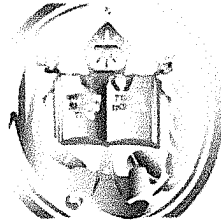


UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
POSTGRADO EN COMPUTACIÓN



Simulador de estacionamientos de vehículos automotores (caso de estudio Universidad Nacional
Experimental del Táchira)

DONACION

SERBIULA
Tullo Febres Cordero

Autor: José Orlando Figueroa Linares
Tutor: Giancarlo Colmenares Sayago

Trabajo de grado presentado ante la ilustre Universidad de Los Andes como requisito parcial
para optar al grado de Magister Scientiae en Computación

Mérida, Enero 2014

RESUMEN

La simulación como técnica permite visualizar las consecuencias de aplicar cambios en un ambiente real sin los inconvenientes de la implantación. En esta ocasión se realizó un simulador que permite esquematizar un plano y visualizar cómo se comportaría el tráfico vehicular dentro del mismo. Para representar a los conductores fueron utilizados agentes reactivos, que tienen como propósito localizar y ocupar un puesto de estacionamiento y posteriormente conseguir salir del lugar. El comportamiento de los agentes conductores se basó en la filosofía de “búsqueda en línea” siendo esta una opción para enmarcar situaciones en las que no es posible conocer de antemano la localización de todos los puestos de estacionamiento dentro del plano ni el nivel de interés de los mismos para los agentes conductores. Se modeló una aplicación que utiliza agentes conductores para simular el comportamiento de los conductores, adicionalmente un objeto controlador maneja los aspectos asociados a la simulación y al cálculo de valores estadísticos. En conjunto, pretenden dar la posibilidad de generar planos y conductores con creencias y preferencias distintas, para así obtener información importante sobre éstos y ayudar en la visualización del funcionamiento de un estacionamiento. Manejando el lenguaje de programación JAVA y desarrollo de aplicaciones por prototipos fue creada una aplicación que puede ser fácilmente utilizada para este fin, la cual fue probada con datos obtenidos de los usuarios que hacen vida dentro de la Universidad Nacional Experimental del Táchira.

Palabras clave: Simulación, agentes, programación.

INDICE GENERAL

INTRODUCCION	xi
Capítulo 1. EL PROBLEMA	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.1.1. Antecedentes de Trabajos sobre Tráfico y simulación:.....	1
1.1.2. Antecedentes en sistemas multiagentes	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3. JUSTIFICACION	5
1.4. OBJETIVOS	6
1.5. METODOLOGÍA.....	6
1.5.1. Fase I: Recolección de Información:.....	6
1.5.2. Fase II: Diseño del Agente Conductor.....	6
1.5.3. Fase III: Desarrollo de prototipos de Aplicación.....	7
1.5.4. Fase IV: Pruebas	7
1.6. RESULTADOS ESPERADOS	8
Capítulo 2. Marco Teórico	9
2.1. Conceptos y Fundamentos sobre Agentes computacionales.....	9
2.1.1. Definición Agentes	9
2.1.2. Características de los Agentes	9
2.1.3. Tipos y Clasificaciones de los Agentes.....	10
2.1.4. Arquitectura Reactiva	13
2.1.5. Arquitectura deliberativa.....	13
2.1.6. Agentes con filosofía de Búsqueda Offline.....	13
2.1.7. Agentes con filosofía de Búsqueda en Línea (Online).....	14
2.1.8. Problemas de la búsqueda en línea (online)	14
2.1.9. Tipos de búsqueda.....	14
2.1.10. Representaciones icónicas.....	15

2.2. Simulación.....	15
2.2.1. Modelos de Simulación.....	16
2.2.2. Simulaciones de tráfico.....	16
2.2.3. Simulaciones microscópicas.....	17
2.2.4. Simulaciones basadas en agentes.....	17
2.3. Conceptos Estadísticos.....	18
2.3.1. Variables Aleatorias.....	18
2.3.2. Distribución de probabilidad.....	18
2.3.3. P valor.....	18
2.3.4. Prueba t para la diferencia de las medias de dos poblaciones independientes.....	19
2.3.5. La prueba de Kolmogorov-Smirnov.....	19
Capítulo 3. Diseño.....	21
3.1. Fase I: Simulador.....	22
3.1.1. Motor del simulador:.....	22
3.1.2. Aspectos importantes del simulador:.....	23
3.1.3. Entorno:.....	25
3.1.4. Funcionalides basicas.....	27
3.1.5. Objeto Simulador:.....	28
3.1.1. Modelo Objeto Simulador.....	32
3.1.2. Funciones del objeto Simulador.....	34
3.1.3. Objeto Totalizador.....	35
3.1.4. Modelo de Objeto Totalizador.....	38
3.1.5. Tareas para el Totalizador.....	39
3.2. Agente Conductor:.....	41
3.2.1. Modelo de Agente conductor.....	46
3.2.2. Modelo de tareas para el Agente Conductor.....	48
3.2.3. Modelo de comunicación para el agente conductor.....	52

3.2.1. Desempeño del agente:	54
3.2.2. Interacción entre el agente conductor con los otros objetos del simulador	54
3.3. Prototipos	56
3.4. Diseño del experimento	57
3.5. Diseño de instrumentos	58
3.6. Cantidad de instrumentos	60
Capítulo 4. Desarrollo e implantación del agente conductor y módulos de la aplicación	63
4.1. Características del estacionamiento del edificio C	63
4.1.1. Especificación de lugares	64
4.2. Proporciones para los agentes conductores	65
4.3. Cálculo para la evaluación de los puestos de estacionamiento	68
4.4. Resultados para asignar a los parámetros de los usuarios de estacionamiento del edificio C	72
4.5. Desarrollo del Simulador, Prototipos de aplicación	75
4.5.1. Pantalla Principal:	75
4.5.2. Pantalla de trabajo	76
4.5.3. Pantalla creación de tipos de agentes	79
4.5.4. Formulario para ingresar los parámetros de la simulación	80
4.5.5. Formulario para la probabilidad de los nodos destino	80
4.6. Implementación del agente conductor	81
4.6.1. Diagrama de actividades para el agente conductor	82
4.7. Ejemplo de un plano desarrollado con SIME	84
4.8. Tiempos de llegada	85
4.9. Pruebas de funcionamiento de SIME	91
4.10. Prueba del simulador para agentes basados en edad	94
4.10.1. Configuración de los puestos del edificio C	95
4.11. Prueba de un ambiente con agentes visitantes	100
4.12. Pruebas con otro estacionamiento	101

4.13. Desempeño de los agentes	104
4.13.1. Porcentaje de agentes que logran estacionarse:.....	104
4.13.2. Promedio de diferencia del valor de interés del agente con respecto al puesto utilizado (PDIU) :	105
4.14. Pruebas de variación de variables de agentes	106
4.14.1. Agente que da una vuelta primero.....	106
4.14.2. Agente primero que consiga libre.	107
4.14.3. Agente Sombreado.....	108
4.14.4. Agente primero libre y Sombreado.	109
4.14.5. Agente puesto de vigilancia.	110
4.14.6. Agente Cerca de un puesto de vigilancia y del edificio de destino.	111
Capítulo 5. Discusión y análisis de resultados	113
5.1. Analizar los requerimientos del simulador.....	113
5.2. Elaborar los modelos que soporten al simulador.....	113
5.3. Elaborar las reglas que regirán a los distintos tipos de agentes.....	114
5.4. Desarrollar prototipos de aplicación.....	115
5.5. Verificar los modelos del simulador.....	115
5.6. Validar el caso de estudio haciendo uso del simulador.....	116
CONCLUSIONES.....	120
RECOMENDACIONES.....	122
BIBLIOGRAFIA	123

