo 2	18
2.1 Modelo de Optimización	18
2.2 Modelo de programación entera	18
2.2.1 Valores de dinámica	19
2.3 Modelo Estocástico	21
2.3.1 Optimización Estocástica	22
2.3.2 Parámetros aleatorios	23
3 Programación y resultados numéricos	24
3.1 Programación y construcción de instancias	24
3.2 Resultados computacionales	24
4 Conclusiones	35
Apéndice 1	37
Apéndice 2	41
Referencias	43

1. Introducción

La planificación, diseño y organización de una ciudad forman parte de una gran corriente definida como urbanismo, esta corriente tiene como objetivo permanente la búsqueda de una adecuada organización de la ciudad y el territorio, el urbanismo toma a la geografía urbana como instrumento fundamental para intentar comprender los procesos urbanos a fin de obtener un conjunto de conocimientos prácticos que proporcionen las bases fundamentales para resolver los problemas de las ciudades. Es en este contexto que el urbanismo busca la resolución de problemáticas urbanas buscando una optimalidad en el proceso de resolución y la solución en sí, estas problemáticas pueden ser de tipo socio-económicas (Harvey y cols., 1977), viales (Mollinedo, 2006) y medioambientales (Lezama y Domínguez, 2006).

En este trabajo se plantea resolver la planificación de un complejo arquitectónico multi-funcional, tomando en consideración múltiples factores de las problemáticas socio-económicas urbanas. Esto constituye un aporte a la planificación zonal de la ciudad de Quito, que como muchas ciudades en el mundo ha sido planificada sin un esquema previamente definido y su desarrollo arquitectónico así como urbanístico mas bien a venido siendo definido en función de las necesidades del momento, es por esto que la ciudad presenta una diversidad de comportamientos y problemáticas socio-económicas, viales y medioambientales muy complejas de resolver y esquematizar. En particular analizaremos estas problemáticas en un área de estudio escogida justamente por presentar un comportamiento complejo de interrelaciones socio-económicas de sus residentes y la morfología del sector.

1.1. Área de estudio

Como área de estudio se escogió el sector del Comité del Pueblo (Figura: 1), este es un sector cuya población actual sobrepasa los 46 mil habitantes todos distribuidos en 224 manzanas, es un sector multi-étnico con un 5,8% de afroecuatorianos, 86% de mestizos, 2% de personas indígenas y el 6.2% restante entre montubios, mulatos y otros (INEC, Censo de Población y Vivienda 2010). Paralelamente a su crecimiento urbano y poblacional, se ha ido forjando una dinámica zona comercial cuyo foco de actividad económica se encuentra centrado en dos de sus calles principales “Juan Molineros” y “Jorge Garces” donde se aprecia que: el 16% de habitantes poseen negocio propio y el

56% trabaja en locales formales para la venta de ropa, alimentos, electrodomésticos, farmacias, y ferreterías. Por otro lado, un porcentaje importante se dedica a la venta informal, la misma que es realizada sujeta a condiciones permanentes de inseguridad. Como anécdota los moradores dicen que 8 de cada 10 personas han sufrido algún tipo de atraco, y que además los jóvenes están expuestos al expendio permanente de drogas. El uso mixto del suelo y el espacio es una de las características principales de este sector, la vivienda mantiene un dialogo permanente con el comercio, oficinas, talleres y con otras actividades, que en barrios como estos es parte fundamental del sustento económico y social. En relación al tipo de construcción, la tipología predominante es de hileras adosadas, donde la superficie por parcela varía entre los 150-200 m², el número de plantas por edificio varía entre 2-3 y el promedio de habitantes por hectárea se encuentra entre 200-250.

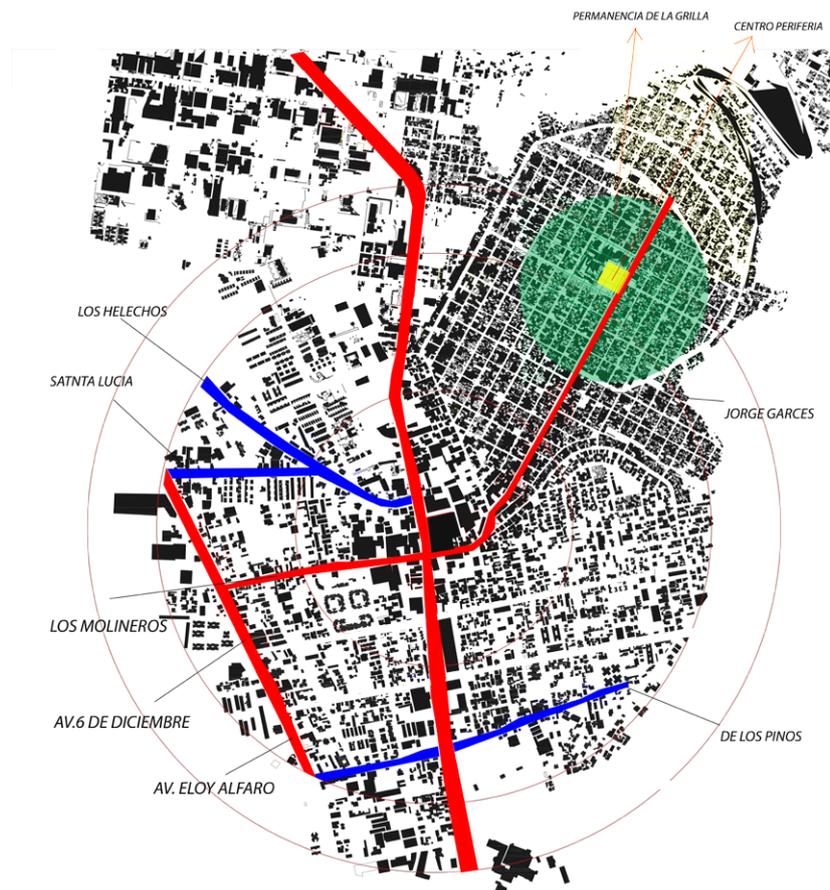


Figura 1: Área de estudio. Tomado de “Centro residencial de desarrollo económico y social Comité del Pueblo” (Chiriboga Ramírez, 2016)

1.1.1. Identificación de actividades socio-económicas

En la figura 2 se puede apreciar la distribución espacial general de las actividades socio-económicas del sector. En gran parte es un sector residencial por cuyo centro se extiende un cordón industrial, las dos zonas residenciales de los distintos lados del cordón industrial mantienen características socio-económicas diferentes. Se puede apreciar como la actividad de “USO MIXTO” tan característica del Comité del Pueblo cesa en el opuesto occidental de la avenida Eloy Alfaro.



Figura 2: Identificación de actividades. Tomado de “Centro residencial de desarrollo económico y social Comité del Pueblo” (Chiriboga Ramírez, 2016)

De un análisis de la morfología del sector se decidió escoger como terreno de estudio para la planificación del proyecto arquitectónico el ubicado en la esquina formada entre

la Av. Eloy Alfaro y la calle José de Molineros (Figura: 3), se escogió este terreno en particular ya que se encuentra en el ingreso principal al Comité del Pueblo, además por ser un punto de confluencia de distintas actividades socio-económicas, así como un punto de distribución y movimiento de personas a lo largo de la ciudad de Quito, un ejemplo de las relaciones entre actividades socio-económicas es la que mantienen el comercio formal e informal a través de las aceras de la calle José de Molineros y Av. Eloy Alfaro, “el terreno escogido esta rodeado de un contexto complejo, donde industria, vivienda y comercio interactúan entre si constantemente, en el que las tipologías de las edificaciones se caracterizan en su mayoría por no ser mayores de tres pisos y adosadas” (Chiriboga Ramírez, 2016).



Figura 3: Actividades socio-económicas pertinentes al terreno escogido. Tomado de “Centro residencial de desarrollo económico y social Comité del Pueblo” (Chiriboga Ramírez, 2016)

Entre 1982 y 1990 el 65 % de los habitantes del Comité del Pueblo se caracterizaban por ser comerciantes y empleados en servicios públicos ó privados (De Maximy y Peyronnie, 2000, pp.173-198). En el último censo del 2010 ese porcentaje se redujo y ahora el 60 % de la población se dedica a actividades relacionadas con ramas comerciales (Encuesta EBAQ, 1996). En la figura 4 se pueden observar las actividades predominantes de los habitantes del Comité del Pueblo.



Figura 4: Actividades predominantes de los habitantes. Tomado de “Centro residencial de desarrollo económico y social Comité del Pueblo” (Chiriboga Ramírez, 2016)

1.1.2. Vialidad y dinámica del sector

El Comité del Pueblo es un sector bien conectado con el resto de la ciudad, sin embargo los desplazamientos en autobús para dirigirse a otras partes de la misma ó para realizar distintas actividades socio-económicas para gran parte de sus habitantes suelen ser extensos. El 19 % de la población económicamente activa (PEA) trabaja en sus hogares, 97 % de las amas de casa no salen de su hogar, por otro lado el 12 % de la PEA permanece en el barrio, de este 12 % el 70 % son comerciantes y artesanos. Con respecto a los desplazamientos el 3.3 % recorren distancias menores de 2 Km y el 65.5 % recorren de 2 a 5 Km diarios con problemas de tráfico, lo que aumenta su tiempo de trayecto. Por otra parte, las líneas de transporte con mayor afluencia de personas son aquellos que su ruta va dirigida al Terminal Norte de la Y y por toda la Av. Eloy Alfaro, con una frecuencia de unidades de bus de 3 a 5 minutos debido a su gran demanda (De Maximy y Peyronnie, 2000, pp.173-198). En la figura 5 se puede apreciar la dinámica de movimiento del sector en distintas horas del día.