INDICE DE FIGURAS

Figura 2 1 Funcionamiento de un agente Interface.....	11
Figura 2 2 Funcionamiento de los agentes de información.....	11
Figura 2 3 Arquitectura Agente basado en metas	12
Figura 2 4 Filosofía búsqueda offline	14
Figura 2 5 Filosofía búsqueda online.....	14
Figura 2 6 Clasificación de los tipos de búsqueda.....	15
Figura 3 1 Modelo del Simulador.....	22
Figura 3 2 Arquitectura Simulador Estacionamientos.....	24
Figura 3 3 Caso de uso de SIME.....	27
Figura 3 4 Caso de Uso objeto simulador.....	29
Figura 3 5 Diagrama de Actividades Objeto Simulador	32
Figura 3 6 Diagrama de casos de Uso Objeto Totalizador.....	36
Figura 3 7 Diagrama de Actividades Totalizador.....	38
Figura 3 8 Casos de uso Agente Conductor.....	42
Figura 3 9 Diagrama de Actividades Agente Conductor	45
Figura 3 10 Estados del Agente Conductor.....	48
Figura 3 11 Diagrama de secuencia interacción entre agente conductor y objeto simulador.....	53
Figura 3 12 Diagrama de secuencia de comunicación entre objeto simulador y agente conductor ..	54
Figura 3 13 Diagrama de secuencia de comunicación entre agente conductor y objeto simulador ..	55
Figura 3 14 Diagrama de secuencia del SIME.....	56
Figura 4 1 Ubicación Estacionamiento del Edificio C	63
Figura 4 2 Distribución de los puestos del Estacionamiento C	64
Figura 4 3 Cantidad de personas por tipo de personal.....	66
Figura 4 4 Proporción de conductores con respecto a género	66
Figura 4 5 Distribución por edad de los conductores	67
Figura 4 6 Distribución de la tolerancia de un conductor a un vehículo estacionado momentáneamente.....	68
Figura 4 7 Gráfica de los valores promedios obtenidos por cada opción de selección de puesto de estacionamiento.....	73
Figura 4 8 Resultados de aplicar la prueba K S en el programa SPSS	74

Figura 4 9 Resultados de la prueba F para los valores de SOL y de LLUVIA	74
Figura 4 10 Resultado de la prueba t de varianzas iguales.....	75
Figura 4 11 Pantalla de inicio del SIME.....	76
Figura 4 12 Pantalla de trabajo de SIME.....	76
Figura 4 13 Pantalla para la selección de la distribución de entrada.....	77
Figura 4 14 Pantalla para indicar cantidad de elementos.....	77
Figura 4 15 Pantalla para ingresar la probabilidad y la cantidad de ocurrencias de ese ítem.....	78
Figura 4 16 Formulario para crear puestos de estacionamientos.....	78
Figura 4 17 Formulario de parámetros de grupo de agentes.....	79
Figura 4 18 Pantalla de los parámetros de la simulación.....	80
Figura 4 19 Formulario para establecer la probabilidad de elección de un nodo destino.....	81
Figura 4 20 Diagrama de estados Agente conductor.....	81
Figura 4 21 Diagrama de actividades para la etapa de buscar puesto por parte del agente conductor.....	83
Figura 4 22 Diagrama de actividades para la etapa buscar salida del agente conductor.....	84
Figura 4 23 Plano de ejemplo desarrollado en SIME.....	85
Figura 4 24 Histograma de conductores que ocuparon un lugar en el estacionamiento del edificio C entre las 7:00 am y las 12 m.....	86
Figura 4 25 Prueba K S para distribución normal.....	87
Figura 4 26 Prueba K S para distribución uniforme.....	87
Figura 4 27 Prueba K S para distribución Poisson.....	87
Figura 4 28 Prueba K S para distribución Exponencial.....	88
Figura 4 29 Cantidad de llegadas de automóviles entre las 7 y 9 de la mañana.....	88
Figura 4 30 Prueba K S para la distribución normal 7 – 9 am.....	89
Figura 4 31 Prueba K S para la distribución uniforme 7 – 9 am.....	89
Figura 4 32 K S para la distribución Poisson 7 – 9 am.....	90
Figura 4 33 K S para la distribución Exponencial 7 – 9 am.....	90
Figura 4 34 Pantalla para almacenar un plano en disco.....	92
Figura 4 35 Tabla de Valores de la simulación en un instante inicial de la misma.....	92
Figura 4 36 Instantánea de la simulación con agentes funcionando.....	93
Figura 4 37 Tabla de valores para los puestos para agente tipo 0-25.....	96
Figura 4 38 Tabla de valores para los puestos para un agente tipo 25-36.....	96
Figura 4 39 Tabla de valores para los puestos para agente tipo 25-36.....	96
Figura 4 40 Tabla de valores para los puestos para agente tipo 25-36.....	97

Figura 4 41 Porcentaje de ocupación de puestos en 14 días (entre 8:00 am y 8:20 am.)	97
Figura 4 42 20% mejores puestos Agente 0-25 vs datos reales	98
Figura 4 43 valores del porcentaje de ocupación arrojados por el simulador SIME	98
Figura 4 44 Valores de porcentajes de ocupación por cada puesto para la simulación y por observación directa en rango de tiempo 8:00 am a 8:15 am	99
Figura 4 45 Funcionamiento del SIME para la prueba de visitantes	101
Figura 4 46 diagrama del estacionamiento del edificio B	102
Figura 4 47 Esquema del estacionamiento de biblioteca dentro del simulador	102
Figura 4 48 puestos más usados en el estacionamiento de la Biblioteca	103
Figura 4 49 Instantánea del Simulador $t=58$	103
Figura 4 50 Porcentaje de ocupación de cada puesto en la simulación	104
Figura 4 51 Porcentaje de ocupación de cada puesto simulado vs el observado	104
Figura 4 52 Porcentaje de agentes que logran o no estacionarse	105
Figura 4 53 Cálculo del PDIU por parte del SIME	105
Figura 4 54 Distribución de los agentes en cuanto a la diferencia porcentual con respecto a su mejor valor posible y su valor ocupado	106
Figura 4 55 Resultado de la simulación agente dar una vuelta primero	107
Figura 4 56 Resultado de la simulación agente primero que consiga libre	108
Figura 4 57 Resultado de la simulación agente sombreado	109
Figura 4 58 Resultados simulación agente primero que consiga libre y sombreado	110
Figura 4 59 Resultados simulación puesto de vigilancia	111
Figura 4 60 Resultados simulación Agentes cerca del edificio de destino y cerca de un puesto de vigilancia	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3 1.Descripción de los nodos del plano de SIME	25
Tabla 3 2 Descripción de caso de uso Generar Mapa	27
Tabla 3 3 Descripción de caso de uso Iniciar simulación	28
Tabla 3 4 Descripción del caso de uso Cargar agentes	28
Tabla 3 5Descripción del caso de uso Clasificar espacios	29
Tabla 3 6 Descripción del caso de uso Aumentar Tiempo	30
Tabla 3 7Descripción del caso de uso Generar Entradas	30
Tabla 3 8Descripción del caso de uso Generar Puntajes	30
Tabla 3 9 Descripción del caso de uso Inicializar Agente conductor	31

Tabla 3 10 Descripción del caso de uso Activar Agente.....	31
Tabla 3 11 Descripción del simulador	32
Tabla 3 12 Modelo de tareas objeto simulador	34
Tabla 3 13 Relación Servicios-Tareas	35
Tabla 3 14 Descripción del caso de uso Calcular Tiempo Estadía.....	36
Tabla 3 15 Descripción del caso de uso Calcular Promedio de uso.....	36
Tabla 3 16 Descripción del caso de uso Calcular Tiempo Promedio de vuelta	37
Tabla 3 17 Descripción del caso de uso Calcular porcentaje de ocupación.....	37
Tabla 3 18 Modelo de Totalizador	38
Tabla 3 19 Tareas del agente totalizador	39
Tabla 3 20 Relación Servicios-Tareas del Agente.....	41
Tabla 3 21 Descripción del caso de uso Mirar Entorno	42
Tabla 3 22 Descripción del caso de uso Moverse.....	42
Tabla 3 23 Descripción del caso de uso Calcular valor.....	43
Tabla 3 24 Descripción del caso de uso Localizar puesto.....	43
Tabla 3 25 Descripción del caso de uso Ocupar puesto.....	44
Tabla 3 26 Descripción del caso de uso Buscar Salida	44
Tabla 3 27 Descripción del caso de uso Descontar Tiempo	45
Tabla 3 28 Modelo de Agente Conductor.....	46
Tabla 3 29 Modelo de tareas Agente conductor.....	48
Tabla 3 30 Relación Servicios-Tareas del Agente conductor.....	52
Tabla 3 31 Instrumento para determinar información sobre los conductores de la Universidad Nacional Experimental del Táchira.....	58
Tabla 3 32 Formato para contar la cantidad de carros.....	61
Tabla 4 1 Proporción de los usuarios del estacionamiento C según instrumentos tabla 3 32.....	65
Tabla 4 2 Distribución por edad de los conductores.....	67
Tabla 4 3 Parámetros y valores de las características de los puestos de estacionamientos.....	69
Tabla 4 4 Ejemplo de valores de puestos de estacionamiento	70
Tabla 4 5 Ejemplo de valores para las diferentes opciones	70
Tabla 4 6 Valores calculados para cada puesto con base en los parámetros de las tablas 4.5 y 4.4. .	71
Tabla 4 7 Valor promedio obtenido por cada parámetro dentro de los usuarios del estacionamiento del edificio C	72
Tabla 4 8 Valores de ejemplo para 10 puestos generados de forma aleatoria.....	73

Tabla 4 9	Tabla de frecuencias de la cantidad de automóviles que se estacionan cada 10 min.	90
Tabla 4 10	Valores de interés de los agentes por rango de edad para las opciones de selección.....	94
Tabla 4 11	Configuración de agentes para prueba de visitantes.....	100
Tabla 4 12	Cantidad de Agentes generados prueba de visitantes.....	100
Tabla 4 13	configuración agente dar una vuelta	106
Tabla 4 14	configuración agente primero que consiga libre.....	107
Tabla 4 15	configuración agente primero que consiga libre.....	108
Tabla 4 16	configuración agente primero que consiga libre y sombreado	109
Tabla 4 17	configuración agente puesto de vigilancia	110
Tabla 4 18	configuración Agente Cerca de un puesto de vigilancia y del edificio de destino.	111
Tabla 5 1	Datos de entradas y salidas después de 30 simulaciones para el estacionamiento C de la UNET.....	116
Tabla 5 2	Datos de entradas y salidas recolectados en el estacionamiento C de la UNET.....	116
Tabla 5 3	Prueba Kolmogorov-Smirnov para los datos de entrada y salida del estacionamiento C de la UNET.....	117
Tabla 5 4	Prueba t para la variable de entradas al sistema.....	118
Tabla 5 5	Prueba t para la variable de salidas al sistema	118

INTRODUCCION

El ser humano siempre ha buscado la manera de mejorar su calidad de vida mediante ajustes al ambiente en donde se desenvuelve. Para que dichos ajustes sean posibles es necesario tener un conocimiento profundo del sistema, cuestión que sólo se logra con un gran estudio y observación del mismo. La simulación es una de las mejores alternativas para el análisis de un sistema: “Nos permite recopilar información pertinente acerca del comportamiento del sistema al paso del tiempo, no es una técnica de optimización, más bien se utiliza para estimar las mediciones de desempeño en un sistema modelado” (TAHA, 1998). Así, su aplicación es hoy en día muy utilizada en casi todas las áreas de procesos. En este caso se utiliza para el estudio de lugares destinados al aparcamiento de vehículos automotores.

Por otro lado, las ciencias sociales son aquellas disciplinas que se ocupan de aspectos del comportamiento y actividades de los humanos, generalmente no estudiados en las ciencias naturales. En ciencias sociales se examinan tanto las manifestaciones materiales como las inmateriales de las sociedades e individuos. Se presume en un inicio que la elección de un espacio para el aparcamiento de un vehículo es algo totalmente personal, depende de las creencias y habilidades de cada persona e incluso del azar, lo que dificulta la creación de un modelo para la selección de un lugar en particular. Con el fin de obtener las causas de la selección de un espacio para estacionar se usan técnicas de las ciencias sociales para conocer el comportamiento de los conductores. Estudiar estos factores en el uso de los estacionamientos es posible gracias a los agentes computacionales y a la simulación de sistemas.

Es normal encontrar que muchos edificios, centros comerciales, instituciones públicas y privadas cuentan con estacionamientos propios que en algunos casos colapsan por la gran cantidad de usuarios, y en otros no son nada cómodos por errores de diseño, en donde no fueron tomadas en cuenta las posibles respuestas de los usuarios. Con esto en mente se plantea la creación de una herramienta que permita realizar simulaciones de un entorno de estacionamiento y poder dar una visión al diseñador del espacio de cómo se comportaría en la vida real su idea; dichas simulaciones harán uso de agentes para poder observar el comportamiento de los conductores con el fin de que los resultados estén lo más cercano posible a lo que en realidad ocurre.

Capítulo 1. EL PROBLEMA

En este capítulo se definen los antecedentes que proporcionan una base para la presente investigación, se realizará la definición del problema donde se establecerá de manera concreta la situación que se va a investigar, se explicará de manera detallada la importancia de realizar la investigación y se definirán los objetivos, metodología, alcance y estructura del documento.

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Antecedentes de Trabajos sobre Tráfico y simulación:

El problema del tráfico urbano ha sido estudiado en el ámbito internacional por diversos autores, entre los cuales se encuentra: “Simulación microscópica de tráfico urbano y su aplicación en el área de Zaragoza” desarrollado por Chanca y Castellanos en el 2004, tuvo como objetivo obtener una herramienta para simular el tráfico urbano con el fin de observar el comportamiento de la red vehicular en una zona delimitada ante variaciones de los parámetros que configuran su comportamiento, logrando experimentar con diversas políticas de control antes de ponerlas en funcionamiento y poder observar el tráfico ante posibles incidencias en la vía, cortes en la vía, obras, acontecimientos festivos, etc.

Comercialmente existen también programas especializados en la simulación del tráfico como es “*TransModeler*”, desarrollado por *Caliper Corporation*, que tiene la capacidad de modelar autopistas y vías urbanas con modelos de comportamiento del conductor que son sensibles a las interacciones complejas entre vehículos en áreas de convergencia de tráfico y en intersecciones, carriles para automóviles de alta ocupación, carriles de buses e instalaciones de peaje, de esta manera permite al usuario tomar decisiones para posibles planes de evacuación y escenarios para responder a desastres naturales, derrames peligrosos y otro tipo de emergencias, zonas de trabajo para manejar el tráfico durante la construcción o ejecución de planes de mantenimiento.

En el ámbito nacional, Camacho (2008) propone un estudio que muestra que es posible utilizar un sistema multiagente para modelar el comportamiento del tráfico en sus tesis de grado “Estudio del uso de sistemas multiagentes para el modelado de tráfico de autos” permitiendo modelar distintos tipos de conductores que representan los conductores del estado Mérida.

Por otro lado, “Simulación de Agentes Dinámicos en la Ciudad Universitaria De Caracas. Aportes para el desarrollo de aplicaciones específicas para mitigar Desastres en Centros Urbanos Estratégicos”, desarrollado por Laffaille (2005) y otros, aplican la simulación multiagente al comportamiento de las personas durante una emergencia, en una localidad real de la ciudad universitaria de Caracas.

Para finalizar, Perez (2010) realizó su tesis de grado: “Desarrollo de modelos de tráfico vehicular en GALATEA”, donde se explican los modelos de tráfico vehicular, ilustrando ciertas características y restricciones que dichos modelos tienen, utilizando para la implementación de los mismos una plataforma multiagente (Galatea) desarrollada por la Universidad de los Andes.

1.1.2. Antecedentes en sistemas multiagentes

Wiering (2004), en su trabajo “*Simulation and Optimization of Traffic in a City*” indica cómo es posible implementar una simulación para tráfico utilizando múltiples agentes, tipificándolos en 2 grupos: agentes conductores y agentes controladores (semáforos de tráfico) dentro de una red de trabajo, el autor implementa la simulación bajo la filosofía de nodos caminos y nodos vértices, siendo los primeros los encargados de generar vehículos cada cierto tiempo. Esta filosofía de trabajo para la infraestructura servirá de base para crear los planos donde los agentes de la presente investigación se desenvolverán.

También, Li (2003) con su trabajo “*Microscopic Urban Traffic Simulation with Multi-Agent System*” da una guía de cómo debería ser la arquitectura de un sistema multiagente para resolver problemas de tráfico basándose en simulaciones microscópicas, dicha arquitectura es mostrada en la figura 1.1 en donde el agente interface maneja la interacción entre el sistema computacional y el usuario, el agente de segmento que se encarga del manejo de los segmentos de camino establece los caminos de red adecuados para el propósito del usuario. El agente fuente de vehículos es el agente encargado de generar vehículos dentro de la red de acuerdo a las características especificadas. El agente conductor de “Vehículo-conductor” es uno de los elementos más importantes y a su vez es el más difícil de diseñar el “vehículo-conductor” puede trabajar de forma autónoma y se encarga de emular a un conductor con sus diferentes características. El agente controlador de semáforos que se encarga de ejecutar la estrategia para manejar los semáforos y hacer más eficiente el uso de los mismos. Agente guía que se encarga de dar indicaciones sobre la vía, comunicándose con los agentes conductores y con los agentes de semáforos diseñándose así un plan de acción sobre la navegación de los conductores; y por último el agente procesador de información que procesa la información útil necesaria en toda simulación.