Resumen del movimiento diario de personas (Chiriboga Ramírez, 2016):

- Cada mañana hasta las 8 am, el 38 % de trabajadores y el 49.4 % de estudiantes ya han salido de su domicilio. Solo el 13.8 % de los trabajadores ó escolares siguen en casa.
- La hora pico es a las 7:30 am hora en la que el barrio pierde la mitad de su población, el 79 % de los escolares están camino a sus escuelas.
- Al medio día dos tercios de los colegiales regresan a sus casas a almorzar y posteriormente el 60 % de los mismos salen nuevamente al colegio por la tarde.
- Antes de las 6:30 pm una cuarta parte de los estudiantes y trabajadores han regresado a sus hogares, a diferencia de los comerciantes que regresan a sus hogares después de las 7 pm.

1.1.3. Objetivo del proyecto

El objetivo del proyecto es diseñar un complejo arquitectónico multifuncional capaz de resolver las problemáticas urbanas del sector, respetando requisitos de salud y bienestar, dimensiones de construcción y que pueda maximizar la dinámica dentro de sí al ser un espacio lleno de servicios y programas en donde los habitantes puedan desarrollar sus actividades socio-económicas. Como estrategias urbanas para el diseño se plantearon las siguientes (Chiriboga Ramírez, 2016):

- Recepción: Absorber el flujo y concentraciones de personas al interior del edificio.
- Complemento: Aumentar la dinámica actual de las avenidas principales dentro del edificio a través de la unión de diferentes programas y usuarios.
- Continuidad: Generar sucesión de espacio publico y de servicios permitiendo que el edificio tenga un uso constante.

Como se mencionaba anteriormente este complejo arquitectónico debe constar de múltiples servicios y programas para el desarrollo socio-económico del sector, la selección de las distintas tipologías de los programas y sus respectivas dimensiones se las puede observar en el cuadro 3 en el Apéndice 2 y fueron realizadas en base a criterios urbano-arquitectónicos que pueden ser analizados con más detalle en (Chiriboga Ramírez, 2016, pp.63-74), además de haber sido escogidas en base a las actividades socio-económicas predominantes del sector las mismas que se muestran en la figura 6.

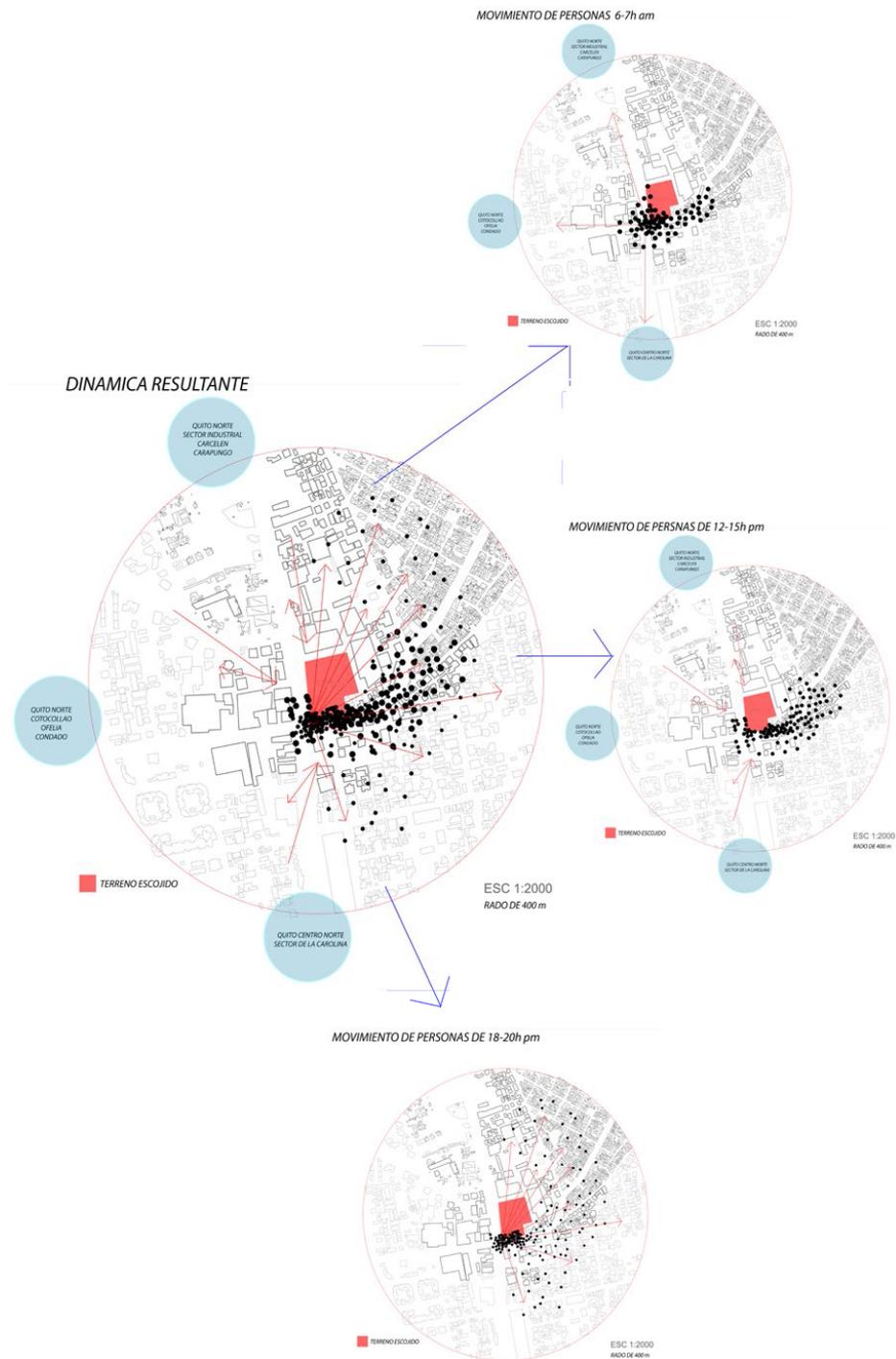


Figura 5: Dinámica debido al movimiento diario de personas. Tomado de “Centro residencial de desarrollo económico y social Comité del Pueblo” (Chiriboga Ramírez, 2016)

ACTIVIDADES PRINCIPALES DEL AREA DE ESTUDIO O ESPACIO DE BUSQUEDA

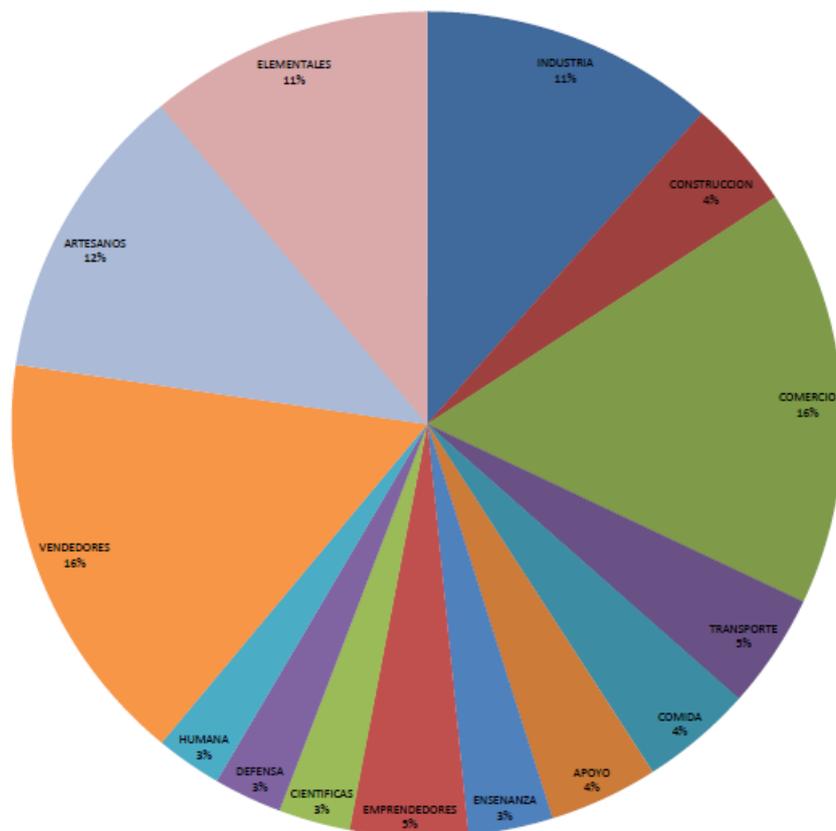


Figura 6: Actividades predominantes en el área de estudio en porcentajes. Tomado de “Centro residencial de desarrollo económico y social Comité del Pueblo” (Chiriboga Ramírez, 2016)

1.2. Optimización en arquitectura y urbanismo

Para cumplir el objetivo del proyecto será necesario la formulación de un problema de optimización que se estudiará con más detalle en el capítulo 2. Modelos de optimización han sido utilizados extensamente para la planificación de rutas de transporte, que en una gran mayoría de ciudades o metrópolis es un problema que genera gran cantidad de tráfico y desorden en el sistema vial y de transporte a nivel urbano. En (Zhao y Gan, 2003) por ejemplo, se plantea la optimización de una red de transporte minimizando el número de transferencias que los usuarios tienen que hacer para llegar a sus destinos, optimizando el direccionamiento de las rutas y maximizando la cobertura del servicio, los resultados teóricos y computacionales obtenidos fueron aplicados sobre una red de transporte real de gran escala en el condado de Miami-Dade en Florida, Estados Unidos. Para el diseño sostenible de construcciones o edificios, la construcción ineficiente de edificios ha provocado que éstos sean responsables de al menos el 40 % del consumo de la energía total mundial y un tercio de las emisiones de gas de efecto invernadero (Pérez-Lombard, Ortiz, y Pout, 2008), en este contexto Hao y Thomas (Wu y Ng, 2012) desarrollan un modelo multi-objetivo para optimizar el diseño de construcciones, poniendo como foco de interés el diseño estructural y las características térmicas del entorno interior de construcción, para la resolución de su modelo usaron un algoritmo genético y teoría de conjuntos difusos tomando en consideración aspectos económicos, de rendimiento energético y de comodidad para los usuarios finales. Para el diseño arquitectónico y de disposición espacial que tienen que ver con encontrar ubicaciones factibles y dimensiones para un conjunto de objetos interrelacionados que cumplan con requerimientos específicos y maximicen la calidad en términos de preferencias preestablecidas, Michalek y otros (Michalek, Choudhary, y Papalambros, 2002) formulan un modelo de optimización para el diseño de planos arquitectónicos, ofrecen un nuevo enfoque para este tipo de optimización aprovechando la eficiencia de los algoritmos basados en gradientes y algoritmos evolutivos para la toma de decisiones discretas y búsquedas globales.

2. Capítulo 2

2.1. Modelo de Optimización

Como se mencionó en el capítulo anterior se escogió utilizar un modelo de optimización combinatoria como estrategia para la planificación del complejo arquitectónico, con este complejo se tratará de resolver algunas de las problemáticas urbanas del sector (venta informal sujeta a inseguridad constante, problemas de tráfico en el ingreso principal al sector del Comité del Pueblo, reducir viajes y tiempos de traslado de los habitantes alrededor de la ciudad para realizar sus actividades socio-económicas). El objetivo del problema es el de seleccionar un conjunto de *programas* (tipologías de edificación: Servicios, oficinas, espacios verdes, etc.) que serán incluidos en el diseño del complejo tal que se maximice el flujo de personas y su tiempo de uso respetando restricciones urbanas de construcción. En adelante denominaremos a la maximización del flujo de personas y el tiempo de uso del complejo cómo maximización de su “dinámica”.

2.2. Modelo de programación entera

Se tienen un área de terreno con dimensión C y un conjunto de n *programas* que pueden ser seleccionados más de una vez. Estos *programas* tienen asociados valores de dinámica d_1, \dots, d_n , dimensiones a_1, \dots, a_n , un número máximo de selección asociado v_1, \dots, v_n y un número promedio de personas que utilizaría el programa p_1, \dots, p_n . Asumimos que los parámetros v_i son enteros. Definimos variables enteras $x_i \in \mathbb{N}, i \in 1, \dots, n$, que nos indican el número de veces que el *programa* i fue seleccionado para el diseño del proyecto. De esta manera, el problema puede formularse como el siguiente programa de optimización entera:

$$\begin{cases}
\text{máx } Z = \sum_{i=1}^n d_i x_i & (1) \\
\text{s.t } \sum_{i=1}^n a_i x_i \leq C, & (2) \\
\frac{\sum_{i=1}^{|Verde|} a_i x_i}{|Vivienda|} \geq 9 \text{ m}^2, \quad i \in Verde, j \in Vivienda, & (3) \\
\sum_{j=1}^n p_j x_j & \\
\frac{\sum_{i=1}^n a_i x_i}{n} \geq 16 \text{ m}^2, & (4) \\
\sum_{i=1}^n p_i x_i & \\
x_i \leq v_i, \quad x_i \in \mathbb{N}, \forall i \in \{1, \dots, n\}. &
\end{cases}$$

La función objetivo (1) mide el valor total de dinámica aportado por los *programas* seleccionados para el complejo arquitectónico. La restricción (2) sirve para asegurar que la dimensión total del terreno sea respetada, la restricción (3) es una restricción de tipo urbana definida por la OMS (Organización Mundial de la Salud) y establece que el área mínima de áreas verdes por habitante de una ciudad tiene que ser al menos de 9 m²; en donde *Verde* es el conjunto de *programas* dedicados para áreas verdes y *Vivienda* es el conjunto de *programas* dedicados para vivienda. La restricción (4) es una restricción de tipo arquitectónica y especifica que el área mínima de construcción por usuario del complejo tiene que ser de 16 m².

2.2.1. Valores de dinámica

Los valores de dinámica utilizados en la función objetivo fueron construidos en base a ponderaciones con valores del 1 al 5 asignadas a ciertos atributos de los programas que permitirían que la dinámica del proyecto arquitectónico aumente o disminuya, a su vez este conjunto de atributos miden en conjunto el aporte a la resolución de las problemáticas del sector como lo era la venta informal sujeta a condiciones de inseguridad constantes y también otras características deseables cómo la importancia al desarrollo socio-económico del sector, de esta manera se juntan múltiples objetivos en la función objetivo del problema de optimización. El conjunto de atributos evaluados fue:

- Horas de mayor afluencia de personas: Programas que presenten picos de afluencia

de personas durante su tiempo de servicio o utilización reciben una ponderación de 5 (Oficinas, Centro de salud), por el contrario programas con un uso discontinuo o reducido reciben una ponderación de 1.

- Capacidad de adaptación espacial: Es una ponderación que toma en cuenta la adaptabilidad de los programas, programas con la posibilidad de ser ubicados en cualquier lugar del terreno (esquinas, lados, centro, etc.), o que puedan ser diseñados sin una estructura determinada reciben una ponderación de 5, por el contrario programas que tienen definido un diseño estricto o ubicación específica reciben la calificación de 1 (Cocina, Biblioteca, etc).
- Aporte a dinámica programática: Programas que ayuden a aumentar la dinámica general del complejo arquitectónico reciben una calificación de 5, en caso contrario programas que sean excluyentes de los demás reciben una calificación de 1.
- Mayor atractor de personas: Es una ponderación que toma en cuenta la necesidad del programa para el proyecto y el sector, por ejemplo (Comedor, Centro de Salud, Oficinas, etc.) reciben una calificación de 5, y por el contrario programas de uso específico no generalizado de los habitantes reciben calificación de 1.
- Aporte a desarrollo social: Es una ponderación que toma en cuenta la importancia del programa para el desarrollo socio-económico del sector, programas como Aulas de apoyo y Biblioteca reciben una calificación de 5 y programas sin un nivel de importancia al desarrollo social reciben calificación de 1.
- Aporte de complementarios: Es un atributo que mide la importancia de cada programa en función de cuánto multiplican la dinámica del complejo en conjunto con los demás programas y no de manera aislada.

Una vez obtenidas las ponderaciones para cada atributo se obtiene la ponderación general de la suma de estas especificando la importancia de cada uno de los programas para la dinámica del complejo arquitectónico, luego utilizando el número de horas aproximado de utilización al día de cada programa se construye el valor de dinámica total aportada al complejo multiplicando el número de horas de utilización por la ponderación general de cada programa, diferenciando así a todos los programas que tengan un mayor tiempo de uso diario de los habitantes. Si definimos a_{ij} como la ponderación asignada al programa

i en el atributo j y h_i como el número de horas diarias de utilización del programa i , entonces el aporte total en dinámica d_i en la función objetivo viene dada por:

$$d_i = \left(\sum_{j=1}^6 a_{ij} \right) \times h_i, \forall i \in \{1, \dots, n\}.$$

Los valores de aporte en dinámica para cada uno de los programas se pueden observar en el cuadro 4 en el Apéndice 2.

Estos valores de aporte en dinámica representan la importancia de cada programa para el complejo arquitectónico y son asignados de manera subjetiva, por esta razón no necesariamente reflejan la verdadera importancia para el complejo que los programas tendrían además están asignados de una manera fija. Cuando los parámetros de un problema de optimización son fijos y asignados subjetivamente estos no logran captar necesariamente con verdadera certeza el comportamiento de la realidad y están sujetos a la interpretación de la persona que los asignó, las soluciones resultantes pueden ser equivocadas si el conocimiento de la persona que los asigna es errado, por este motivo hay que tomar precauciones, hacer validaciones y verificar la consistencia de los parámetros asignados de esta forma. En la realidad los parámetros de un problema de optimización no son necesariamente determinísticos y no tomar en cuenta que pueden existir variaciones naturales que provoquen que estos cambien sólo provoca que las soluciones del problema no sean adecuadas para los fines prácticos.