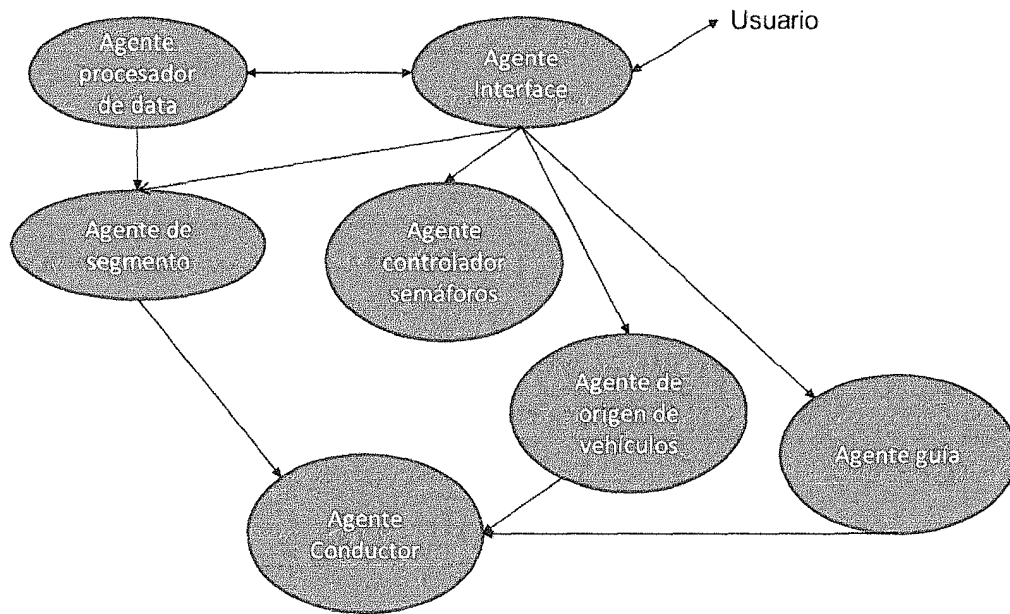


Figura 1.1 Ejemplo arquitectura sistema multiagente

Fuente Li Ying. Microscopic Urban Traffic Simulation with Multi-Agent System

Oñate y Cabañas (2005) desarrollaron “Simulador multiagente de tráfico urbano”, el objetivo de la investigación era crear un simulador de tráfico urbano basado en técnicas multiagente. El sistema permite modelar los distintos elementos que afectan a la fluidez del tráfico en una ciudad: el entorno físico, los elementos de gestión del mismo (vehículos y semáforos) en una zona determinada. Cada agente es utilizado para estudiar una zona determinada, y se hace uso de los sistemas multiagentes para transmitir entre las zonas los flujos de tráfico. La arquitectura planteada se muestra en la figura 1.2.

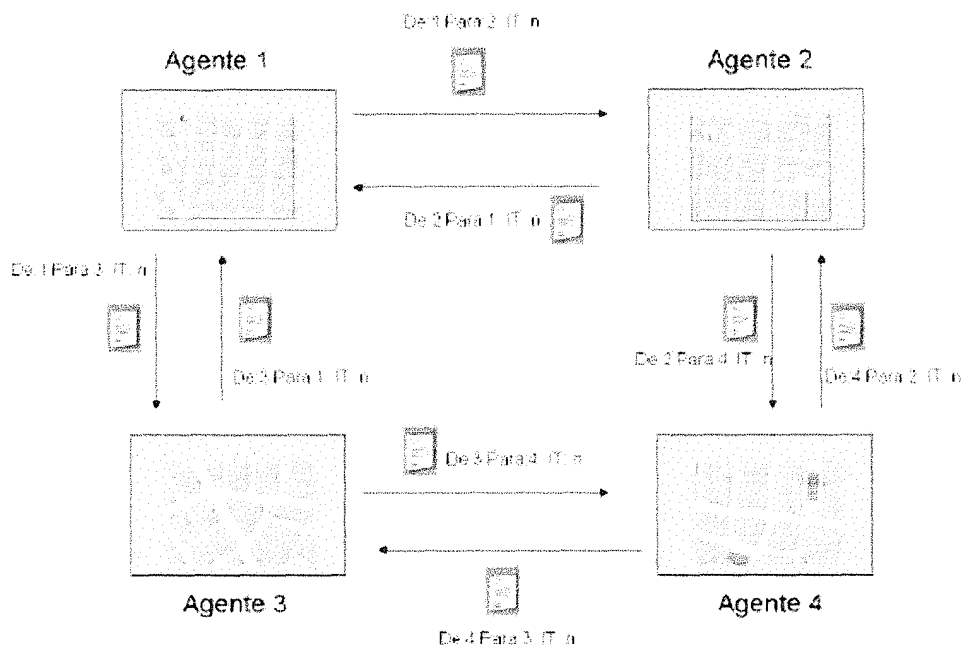


Figura 1.2 Arquitectura planteada para el Simulador multiagente de tráfico urbano

Fuente: Oñate y Cabañas 2005.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento natural que experimentan las ciudades trae como consecuencia lógica el aumento en la demanda de muchos servicios, tanto públicos como privados, por lo que las organizaciones se han esforzado en el estudio de sus procesos con el fin de optimizar los procedimientos de atención al público y brindar así una solución óptima que mejore las prestaciones de la organización, ya sea usando la investigación de operaciones o técnicas de simulación, Hillier, (2005) "... es necesario reconocer que estas soluciones son óptimas sólo respecto al modelo elaborado. Además como éste necesariamente es una idealización más que una representación exacta del problema, no existe una garantía utópica que sea la mejor solución que pueda implantarse..." con lo que se observa que a problemas bastantes complejos en el mejor de los casos se obtendrán aproximaciones solamente.

Para la construcción y diseño de estacionamientos existen diversas normas dependiendo de la región geográfica en donde esté ubicada la construcción, las cuales rigen los aspectos a tomar en cuenta, como por ejemplo: el tamaño del cupo del estacionamiento, el tamaño de la zona de maniobra y la cantidad de cupos mínimos de estacionamiento para zonas comerciales, etc. (Mora 2010). Sin embargo la labor de reconocer cuáles serán las preferencias de los conductores con

respecto a los elementos del entorno sigue siendo una tarea en muchos casos experimental, en donde encontrar la solución óptima puede resultar una tarea complicada.

La Universidad Nacional Experimental del Táchira cuenta actualmente con aproximadamente once mil estudiantes y más de mil quinientos empleados, entre personal académico, administrativo y obrero, según cifras de la Coordinación de Control de Estudios, todos ellos usuarios de las instalaciones de la Universidad en Paramillo. Cada uno de estos grupos tiene comportamientos particulares en el uso de las zonas destinadas para el estacionamiento de vehículos automotores, con el fin de mejorar dicho servicio la Universidad ha realizado varias reestructuraciones a nivel físico, de señalamiento y de uso, sin embargo para estos cambios no se aplicó ningún estudio previo que indicara el impacto que tendrían una vez implementados sobre el uso de las instalaciones. Es por estas razones que se propone una herramienta que sea capaz de simular la interacción del usuario con el ambiente físico de un estacionamiento utilizando agentes, con el fin de mejorar la prestación del servicio y así apoyar al diseño de mejores locaciones. Hoy en día existen varias técnicas algorítmicas que ayudan en la resolución de estas situaciones, las cuales son exploradas en esta investigación.

1.3. JUSTIFICACION

El Software Simulador de estacionamientos servirá como una herramienta de apoyo para el diseño de nuevas instalaciones de aparcamiento de vehículos automotores, permitiendo analizar cómo interactúan las personas representadas por agentes con entornos físicos virtualizados, de esta manera se podrían prevenir inconvenientes no considerados y en los cuales su solución representa una inversión significativa de recursos económicos o de tiempo. El usuario de este Software podrá esquematizar un estacionamiento con opciones parametrizables, como por ejemplo: cantidad de entradas y salidas, cantidad de puestos, tipos de puestos, destinos, entre otros; lo que dará la suficiente flexibilidad para encontrar soluciones óptimas entre las distintas configuraciones posibles. Por otro lado, el estudio se llevará a cabo en las instalaciones de la Universidad Nacional Experimental del Táchira, con lo que se espera que la investigación aporte una solución para mejorar el grave problema de estacionamiento que presenta la institución debido a la sobrecarga de usuarios que tiene actualmente. Finalmente, se pretende estimular investigaciones posteriores que ayuden con el control del tráfico en la ciudad de San Cristóbal así como en otras ciudades de Venezuela.

1.4. OBJETIVOS

1) Objetivo General

Desarrollar un simulador del uso de estacionamientos de vehículos automotores (caso de estudio Universidad Nacional Experimental del Táchira)

2) Objetivos Específicos

- Definir las especificaciones del simulador.
- Construir los modelos que soporten al simulador.
- Construir los módulos de la aplicación.
- Realizar pruebas de funcionamiento al simulador.
- Validar el simulador con datos obtenidos en el entorno real.

1.5. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se contemplan las siguientes fases:

1.5.1. Fase I: Recolección de Información:

Para obtener los valores necesarios para realizar la simulación se deben realizar observaciones de campo obteniendo mediciones de las entradas y salidas del estacionamiento dentro de los espacios de la Universidad Nacional Experimental. Dicha actividad se realiza en 2 partes, la primera espaciada en un lapso de 3 meses y la segunda en 14 días destinada a obtener valores de contraste. Las características de los conductores son obtenidas por medio de encuestas a los usuarios de los estacionamientos seleccionados al azar durante el periodo de recolección de datos inicial.

1.5.2. Fase II: Diseño del Agente Conductor

De acuerdo con Aguilar *et al.* (2003), MASINA es una extensión del modelo orientado a objetos MAS-CommonKADS, y se basa en el mismo ciclo de desarrollo, con importantes modificaciones que permiten incorporar comportamientos inteligentes. MASINA es una extensión de MAS-CommonKADS, la cual consta de las fases de conceptualización, análisis, diseño, codificación y pruebas, integración, y operación y mantenimiento (Aguilar *et al.*, 2003).

Rios B. *et al.* (2008) sostienen que la definición de los Agentes que conforman el sistema se realiza en la fase de conceptualización, utilizando diagramas de casos de uso y actividades de UML, mientras que la especificación detallada de los agentes se realiza en la fase de análisis por medio del modelo de agente, modelo de tarea, modelo de coordinación y modelo de comunicación.

En el desarrollo del proyecto se presentarán los pasos necesarios para obtener las características del Agente conductor, descritos por diagramas de interacción en la fase de análisis.

1.5.3. Fase III: Desarrollo de prototipos de Aplicación

El proyecto desarrollado se lleva a cabo bajo la metodología de prototipos, la cual contiene etapas que evolucionan a través de un proceso iterativo, permitiendo que la aplicación funcione y que dichos prototipos se creen con rapidez para obtener y validar los requerimientos por parte de los usuarios.

Identificación de requerimientos conocidos.

Diagnosticar o conocer el sistema actual: esta actividad consiste en conocer en forma detallada el sistema actual a través de reuniones y documentación del mismo.

Identificar el problema: Esta actividad consiste en identificar y describir el problema del sistema actual, el cual se pretende resolver a través del nuevo desarrollo.

Diseño conceptual

Se construye un modelo de proceso que refleje el esquema conceptual del prototipo. En este modelo se intentará ajustar sus variables a los valores reales del problema planteado con este objetivo se realizarán entrevistas a los usuarios, se estudiará y diseñará el primer prototipo operativo, determinando sus puntos fuertes y sus puntos débiles, y se documentarán todas sus funcionalidades.

Desarrollo del prototipo.

Diseño y construcción del prototipo: tiene por objeto la construcción del primer prototipo operativo de la Aplicación tomando en cuenta las actividades descritas anteriormente para luego ser mostrado al usuario para su aprobación.

1.5.4. Fase IV: Pruebas

Para la fase de pruebas del simulador se realizan pruebas estadísticas de los datos obtenidos por las simulaciones contra los obtenidos en la captación de datos en el segundo periodo, además de las pruebas de funcionamiento necesarias para comprobar el correcto comportamiento de las opciones del sistema.

1.6. RESULTADOS ESPERADOS

La presente investigación pretende obtener los siguientes resultados:

Con se espera obtener un simulador informático que permita diseñar una amplia variedad de planos de estacionamiento en los cuales sea posible observar cómo interactúan las personas representadas por agentes informáticos, bajo una serie de reglas determinadas mediante un modelo previamente hecho, y finalmente realizar los cambios necesarios para así poder encontrar la mejor configuración y probar eventualidades comunes de estos sitios.

www.bdigital.ula.ve

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1. Conceptos y Fundamentos sobre Agentes computacionales

2.1.1. Definición Agentes

Existen hoy en día diversas definiciones para lo que es un agente, entre las cuales se pueden encontrar:

“... todo aquello que puede considerarse que percibe su ambiente mediante sensores y que responde o actúa en tal ambiente por medio de efectores” (Herrera 2002).

Así mismo, Cinca, S. (2008) define a los agentes como “... un programa de ordenador que es capaz de hacer lo que haríamos nosotros si tuviéramos tiempo, o de forma más precisa, son un tipo de programa informático que, por encargo de un usuario u otro programa, realiza de forma autónoma tareas que requieren cierto grado de inteligencia y aprendizaje.”

Aguilar (S/F) presenta la siguiente definición: “Es un sistema computacional que está *situado en un entorno*, que es capaz de realizar *acciones autónomas* flexibles en ese entorno para alcanzar sus objetivos” e incorpora los siguientes aspectos:

- Su estructura (Arquitectura)
- Sus acciones (Comportamiento)

2.1.2. Características de los Agentes

Algunos autores, entre ellos Aguilar *et al.* (2010) y Weiss (1999) han definido una serie de propiedades que caracterizan a los agentes. Entre estas propiedades se tienen:

Autonomía: Weiss dice que la autonomía es la noción central de los agentes, y argumenta que los agentes son autónomos si poseen la capacidad de tener un comportamiento propio, y reaccionar a los estímulos externos basados en su estado interno, sin la intervención humana ni de otros sistemas externos.

Sociabilidad: los agentes son capaces de interactuar con otros agentes (humanos o no) a través de un lenguaje de comunicación entre agentes. Una sociedad de agentes es un grupo de agentes que interactúan, se comunican, conversan, “piensan”, y actúan en conjunto para lograr un objetivo común.

Reactividad: los agentes son capaces de percibir estímulos de su entorno (recibir una señal, o percibir un cambio de estado en el ambiente), y reaccionar a dichos estímulos.

Proactividad: los agentes no son sólo entidades que reaccionan a un estímulo, sino que tienen un carácter emprendedor y pueden actuar guiados por sus objetivos.

Movilidad: capacidad que tiene un agente de trasladarse desde un nodo a otro, dentro de un sistema distribuido.

Veracidad: suposición de que un agente no comunica información falsa a propósito.

Racionalidad: asunción de que un agente actúa de forma racional, intentando cumplir sus objetivos si son viables. Un agente puede razonar acerca de lo que percibe, a fin de definir una acción óptima en función de realizar su tarea asignada.

Adaptabilidad: esta característica está relacionada con el aprendizaje que un agente puede lograr, y con su capacidad para cambiar su propio comportamiento basado en este aprendizaje.

2.1.3. Tipos y Clasificaciones de los Agentes

Se definen diferentes tipologías de Agentes, Santacruz (S/F):

Agentes Colaborativos: Son utilizados en sistemas distribuidos, tienen como objetivo solucionar problemas muy grandes para un sólo agente centralizado. Los agentes cooperativos enfatizan más en la cooperación y en la autonomía que en el aprendizaje, sin embargo esto no implica que nunca aprendan.

Agentes de Interfaz: Su objetivo es el de servir a las necesidades del usuario con base en el análisis de sus hábitos y comportamientos, ajustándose de acuerdo a las decisiones anteriormente tomadas. Su funcionamiento se ilustra en la figura 2.1.

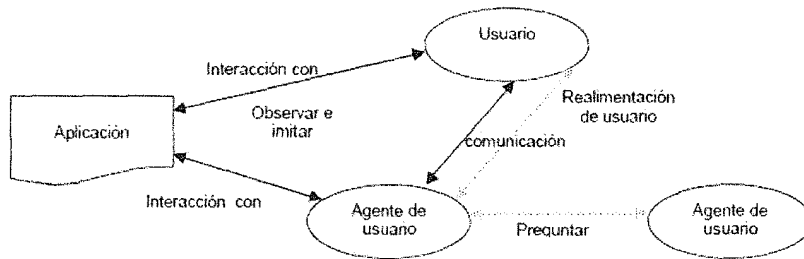


Figura 2 1 Funcionamiento de un agente Interface

Fuente: Agentes, Taxonomía y Aplicaciones, Santacruz (S/F)

Agentes móviles: Tienen la capacidad de salir de los límites de las redes y acceder a computadores de redes remotas o por internet.