2.3. Modelo Estocástico

Ciertos parámetros del modelo como el promedio de personas que utilizarían normalmente el programa y además los valores de aporte en dinámica asignados subjetivamente en función de conocimiento urbano-arquitectónico (Chiriboga Ramírez, 2016) estarían sujetos a incertidumbre, en el caso del promedio de personas podría variar debido a condiciones de hacinamiento para programas de vivienda, en el caso de los valores de aporte en dinámica variarían por su misma asignación subjetiva y de conocimiento personalizado; incluso las dimensiones de cada programa estarían sujetas a incertidumbre ya que estas podrían variar desde un valor mínimo aceptable hasta un valor máximo permisible en función de análisis costo-beneficio, sin embargo para este proyecto se decidió tomar las dimensiones asignadas a los programas como fijas para poder tener una estructura

fundamental y diseños con antelación para los mismos. Cuando los parámetros de un problema de optimización están sujetos a incertidumbre los mismos caen en una división de problemas de optimización conocidos como de optimización estocástica (Heyman y Sobel, 2003).

2.3.1. Optimización Estocástica

Existen dos tipos distintos de problemas de optimización estocástica, unos en los que los parámetros del problema no son conocidos con certeza y están sujetos a incertidumbre y otros en los que el método de resolución del problema determinístico está sujeto a una especie de búsqueda aleatoria por el árbol de soluciones para acelerar el proceso (Hoos y Stützle, 2004). Los problemas del primer tipo surgen de manera natural en la vida real y a diferencia de los problemas de optimización determinística en donde todos sus parámetros son conocidos en esta clase de problemas los parámetros pueden ser desconocidos o pueden venir asignados en alguna especie de intervalo con alguna función de probabilidad. Por ejemplo, parámetros como precios de venta (Kleywegt y Shapiro, 2001, pp.1-2), demandas, tiempos de uso todos están sujetos a incertidumbre y de ahí la importancia de tomar en cuenta esta característica. Si estos parámetros están incluidos en la función objetivo esta será aleatoria; si aparecen los parámetros aleatorios en las restricciones se denominan restricciones aleatorias. Existen algunos métodos de resolución para esta clase de problemas que pueden ser analíticos o numéricos. Entre estos están: (Diwekar y Kalagnanam, 1997) los métodos de muestreo, (Chong y Ramadge, 1994) de análisis de perturbación, (Glynn, 1987) de razón de verosimilitud, (Kleywegt y Shapiro, 2001) de simulación basados en optimización, etc. Los métodos de muestreo o de optimización de escenarios son métodos que aproximan el valor esperado óptimo de la función objetivo tomando el promedio de los valores óptimos obtenidos de un conjunto de instancias determinísticas construidas mediante un muestreo de todos los parámetros inciertos del problema.

Para la resolución del problema planteado en este proyecto se utilizó la siguiente estrategia:

1. Se toma una muestra de todos los parámetros no determinísticos del problema y se construye una instancia en donde todos los parámetros están plenamente determinados.

2. Utilizando un solver de optimización CPLEX (ILOG, 2012) se optimiza la instancia construida, se guardan los valores que toman el conjunto de variables de decisión x_i y del valor óptimo de la función objetivo (1) en una tabla de resultados.
3. Se repiten los pasos 1 y 2 un número determinado de veces n .
4. Con la tabla de resultados se obtiene el promedio de los valores óptimos que se obtuvieron para las distintas instancias y con este valor aproximamos el valor esperado óptimo de la función objetivo aleatoria.

2.3.2. Parámetros aleatorios

Para poder tomar en cuenta la incertidumbre en los parámetros del número de promedio de personas que utilizarían los programas así como de sus valores de aporte en dinámica en la función objetivo se asignaron funciones de distribución informativas y no informativas a los mismos.

Para los valores de aporte en dinámica se decidió usar una distribución no informativa uniforme debido al desconocimiento de su verdadero aporte y no contar con mayor información para poder precisarlo de una mejor manera, la función de distribución de estos parámetros viene dada por:

$$f(d_i) \sim \mathcal{U}[d_i - 20, d_i + 20], \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}.$$

Por otro lado, para el promedio de personas que utilizaría normalmente cada programa se decidió utilizar una distribución informativa normal, cuyos parámetros vienen asignados de la siguiente forma:

$$f(p_i) \sim \begin{cases} \mathcal{N}(p_i, 0,25) & \text{si } p_i \leq 3, \\ \mathcal{N}(p_i, 0,5) & \text{si } 3 < p_i \leq 7, \\ \mathcal{N}(p_i, 0,75) & \text{si } p_i > 7. \end{cases} \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}.$$

3. Programación y resultados numéricos

3.1. Programación y construcción de instancias

La programación del modelo se realizó en un lenguaje de modelamiento algebraico AMPL (Fourer, Gay, y Kernighan, 1987), este lenguaje permite programar esta clase de problemas de una manera más sencilla además de tener la opción de asignar a los parámetros distribuciones de probabilidad y poder construir rutinas para la creación de las instancias a optimizar el número de veces que sean necesarias para obtener una aproximación robusta de la esperanza de la función objetivo del problema. El código de programación del problema, y la rutina de muestreo y optimización se adjuntan en el Apéndice 1 y consiste en 3 archivos cuyo detalle se puede observar en el cuadro 1.

Cuadro 1: Programación del modelo de optimización

Archivo	Descripción
edif.dat	Declaración de todos los parámetros determinísticos del problema.
dinamica.mod	Programación del modelo de optimización. Definición de parámetros aleatorios.
dinamica.run	Rutina de construcción de instancias mediante muestreo. Optimización y obtención de resultados.

3.2. Resultados computacionales

Las variables de decisión enteras x_i del problema indican cuantas veces el *programa* i fue seleccionado para ser incluido en el diseño del complejo arquitectónico; la función objetivo (1) mide la dinámica total del complejo en base a los *programas* seleccionados y viene dada en valores reales. Se estudiará el comportamiento de las soluciones en base a los resultados obtenidos de un conjunto de 1000 instancias. Las variables de decisión en cada instancia construida toman distintos valores dependiendo de los valores que tomaron los parámetros aleatorios del problema en dicha instancia. De este modo cada variable de decisión tiene asociado un conjunto de 1000 soluciones que nos sirvieron para construir sus funciones de densidad de probabilidad.

Para los programas dedicados a la salud se pudo observar que debido a la importancia en su aporte en dinámica en todas las soluciones óptimas fue seleccionado como parte del proyecto arquitectónico, cumpliendo en todas su cota máxima de posibles edificaciones para esta tipología. Los resultados para los programas dedicados a aulas de

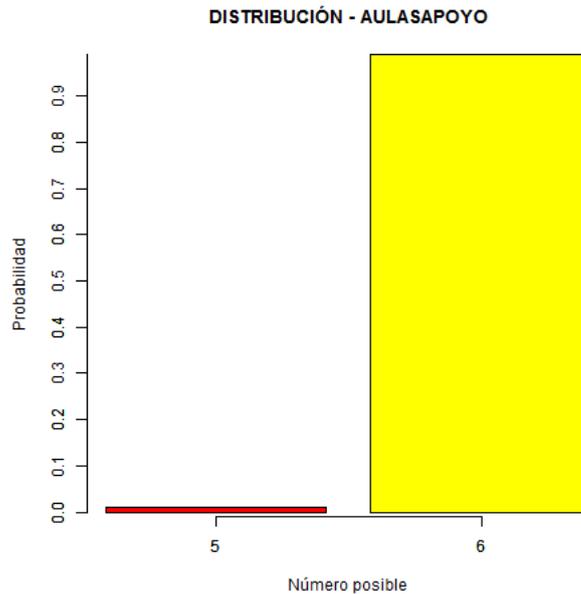


Figura 7: Masa de probabilidad, solución Aulas de apoyo

apoyo se pueden ver en la figura 7, en la totalidad de las soluciones esta clase de programas son escogidos 5 o incluso 6 veces para el diseño del complejo arquitectónico, un comportamiento esperado ya que promueven el desarrollo económico y social del sector.

En la figura 8 se muestra el comportamiento de las soluciones para los programas de comedores, en más de la mitad de las instancias resueltas fue seleccionada una de estas tipologías para ingresar el proyecto arquitectónico, del mismo modo existen conjuntos de soluciones en las que esta tipología no es tomada en cuenta. Por otro lado, para los programas de cafeterías se tiene que existen soluciones en las que sólo se han escogido 4 ó 5 de este tipo de programas, pero en la mayoría de soluciones el valor óptimo para esta variable de decisión es de 6, la función de densidad para esta clase de programas se muestra en la figura 9.