Agentes de internet o información: El objetivo es la recolección, administración y clasificación de grandes volúmenes de información provenientes de fuentes distribuidas. El proceso de filtro de la información se realiza de manera autónoma y sin intervención del usuario. En la figura 2.2 se ilustra su funcionamiento.

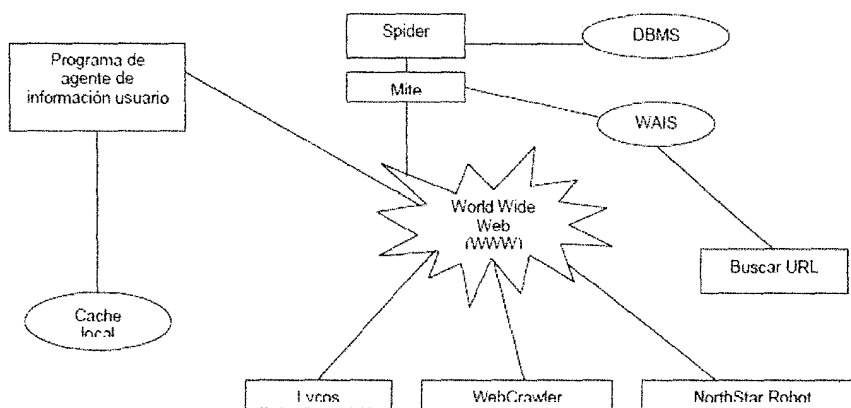


Figura 2 2 Funcionamiento de los agentes de información

Fuente: Agentes, Taxonomía y Aplicaciones, Santacruz (S/F)

Por otra parte, Mancilla (2008) los clasifica según su relación entre la percepción y la acción como:

- Agentes de Reflejo Simple: Actúan encontrando una regla cuya condición coincida con la situación actual (definida por la percepción) y efectuando la acción que corresponda a tal regla.
- Agentes Bien Informados de todo lo que Pasa: Actualizan constantemente la información que les permita discernir entre estados del mundo y su evolución; además de necesitar conocer cómo las acciones del propio agente están afectando al mundo; así se mantienen informados acerca de esas partes no visibles de él.
- Agentes Basados en Metas. Es sencillo cuando una sola meta se alcanza con una acción. Debe ser flexible con respecto a dirigirse a diferentes destinos, ya que al marcar un nuevo destino, se crea en el agente una nueva conducta.

En ese mismo orden de ideas Rodríguez (S/F) indica que las metas ayudan al agente a decidir las acciones correctas, información sobre la meta ayuda al agente a describir situaciones deseables y si la meta no es inmediata a una acción es necesario realizar algún proceso de búsqueda y planeación, tal y como se observa en la figura 2.3.

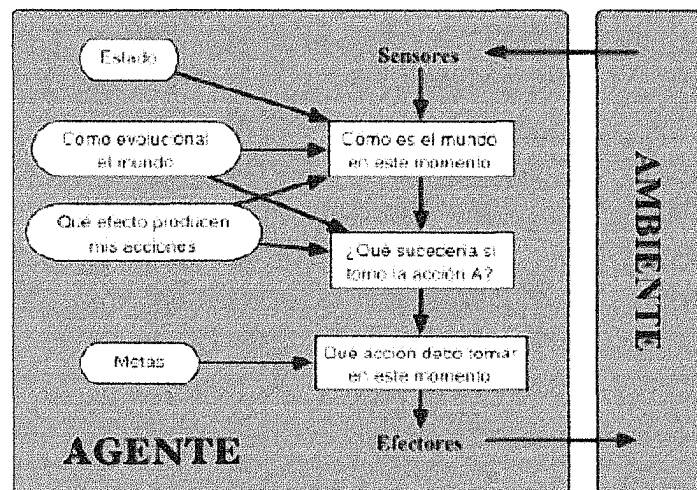


Figura 2.3 Arquitectura Agente basado en metas

Fuente: Rodríguez Wladimir, Inteligencia Artificial

- Agentes Basados en Utilidad. La utilidad es una función que correlaciona un estado y un número real mediante el cual se caracteriza el correspondiente grado de satisfacción.

2.1.4. Arquitectura Reactiva

Corchado Juan (s/f), citando a Brooks (1990) y Keith *et al.* (1997), indica que “Los numerosos problemas que lleva asociados utilizar una representación simbólica del conocimiento han conducido al estudio de modelos más efectivos de representación del conocimiento (Bonasso *et al.*, 1995) Las arquitecturas reactivas se caracterizan por no tener como elemento central de razonamiento un modelo simbólico y por no utilizar razonamiento simbólico complejo.

En ese mismo orden de ideas, Corchado (s/f) continua con “Un ejemplo típico de estas arquitecturas es la propuesta de Rodney Brooks, conocida como *arquitectura de subsunción* (Brooks, 1991). Esta arquitectura se basa en las hipótesis de que la inteligencia es una propiedad emergente de ciertos sistemas complejos y de que ello permite generar comportamientos inteligentes sin necesidad de construir un modelo simbólico. Las arquitecturas de subsunción manejan jerarquías de tareas que definen un comportamiento. Suelen estar organizadas en jerarquías de capas, de menor a mayor nivel de abstracción” (Brooks, 1991).

2.1.5. Arquitectura deliberativa

Suarez (2009) en su trabajo “Análisis, diseño e implementación de un agente deliberativo para extraer contextos definitorios en textos especializados” citando a Gandon indica que “Estas arquitecturas se caracterizan por la utilización de modelos de representación simbólica del conocimiento, suelen basarse en la teoría clásica de planificación, en la que se parte de un estado inicial. Existe un conjunto de planes y un estado objetivo del cual se parte. Es muy generalizada la idea de diseñar, en estos agentes, un sistema de planificación que permita determinar el conjunto de pasos que van de un estado inicial a un estado final u objetivo. En estas arquitecturas, las decisiones pueden tomarse con base en mecanismos de razonamiento ejecutados mediante diferentes estrategias”.

2.1.6. Agentes con filosofía de Búsqueda Offline

Russel (2004) los define como agentes que calculan una solución completa a la tarea asignada antes

de poner un pie en el mundo real y luego ejecutan la solución sin recurrir a sus percepciones (figura 2.5).



Figura 2 4 Filosofía búsqueda offline

2.1.7. Agentes con filosofía de Búsqueda en Línea (Online)

Russel (2004) los define como agentes que funcionan intercalando el cálculo y la acción, primero toman una acción, entonces observan el entorno y calculan la siguiente acción. El mismo autor también indica "... que la búsqueda en línea es una buena idea en dominios dinámicos o semidinámicos... una búsqueda en línea sólo necesita considerar lo que realmente pasa" (figura 2.6).



Figura 2 5 Filosofía búsqueda online

2.1.8. Problemas de la búsqueda en línea (online)

Un problema de búsqueda *online* puede resolverse solamente por un agente que ejecuta acciones, más que por un proceso puramente computacional.

El agente no puede tener acceso a los sucesores de un estado excepto si intenta todas las acciones de ese estado. Se asume que un agente puede reconocer un estado que ha visitado anteriormente, por lo que las acciones consecuentes son deterministas y finalmente el agente podría tener acceso a una función heurística admisible que estime la distancia del estado actual a un estado objetivo (Russel, 2004).

2.1.9. Tipos de búsqueda

En la figura 2.7 se puede observar una clasificación de los tipos de búsqueda utilizados por los agentes informáticos.

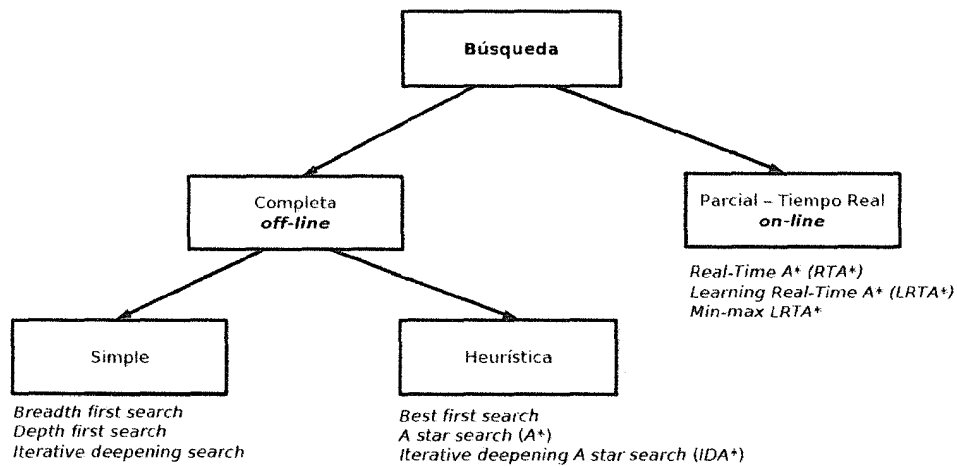


Figura 2.6 Clasificación de los tipos de búsqueda

Fuente: *Mathematical Methods in Artificial Intelligence*. (BENDER 1996)

2.1.10. Representaciones icónicas

Nilsson (2001) indica que son estructuras de datos como los mapas que en la mayoría de los casos se pueden considerar como simulaciones de los aspectos relevantes del entorno; por ejemplo, un robot podría almacenar su entorno en una matriz en donde se representen casillas libres u ocupadas en el momento que éstas vayan siendo percibidas (ver figura 2.8).

	1	1	1	1	1	1	?
1	0	0	0	0	0	0	?
1	0	0	0	0	0	0	?
1	0	0	0	0	0	0	?
1	0	0	0	0	0	0	?
1	0	0	0	0	0	0	?
?	?	?	?	?	?	?	?

Figura 2.8 Representación icónica tipo mapa

Fuente: *Inteligencia artificial, una nueva síntesis*, (Nilsson Nils, 2001)

2.2. Simulación

Thomas H Naylor (1971) define la simulación como "... una técnica numérica para conducir

experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo”.

Peñarrieta (2011) en su trabajo “Modelación y Simulación basada en Sistemas Multi-agente (SMA) en Riego por Aspersión” citando a Guerra *et al.* (2009) indica que “Una simulación puede abstraerse como la imitación de un proceso o sistema del mundo real a través del tiempo, con la finalidad de comprender su comportamiento y/o evaluar nuevas posibilidades...” a través del análisis de escenarios.

Los tipos de simulación son:

Simulación discreta: el estado de las variables cambia constantemente en instantes de tiempo separados.

Simulación continua: el estado de las variables cambia continuamente en el tiempo (el paso del tiempo puede ser reducido a intervalos arbitrariamente pequeños).

Time-stepped: es una particularidad de la simulación discreta donde el modelo se ejecuta cada cierta cantidad fija de tiempo.

2.2.1. Modelos de Simulación

Los modelos de simulación manejan sistemas cuyo comportamiento cambia continuamente con el tiempo. Esos modelos suelen usar ecuaciones en diferencias y diferenciales para describir las interacciones entre los distintos elementos del sistema (Taha 2004).

Tiempo discreto: Maneja el tiempo en una serie de intervalos conocidos, y normalmente de la misma duración. Dentro de estos intervalos, el modelo de simulación computa las actividades, las cuales cambian el estado de los elementos del sistema seleccionados.

Para sistemas de tamaño limitado o con entidades cuyos estados cambian con poca frecuencia, la simulación de eventos discretos es más apropiada que la simulación en tiempo discreto y además es más eficiente desde el punto de vista del tiempo de ejecución. En sistemas en los que hay entidades que sufren cambios continuos de estado (modelos de tráfico) y/o donde los objetivos del modelo requieren una detallada descripción, el modelo de tiempo discreto es la mejor elección.

2.2.2. Simulaciones de tráfico

Las simulaciones de tráfico se pueden clasificar según dos perspectivas ortogonales, atendiendo al tráfico: macroscópicas y microscópicas. Las primeras tienen la ventaja de permitir estudiar entornos más grandes. No suelen realizarse con agentes inteligentes y cuando es así, estos no disponen de una inteligencia relevante. Las microscópicas permiten estudiar el efecto de los comportamientos individuales en el tráfico; nótese que en la literatura suele referirse a las abstracciones computacionales que representan a conductores o vehículos como agentes (Weiss, 2000).

2.2.3. Simulaciones microscópicas

Las simulaciones microscópicas suelen ser sistemas que disponen de una serie de elementos descentralizados y con un grado de independencia muy elevado. Se centran en los componentes individuales de la simulación y en la capacidad de estos para evaluar situaciones y tomar decisiones conforme a los datos que reciben de manera específica. Debido a esto, la cantidad de memoria utilizada por un solo agente es muy elevada, por lo que no suele aparecer un gran número de vehículos en las simulaciones de tráfico de este tipo.

Este tipo de simulaciones ha sido empleado para analizar el tráfico cuando los conductores cuentan con escasos elementos externos que limiten su comportamiento. En estos casos, los conductores sólo deben aplicar algunas reglas generales de circulación y sus propios conocimientos o actitudes (Fernández, 2010).

Oñate (2005) considera las simulaciones microscópicas como aquellas en las que el movimiento de cada vehículo individualmente, requiere una gran cantidad de datos, los modelos que utilizan son bastante complejos y los costos computacionales requeridos son muy elevados. Sin embargo, ofrecen resultados que dan una idea muy detallada del funcionamiento de la red y son muy útiles para analizar estrategias de control, la estructura de la red y la sensibilidad del sistema ante cambios muy concretos en el tráfico. Normalmente se utiliza la simulación microscópica para estudiar problemas sencillos como la regulación de cruces o de semáforos.

2.2.4. Simulaciones basadas en agentes

García (2011) citando a Gilbert indica que desde un punto de vista formal, se puede definir la simulación basada en agentes como un método informático que permite construir modelos constituidos por agentes que interactúan entre sí dentro de un entorno para llevar a cabo experimentos virtuales.

En el mismo orden de ideas, Izquierdo (2008) citando a Torsun (1995) indica que “Los sistemas

basados en agentes se caracterizan por comprender varios agentes que son en mayor o menor grado, autónomos, heterogéneos e independientes, que muestran cada uno sus propias metas y objetivos, y que generalmente son capaces de interactuar entre sí y con su entorno”.

2.3. Conceptos Estadísticos

2.3.1. Variables Aleatorias

Hernandez, (s/f) las define como “... una función que asocia un número real a cada elemento del espacio muestral. Es decir son aquellas que pueden diferir de una respuesta a otra”.

Variable aleatoria discreta. Una variable discreta proporciona datos que son llamados datos cuantitativos discretos y son respuestas numéricas que resultan de un proceso de conteo.

Variable aleatoria continua. Es aquella que se encuentra dentro de un intervalo comprendido entre dos valores cualesquiera; ésta puede asumir infinito número de valores y éstos se pueden medir.

2.3.2. Distribución de probabilidad

Hernandez, (s/f) la define como “...una distribución teórica de frecuencias que describe cómo se espera que varíen los resultados de un experimento. Existen diferentes tipos de modelos que permiten describir el comportamiento de fenómenos estadísticos que permiten hacer inferencias y tomar decisiones en condiciones de incertidumbre”.

2.3.3. P valor

En contrastes de hipótesis, en estadística, el valor p (a veces conocido simplemente como la p, valor p, o bien directamente en inglés: *p-value*) está definido como la probabilidad de obtener un resultado al menos tan extremo como el obtenido de la realidad (valor del estadístico calculado), suponiendo que la hipótesis nula es cierta. Es fundamental tener en cuenta que el valor p está basado en la asunción de la hipótesis de partida (o hipótesis nula). Manterola (2008) reseña que “El ‘valor de p’ que indica que la asociación es estadísticamente significativa ha sido arbitrariamente aceptado por consenso; y, en clínica, se admite 0,05. Dicho en otros términos, esto representa una seguridad del 95% que la asociación que estamos estudiando no sea por el azar; por lo que si queremos trabajar con un margen de seguridad de 99%, éste lleva implícito un valor de p inferior a 0,01...”.

En ese mismo orden de ideas, el mismo autor expresa que un valor de p superior a 0.05 implica plantearse que los resultados pueden estar influidos por el azar y por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis nula, lo cual avala que las variables no están asociadas.

2.3.4. Prueba t para la diferencia de las medias de dos poblaciones independientes

Es un test que permite decidir si dos variables aleatorias normales (gaussianas) y con la misma varianza tienen medias diferentes. Dada la ubicuidad de la distribución normal o gaussiana, el test puede aplicarse en numerosos contextos para comprobar si la modificación en las condiciones de un proceso (humano o natural) esencialmente aleatorio producen una elevación o disminución de la media poblacional. El test opera decidiendo si una diferencia en la media muestral entre dos muestras es estadísticamente significativa.