En la figura 10 se muestra el comportamiento de las soluciones para programas de heladerías, éstas muestran un comportamiento similar que al de programas de cafeterías, existen soluciones para las que este programa es seleccionado para ser incluidas en el complejo arquitectónico 1 ó 2 veces, pero en la gran mayoría es seleccionado 3 veces. Para los programas de restaurantes el comportamiento de las soluciones se muestra en la figura 11, se puede observar que en casi la totalidad de las soluciones este programa es

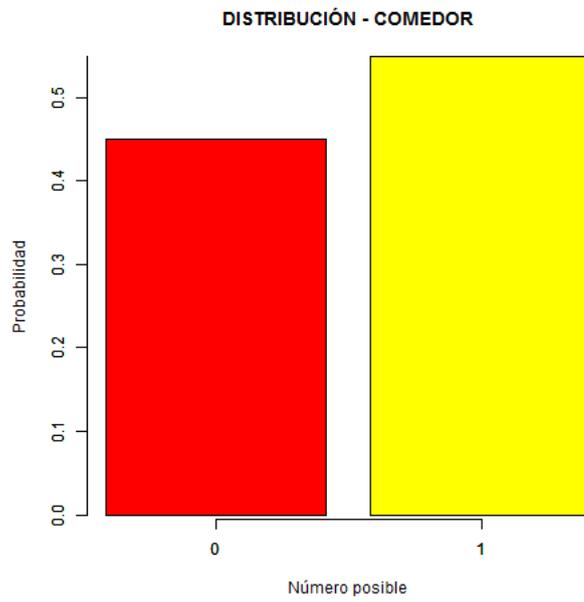


Figura 8: Masa de probabilidad, solución Comedor

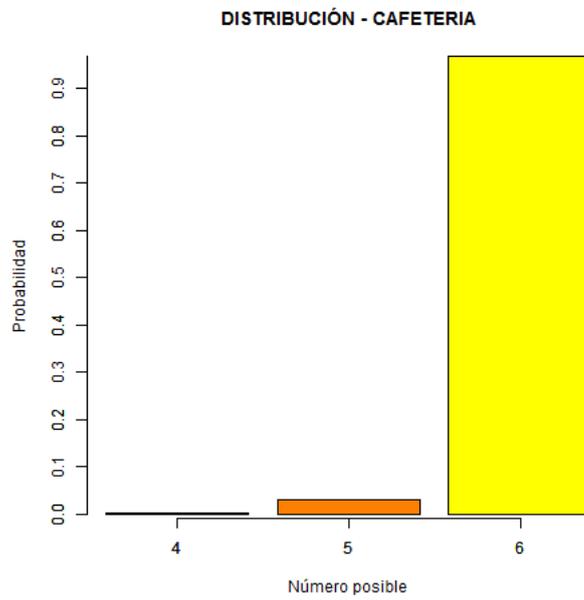


Figura 9: Masa de probabilidad, solución Cafetería

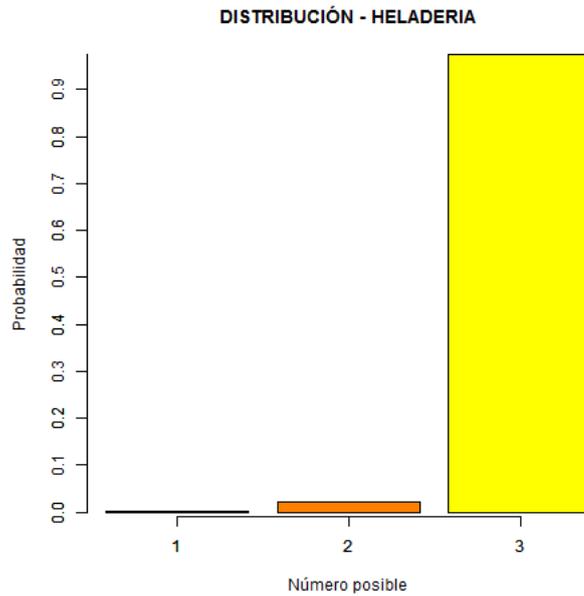


Figura 10: Masa de probabilidad, solución Heladería

incluido 6 veces en el complejo, este comportamiento puede deberse a que estos programas tienen dimensiones pequeñas por lo tanto en un mayor número de estos se aporta más dinámica que incluyendo otros programas.

Para los programas de oficinas que nacen de tratar de solucionar una de las problemáticas del sector como es el traslado constante de sus habitantes a grandes distancias y con períodos largos de tiempo para realizar sus actividades, se obtuvieron los resultados que se muestran en la figura 12. De los resultados se puede observar su importancia para el sector y en el complejo en general, esta clase de programas fueron incluidos 9 y 10 veces, casi siempre cumpliendo con el número total de posibles edificaciones para esta tipología. Por otro lado, para los programas de peluquerías, en el conjunto de soluciones fueron incluidas para el proyecto 1 sola vez, comportamiento que se muestra en la figura 13

Para los programas de comercio de productos marinos el comportamiento de las soluciones se muestra en la figura 14, podemos observar como la gran mayoría de soluciones óptimas tienen incluido este programa 2 veces. Los programas de venta de verduras fueron incluidos 10 veces en la totalidad de las soluciones, estos programas mostraban una gran importancia para el sector debido al comercio informal de venta de verduras

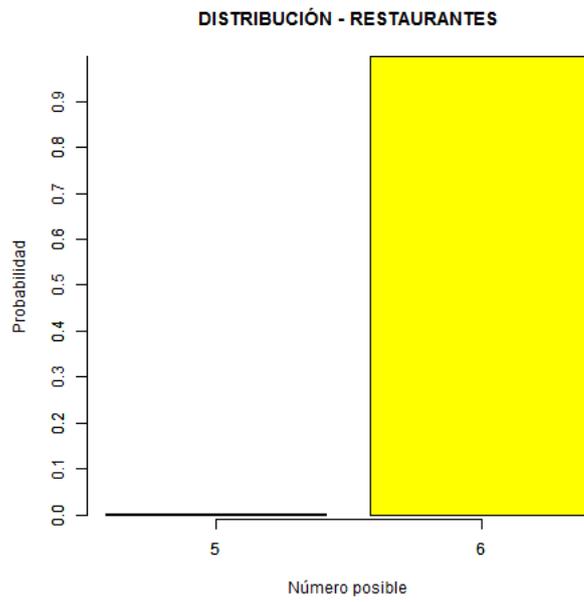


Figura 11: Masa de probabilidad, solución Restaurantes

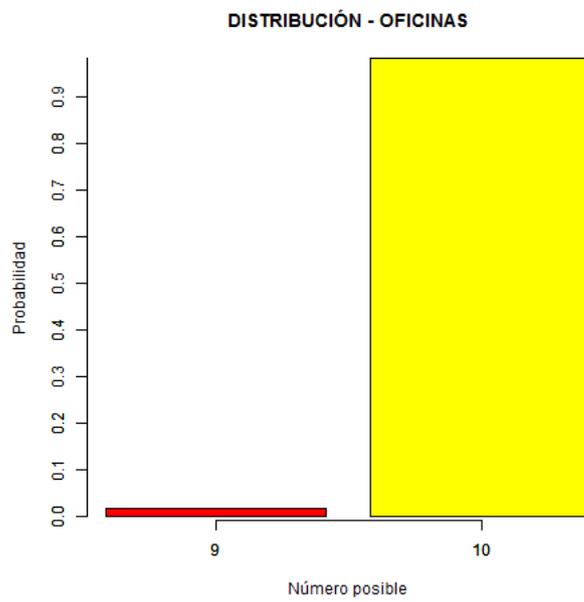


Figura 12: Masa de probabilidad, solución Oficinas

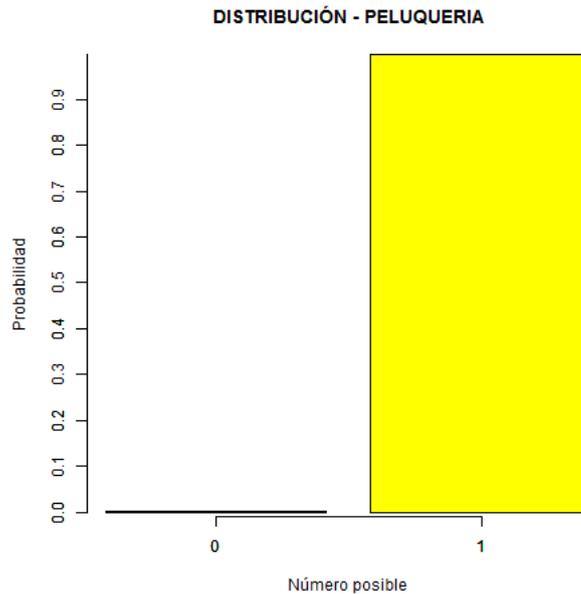


Figura 13: Masa de probabilidad, solución Peluquería

y otros productos de necesidades básicas alrededor de sus calles principales y por ende este comportamiento en sus soluciones.

En el caso de los programas para áreas verdes (parques, plazas, etc.) que venían asignados con una restricción de salubridad y bienestar social se pueden ver el comportamiento de las soluciones en las figuras 15,16,17; se puede observar como existe una preferencia por los programas de áreas verdes con dimensiones menores a 50 m², esto debido a que el aporte en dinámica no pudo ser completamente diferenciado en función de su dimensión. Los programas de áreas verdes con dimensiones de 70 m² y 100 m² en la mayoría de las soluciones no son incluidos en el proyecto, por el contrario los de dimensión de 50 m² son incluidos desde 2 hasta 15 veces en el proyecto, siendo 12, 13, 14 y 15 veces las soluciones con mayor frecuencia.

Para el sector en su mayoría un sector residencial los programas de vivienda son de gran importancia y están estrechamente relacionados con los programas de áreas verdes en la restricción (3) y sus resultados se muestran en las figuras 18, 19 y 20, en este tipo de programas la distribución no es generalizada, existe una selección en todo el rango de posibles números de edificaciones que podían ser incluidos en el complejo, para los programas de vivienda de dimensión 32 m² (figura: 18) el número de inclusión al

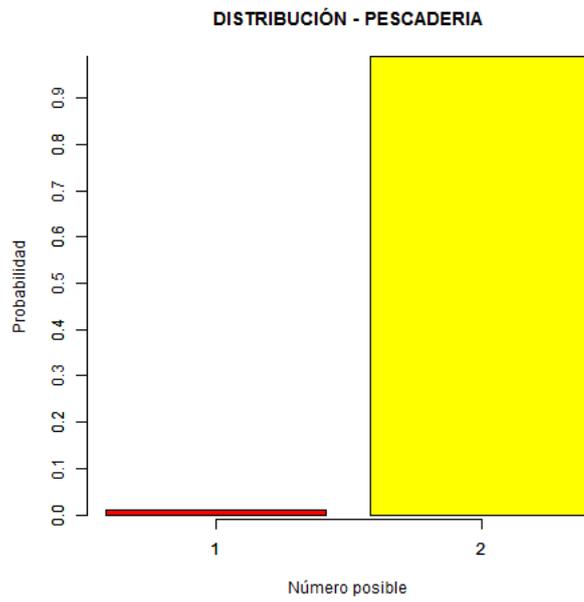


Figura 14: Masa de probabilidad, solución Pescadería

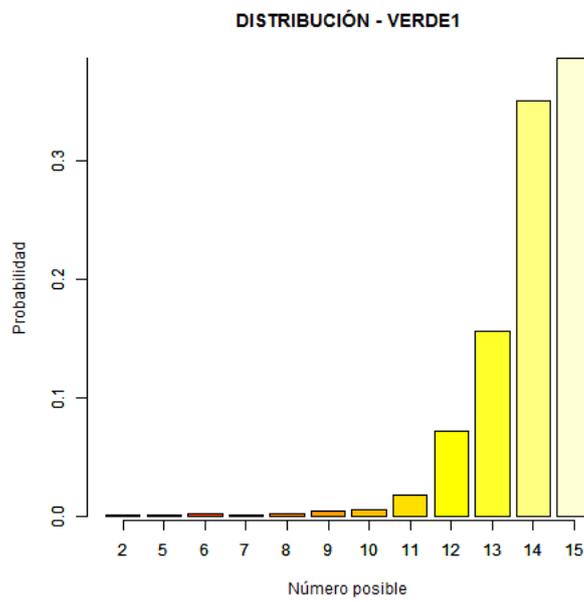


Figura 15: Masa de probabilidad, solución Verde - Tipo 1

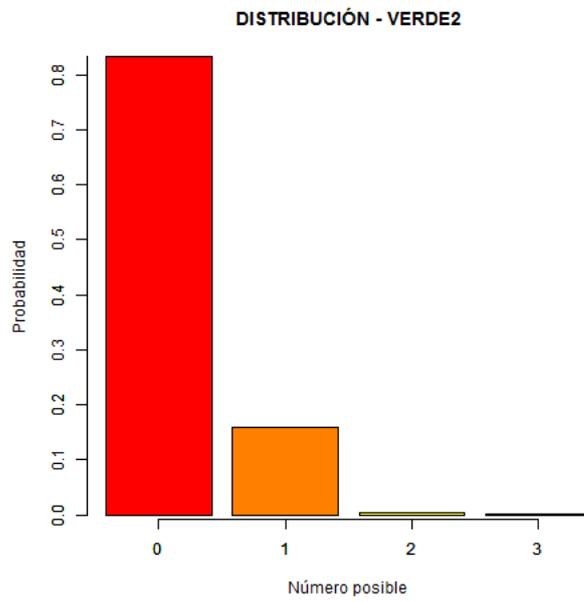


Figura 16: Masa de probabilidad, solución Verde - Tipo 2

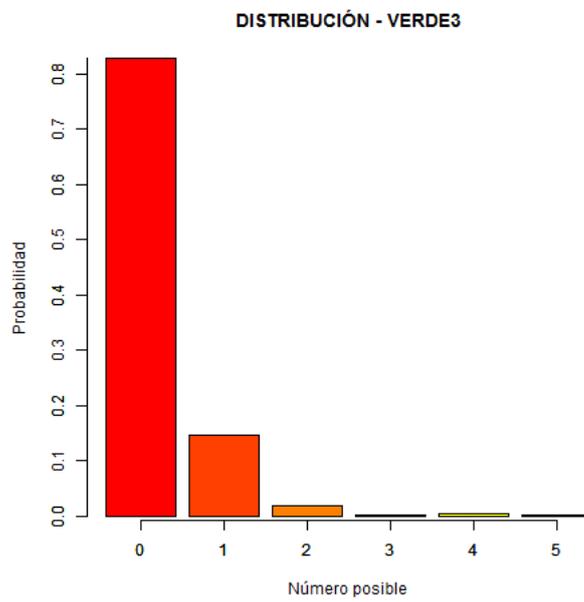


Figura 17: Masa de probabilidad, solución Verde - Tipo 3

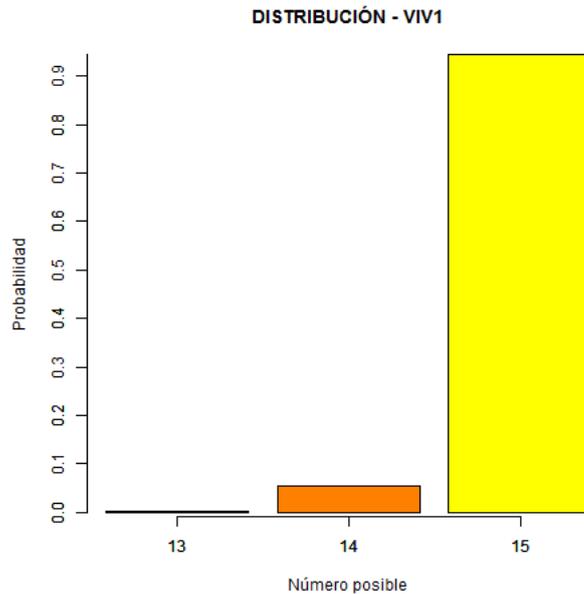


Figura 18: Masa de probabilidad, solución Vivienda - Tipo 1

complejo con mayor frecuencia es de 15 y el menor de 13. Para los programas de vivienda de dimensión 55 m² (figura: 19) la frecuencia más alta de inclusión al complejo de igual manera es 15, sin embargo existen soluciones en las que éstos no se incluyen en absoluto o sólo un número reducido de veces. Los programas de vivienda con dimensión 64 m² (figura: 20) no son seleccionados un 25 % de todas las veces para ser parte del complejo y seleccionado un número reducido de veces en el resto, un 5 % de las veces este tipo de programas son incluidos 15 veces.

El resultado para el valor óptimo de la función objetivo se muestra en términos de su densidad de probabilidad en la figura 21, la misma se puede observar presenta un comportamiento de normalidad que era un resultado esperado ya que la función objetivo es una combinación lineal de variables que siguen una distribución uniforme, el valor esperado de la función objetivo se aproximó mediante el promedio de los valores óptimos encontrados para cada instancia $E(Z_{opt}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{opt-i}$, el promedio resultó ser de 36290.07, con un valor máximo obtenido en dinámica para alguna de las instancias de alrededor de 42000 y un mínimo de alrededor de 30000. Para poder encontrar los valores de las variables de decisión en el óptimo esperado se ofrece el siguiente procedimiento:

- En la tabla de resultados de las simulaciones encontrar el valor óptimo más cercano

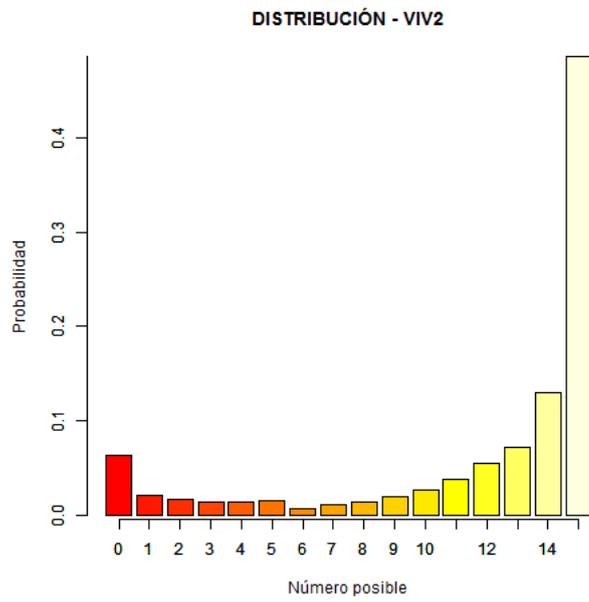


Figura 19: Masa de probabilidad, solución Vivienda - Tipo 2

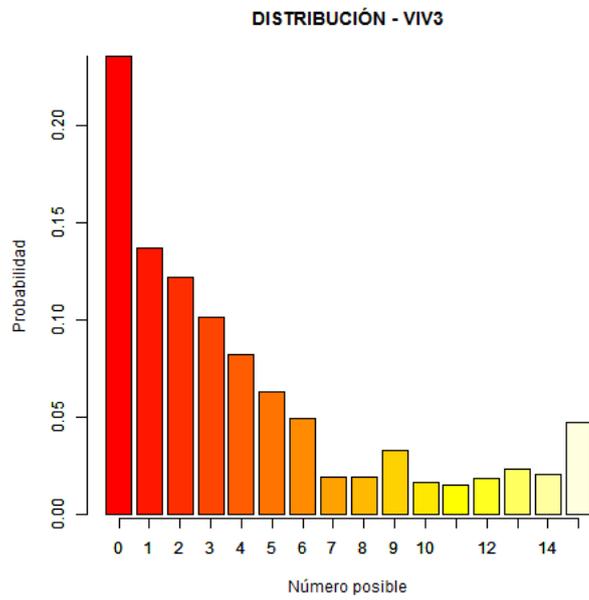


Figura 20: Masa de probabilidad, solución Vivienda - Tipo 3

Cuadro 2: Solución óptima maximal esperada

VARIABLES DE DECISION	SOLUCION
AULASAPOYO	6
BAILE	3
BIBLIOTECA	1
CAFETERIA	6
CARNICERIA	2
CARPINTERIA	1
CENTROSALUD	1
CERAMICA	1
COCINA	1
COMEDOR	1
FERRETERIA	2
GINNASIO	2
GUARDERIA	1
HELADERIA	3
INFORMATICA	1
INTERNET	3
JOYERIA	1
LABIDIOMAS	1
METAL	1
METALMECANICA	1
MUSICAYARTE	1
OFICINAS	10
PANADERIA	2
PELUQUERIA	1
PESCADERIA	2
REPAUTOS	1
RESTAURANTES	6
ROPA	6
SASTRERIA	2
TALLERES	4
VERDE1	14
VERDE2	0
VERDE3	0
VERDURAS	10
VITRALES	1
VIV1	15
VIV2	15
VIV3	0
ZAPATERIA	2
OPTIMO	36289.5

al valor máximo esperado de la función objetivo (36290.07).

- Una vez determinado el valor óptimo más cercano, utilizar los valores de las variables de decisión de esa instancia como el conjunto de soluciones óptimas esperadas para cada programa.

Para el conjunto de 1000 simulaciones realizadas el valor óptimo esperado de las variables de decisión viene dado por la solución de la simulación #225 con un valor óptimo de 36289.5 en donde el conjunto de variables de decisión tomaron los valores especificados en el cuadro 2.

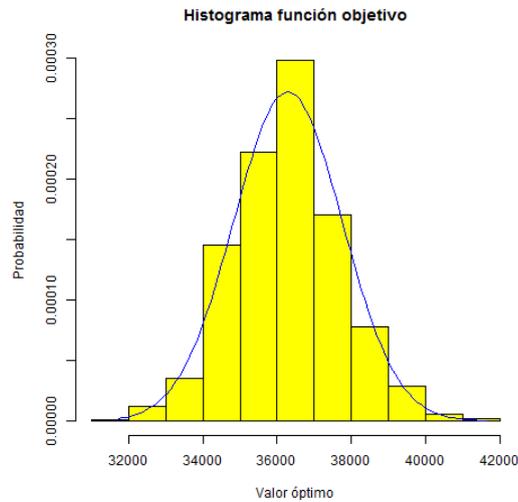


Figura 21: Histograma, valor función objetivo

4. Conclusiones

El objetivo de este trabajo fue el de tratar de resolver problemáticas urbanas mediante la planificación de un complejo arquitectónico que tenga la característica de ser una edificación capaz de maximizar el tiempo de uso y la cantidad del flujo de personas que lo utilizarían, se pudo formular el problema como un programa de optimización entera concreto y especificar restricciones para el mismo, por otro lado los parámetros inciertos dan mucha cabida a subjetividad y pueden obtenerse resultados no necesariamente acertados, sin embargo la técnica utilizada presenta mucho potencial ya que para la determinación de estos parámetros se pueden realizar estudios o análisis más profundos que permitan obtener una representación más acertada de los mismos.

De la construcción del modelo de optimización se pudo observar que muchos de los criterios arquitectónicos, definiciones de salubridad y bienestar en proyectos arquitectónicos se pueden expresar de una manera algebraica bien definida como restricciones en un problema de optimización.

Los parámetros de dimensión de los *programas* del problema de optimización entera pueden ser asignados de una manera aleatoria y no determinista, los mismos pueden ser determinados realizando estudios de costo-beneficio o análisis más especializados, esto permitiría tener un comportamiento aún más apegado a la realidad del sector.

El comportamiento de las soluciones para los *programas* de viviendas y de áreas verdes puede presentar su irregularidad debido a su relación directa en las restricciones y sus valores de aporte en dinámica, sería interesante estudiar el comportamiento de las soluciones haciendo variaciones de estos parámetros y ver si es posible obtener soluciones menos irregulares.

Como se pudo observar alrededor de todo este proyecto las problemáticas urbanas pueden y deben ser resueltas de una forma mejor estructurada, una de estas formas puede ser en base al lenguaje de las matemáticas que tiene el potencial de poder expresar un problema urbano de forma esquemática y mediante problemas de optimización o distintas técnicas encontrar soluciones que sean teóricamente sustentables y no sean soluciones que provengan tan sólo de la decisión de políticas gubernamentales.

El lenguaje AMPL es un lenguaje de gran potencia para la programación y resolución de problemas de optimización de gran escala y con gran complejidad.

Finalmente, el alcance y potencia de este estudio muestran nuevamente que esta clase de problemas de optimización pueden ser aplicados en la planificación más acertada de proyectos arquitectónicos de gran escala, definiendo de manera adecuada todos los parámetros y los objetivos del estudio con sus respectivas limitaciones.

Apéndice 1: Archivos de programación

Archivo 1: edif.dat

```
set edificaciones :=  
GUARDERIA  
OFICINAS  
PANADERIA  
CAFETERIA  
PESCADERIA  
CARNICERIA  
HELADERIA  
VERDURAS  
COMEDOR  
FERRETERIA  
ROPA  
RESTAURANTES  
CARPINTERIA  
METALMECANICA  
METAL  
SASTRERIA  
ZAPATERIA  
VITRALES  
JOYERIA  
PELUQUERIA  
CERAMICA  
MUSICAYARTE  
TALLERES  
COCINA  
BAILE  
REPAUTOS  
LABIDIOMAS  
INFORMATICA  
INTERNET  
AULASAPOYO  
BIBLIOTECA  
CENTROSALUD  
GIMNASIO  
VIV1  
VIV2  
VIV3
```

VERDE1
 VERDE2
 VERDE3;

set verde :=
 VERDE1
 VERDE2
 VERDE3;

set vivienda :=
 VIV1
 VIV2
 VIV3;

param capacidad := 8945;

param: maximo dimension mini maxi persmu persdesv :=

GUARDERIA	1	320	142	182	10	0.75
OFICINAS	10	40	170	210	2.5	0.25
PANADERIA	2	40	300	340	1.5	0.25
CAFETERIA	6	40	284	324	3	0.25
PESCADERIA	2	40	201	241	2.5	0.25
CARNICERIA	2	40	201	241	1.5	0.25
HELADERIA	3	20	214	254	1.5	0.25
VERDURAS	10	40	279	319	1.5	0.25
COMEDOR	1	100	292	332	10	0.75
FERRETERIA	2	40	149	189	1.5	0.25
ROPA	6	40	240	280	1.5	0.25
RESTAURANTES	6	40	240	280	2.5	0.25
CARPINTERIA	1	140	230	270	2	0.25
METALMECANICA	1	140	230	270	2.5	0.25
METAL	1	140	230	270	2	0.25
SASTRERIA	2	80	210	250	1	0.25
ZAPATERIA	2	40	220	260	1	0.25
VITRALES	1	40	220	260	1.5	0.25
JOYERIA	1	40	220	260	1.5	0.25
PELUQUERIA	1	40	268	308	2.5	0.25
CERAMICA	1	80	210	250	1.5	0.25
MUSICAYARTE	1	80	170	210	1	0.25
TALLERES	4	40	180	220	1.5	0.25
COCINA	1	80	190	230	3.5	0.5

```

BAILE 3 80 172 212 2 0.25
REPAUTOS 1 200 130 170 2 0.25
LABIDIOMAS 1 60 140 180 2 0.25
INFORMATICA 1 60 140 180 2 0.25
INTERNET 3 40 210 250 1.5 0.25
AULASAPOYO 6 25 180 220 1.5 0.25
BIBLIOTECA 1 160 120 160 3.4 0.5
CENTROSALUD 1 200 628 668 12 0.75
GIMNASIO 2 200 396 436 3.4 0.5
VIV1 15 32 330 370 1.5 0.25
VIV2 15 55 330 370 3.5 0.5
VIV3 15 64 330 370 4.5 0.5
VERDE1 15 50 280 320 12 0.75
VERDE2 15 70 280 320 20 0.75
VERDE3 15 100 280 320 25 0.75;

```

Archivo 2: dinamica.mod

```

set edificaciones ;
set verde;
set vivienda;

param capacidad >= 0;
param maximo{edificaciones};
param mini{edificaciones};
param maxi{edificaciones};
param dinamica{i in edificaciones} := Uniform(mini[i], maxi[i]);
param dimension{edificaciones};
param persmu{edificaciones};
param persdesv{edificaciones};
param persprom{i in edificaciones} := max(Normal(persmu[i], persdesv[i]), 0);

var numero {i in edificaciones} integer >=0,<=maximo[i];

maximize dinamicatotal: sum{i in edificaciones} numero[i]*dinamica[i];
subject to capacidadtotal: sum{i in edificaciones} numero[i]*dimension[i] <= capacidad;
subject to areaverde: sum{i in verde} numero[i]*dimension[i] >= 9*(sum {j in vivienda}
                                                                    numero[j]*persprom[j]);
subject to areaminima: sum{i in edificaciones} numero[i]*dimension[i] >= 16*(
                                                                    sum{j in edificaciones}numero[j]*persprom[j]);

```

Archivo 3: dinamica.run

```
model dinamica.mod;
data edif.dat;
param iter := 1000;
param optimos {1..iter};
param soluciones {i in edificaciones, j in 1.. iter };
for {k in 1.. iter} {
  reset data dinamica;
  reset data persprom;
  option solver cplex;
  solve;
  let optimos[k] := dinamicatotal;
  for {i in edificaciones} {
    let soluciones[i,k] := numero[i];
  }
}
display (sum {k in 1..iter} optimos[k]) / iter;
```

Apéndice 2: Cuadros de parámetros y ponderadores

Cuadro 3: Parámetros del modelo de optimización

PROGRAMAS	AREA M2	NUMERO DE EDIFICACIONES POSIBLES	PROMEDIO DE PERSONAS EN EL ESPACIO	HORAS DE OCUPACION DEL ESPACIO
GUARDERIA	320	1	10	9
OFICINAS	40	10	2.5	10
PANADERIA	40	2	1.5	16
CAFETERIA	40	6	3	16
PESCADERIA	40	2	2.5	13
CARNICERIA	40	2	1.5	13
HELADERIA	20	3	1.5	13
VERDURAS	40	10	1.5	13
COMEDOR	100	1	10	13
FERRETERIA	40	2	1.5	13
ROPA	40	6	1.5	13
RESTAURANTES	40	6	2.5	13
CARPINTERIA	140	1	2	10
METALMECANICA	140	1	2.5	10
METAL	140	1	2	10
SASTRERIA	80	2	1	10
ZAPATERIA	40	2	1	10
VITRALES	40	1	1.5	10
JOYERIA	40	1	1.5	10
PELUQUERIA	40	1	2.5	12
CERAMICA	80	1	1.5	10
MUSICAYARTE	80	1	1	10
TALLERES	40	4	1.5	8
COCINA	80	1	3.5	10
BAILE	80	3	2	8
REPAUTOS	200	1	2	10
LABIDIOMAS	60	1	2	10
INFORMATICA	60	1	2	10
INTERNET	40	3	1.5	10
AULASAPOYO	25	6	1.5	10
BIBLIOTECA	160	1	3.4	10
CENTROSALUD	200	1	12	24
GIMNASIO	200	2	3.4	16
VIV1	32	15	1.5	14
VIV2	55	15	3.5	14
VIV3	64	15	4.5	14
VERDE1	50	15	12	12
VERDE2	70	15	20	12
VERDE3	100	15	25	12

Cuadro 4: Ponderadores de dinámica

PROGRAMAS	PONDERADORES CALIFICACIÓN 1-5						VALOR TOTAL DE PONDERACION SOBRE 30	DINAMICA PARA ALGORITMO
	HORAS DE MAYOR AFLUENCIA DE PERSONAS	CAPACIDAD DE ADAPTACION ESPACIAL	APORTE A DINAMICA PROGRAMATICA	MAYOR ATRACTOR DE PERSONAS	APORTE A DESARROLLO SOCIAL	APORTE POR COMPLEMENTARIOS		
GUARDERIA	4	3	1	3	4	3	18	162
OFICINAS	5	4	3	2	3	2	19	190
PANADERIA	4	4	3	3	2	4	20	320
CAFETERIA	4	4	2	3	2	4	19	304
PESCADERIA	4	4	2	2	2	3	17	221
CARNICERIA	4	4	2	2	2	3	17	221
HELADERIA	3	4	3	3	2	3	18	234
VERDURAS	4	4	4	4	3	4	23	299
COMEDOR	5	1	5	5	3	5	24	312
FERRETERIA	3	4	1	1	1	3	13	169
ROPA	4	4	3	3	2	4	20	260
RESTAURANTES	3	4	3	4	2	4	20	260
CARPINTERIA	5	4	3	3	5	5	25	250
METALMECANICA	5	4	3	3	5	5	25	250
METAL	5	4	3	3	5	5	25	250
SASTRERIA	5	4	2	2	5	5	23	230
ZAPATERIA	5	4	3	2	5	5	24	240
VITRALES	5	4	3	2	5	5	24	240
JOYERIA	5	4	3	2	5	5	24	240
PELUQUERIA	5	4	3	2	5	5	24	288
CERAMICA	5	3	3	2	5	5	23	230
MUSICAYARTE	5	1	1	2	5	5	19	190
TALLERES	5	4	3	3	5	5	25	200
COCINA	5	1	3	2	5	5	21	210
BAILE	5	4	3	3	4	5	24	192
REPAUTOS	5	0	1	2	4	3	15	150
LABIDIOMAS	3	1	2	2	5	3	16	160
INFORMATICA	3	1	2	2	5	3	16	160
INTERNET	4	4	3	4	4	4	23	230
AULASAPOYO	3	3	3	2	5	4	20	200
BIBLIOTECA	3	0	2	1	5	3	14	140
CENTROSALUD	5	2	5	5	5	5	27	648
GIMNASIO	4	4	4	5	5	4	26	416
VIV1	5	0	5	5	5	5	25	350
VIV2	5	0	5	5	5	5	25	350
VIV3	5	0	5	5	5	5	25	350
VERDE1	5	/	5	5	5	5	25	300
VERDE2	5	/	5	5	5	5	25	300
VERDE3	5	/	5	5	5	5	25	300

Referencias

- Chiriboga Ramírez, M. J. (2016). *Centro residencial de desarrollo económico y social comité del pueblo* (B.S. thesis). Quito: USFQ, 2016.
- Chong, E. K., y Ramadge, P. J. (1994). Stochastic optimization of regenerative systems using infinitesimal perturbation analysis. *IEEE transactions on automatic Control*, 39(7), 1400–1410.
- De Maximy, R., y Peyronnie, K. (2000). Gente de quito.
- Diwekar, U. M., y Kalagnanam, J. R. (1997). Efficient sampling technique for optimization under uncertainty. *AIChE Journal*, 43(2), 440–447.
- Fourer, R., Gay, D. M., y Kernighan, B. W. (1987). *Ampl: A mathematical programming language*. AT&T Bell Laboratories Murray Hill, NJ 07974.
- Glynn, P. W. (1987). Likelihood ratio gradient estimation: an overview. En *Proceedings of the 19th conference on winter simulation* (pp. 366–375).
- Harvey, D. G. A., y cols. (1977). *Urbanismo y desigualdad social*.
- Heyman, D. P., y Sobel, M. J. (2003). *Stochastic models in operations research: stochastic optimization* (Vol. 2). Courier Corporation.
- Hoos, H. H., y Stützle, T. (2004). *Stochastic local search: Foundations and applications*. Elsevier.
- ILOG, I. (2012). Cplex optimizer. *En ligne*. Available: <http://www-01.ibm.com/software/commerce/optimization/cplex-optimizer>.
- Kleywegt, A. J., y Shapiro, A. (2001). Stochastic optimization. *Handbook of Industrial Engineering*, 2625–2649.
- Lezama, J. L., y Domínguez, J. (2006). Medio ambiente y sustentabilidad urbana. *Papeles de población*, 12(49), 153–176.
- Michalek, J., Choudhary, R., y Papalambros, P. (2002). Architectural layout design optimization. *Engineering optimization*, 34(5), 461–484.
- Mollinedo, C. L. (2006). Movilidad urbana sostenible: un reto para las ciudades del siglo xxi. *Economía Sociedad y Territorio*.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., y Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and buildings*, 40(3), 394–398.
- Wu, H., y Ng, S. T. (2012). A multi-objective optimization model for sustainable building design using genetic algorithms and fuzzy set theory. En *Proceedings of the joint*

cib international conference: Management of construction: Research to practice.

Zhao, F., y Gan, A. (2003). *Optimization of transit network to minimize transfers* (Inf. Téc.).