Esquerdo (2009) indica los pasos para aplicar una prueba t para la diferencia de 2 medias de la siguiente manera (figura 2.9):

Premisas

- Dos poblaciones independientes.
- Muestra aleatoria $(X1, X2, \dots, Xn)$ de una distribución normal $N(x, \sigma_x)$ independiente de otra muestra aleatoria $(Y1, Y2, \dots, Ym)$ de una distribución normal $N(y, \sigma_y)$.
- Las medias x, y y las desviaciones estándar σ_x, σ_y son desconocidas.

Hipótesis nula:

$$H_0: x = y; \text{ o equivalentemente, } H_0: x - y = 0$$

Estadística prueba t:

$$t_p = \frac{(\bar{x} - \bar{y}) - (\mu_x - \mu_y)}{\sqrt{\frac{s_x^2}{n} + \frac{s_y^2}{m}}}, \text{ donde } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad y \quad s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2,$$

$$\bar{y} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i \quad , \quad s_y^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2.$$

Figura 2.9 Estadísticos de prueba t
Fuente: Pruebas t, Esquerdo Jose (2009)

2.3.5. La prueba de Kolmogorov-Smirnov

Villaseñor-Alva, (S/F) indica que la prueba de Kolmogorov-Smirnov "... es de las más usadas para

probar normalidad, ya que se encuentra programada en casi cualquier paquete computacional conocido de análisis estadístico de datos...”; por su parte Kisbye (2011) señala las características de la prueba:

- Compara las funciones de distribución empírica de la muestra y la que se desea contrastar.
- Es aplicable a distribuciones continuas.
- En distribuciones discretas los valores críticos no están tabulados.
- En distribuciones continuas los valores críticos están tabulados para:
 - Distribuciones con parámetros especificados,
 - Algunas distribuciones con parámetros no especificados (normal, Weibull, gamma, exponencial).

La explicación de la prueba se puede encontrar en el manual de referencia del software comercial SPSS el cual consiste en “... asignar rangos a los valores de ambas muestras, la función de distribución empírica para cada valor de X_i se obtiene, en cada muestra, de la siguiente manera: $F_j(X_i) = i / n_j$ (donde i se refiere al rango correspondiente a cada observación). A continuación se obtienen las diferencias: $D_i = F_1(X_i) - F_2(X_i)$, donde $F_1(X_i)$ se refiere a la función de distribución de la muestra de mayor tamaño. Una vez obtenidas las diferencias D_i , la hipótesis de que las dos muestras proceden de la misma población se pone a prueba utilizando una tipificación de la diferencia más grande en valor absoluto”, Smirnov (1948).

Capítulo 3. Diseño

A continuación se explicará la fase de diseño de los agentes necesarios para poder llevar a cabo el desarrollo del Simulador de Estacionamientos (SIME, como será nombrado en posteriores ocasiones):

Como primer paso el problema es dividido en 3 aristas fundamentales:

- El plano del estacionamiento: Aquí se tratan los puntos sobre la construcción y manejo de la interfaz gráfica del plano del estacionamiento.
- Conductores y usuarios del estacionamiento: Para atacar este punto del problema la elección fue el uso de Agentes, quedando con la siguiente configuración:
 - Un agente para la representación del conductor.
 - Un objeto controlador centralizado para la generación de los agentes conductores además del control de la simulación (generación de automóviles, tiempo de simulación, otros).
- Procesamiento de resultados: Para calcular, almacenar y proporcionar los resultados de la simulación.

De acuerdo a este análisis los agentes a implementar serán los siguientes:

Agente Conductor:

Este agente es el encargado de representar un conductor dentro de un ambiente controlado que representa un estacionamiento, su objetivo fundamental es seleccionar un puesto o lugar que cumpla con sus necesidades mínimas. Se enmarcará bajo la filosofía de búsqueda en línea, la cual consiste en tres pasos: Toma una acción, Observa el entorno y Calcula la siguiente acción. Para llevar a cabo esta labor deberá cumplir con tareas más básicas como movilizarse, mirar el entorno, localizar puesto, ocupar puesto, desocupar puesto y buscar la salida.

Para el control de la simulación se implementará un objeto simulador que tiene como objetivo controlar los parámetros necesarios para llevar a cabo la simulación, los cuales son: generar entradas, controlar tiempo, inicializar agente conductor, activar el control de estadísticas, inicializar parámetros, ejecutar simulación y generar reportes. El control de estadísticas lo realiza el modulo Totalizador que Se encargará de procesar los datos de la simulación para indicar al usuario final, entre otros factores, tiempo promedio de espera por un puesto, tiempo de ocupación de sistema, cantidad de agentes conductores servidos, cantidad de agentes conductores no servidos.

En la figura 3.1 se ilustra cómo interactúan los componentes.

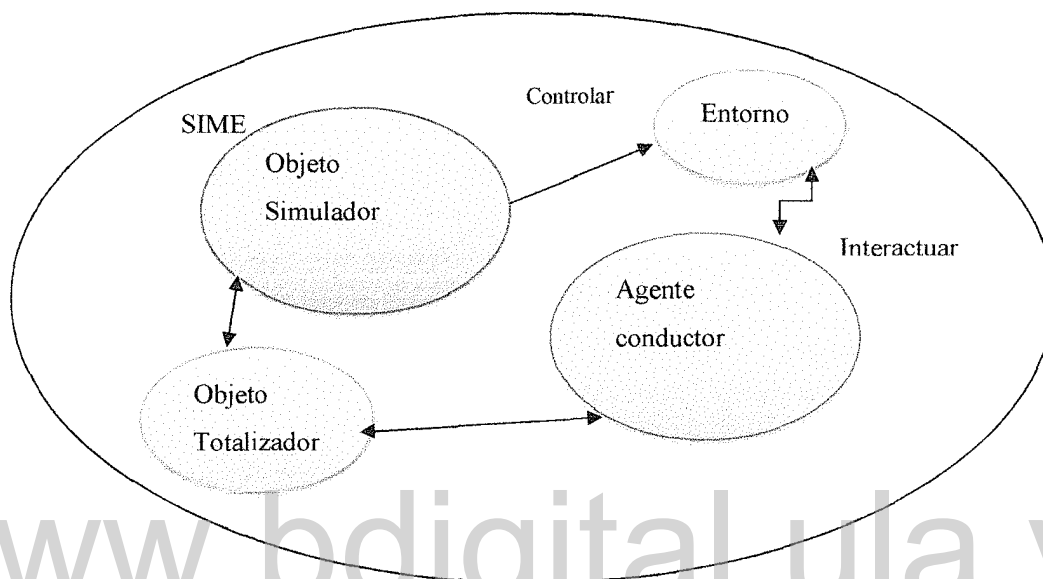


Figura 3.1 Modelo del Simulador

3.1. Fase I: Simulador

3.1.1. Motor del simulador:

A pesar de que hoy en día existen, tanto en el mercado académico como en el empresarial, opciones de simuladores que permiten un desarrollo rápido y confiable de diversas situaciones, se decidió diseñar y desarrollar un simulador desde cero en razón principalmente de los siguientes factores:

- La simulación que se propone es de tipo híbrida, debido a que se plantea por un lado la generación de eventos discretos como las entradas de automóviles, así como el control del cronómetro, y por otro lado se pretende modelar mediante agentes el comportamiento de las personas durante la búsqueda de un puesto de estacionamiento, considerando sus necesidades e intereses particulares.
- Se dispone de una cantidad muy grande de nodos de servicio, uno por cada puesto de estacionamiento, además no es posible que cada nodo servidor disponga de una cola,

simplemente si un servidor está ocupado el conductor buscará otro lugar donde estacionar.

- La cola por un servicio será realizada sin tener como objetivo algún nodo servidor específico, incluso es posible que el conductor ni siquiera obtenga uno.
- Se desea poder observar el movimiento o los movimientos realizados por un conductor para conseguir un espacio para estacionar.

Teniendo estos factores en mente no se tenía la certeza de que fuese posible adaptar los motores de simulación existentes, por lo que se pensó que sería más factible partir de un desarrollo desde cero, pero tomando la base filosófica de dichos simuladores.

3.1.2. Aspectos importantes del simulador:

Para el desarrollo de este simulador se usó la filosofía de simulación de eventos discretos conjunto con un aporte en la teoría de agentes y simulaciones continuas, una simulación híbrida se consideró lo más apropiado en base a los siguientes aspectos:

Arquitectura: la arquitectura de SIME se visualiza en la figura 3.2, el simulador está desarrollado sobre una plataforma JAVA estándar para la reutilización de planos y características de los agentes se utilizan sistemas de archivos y por almacena en los componentes internos del simulador serán explicados en profundidad mas adelante dentro del documento

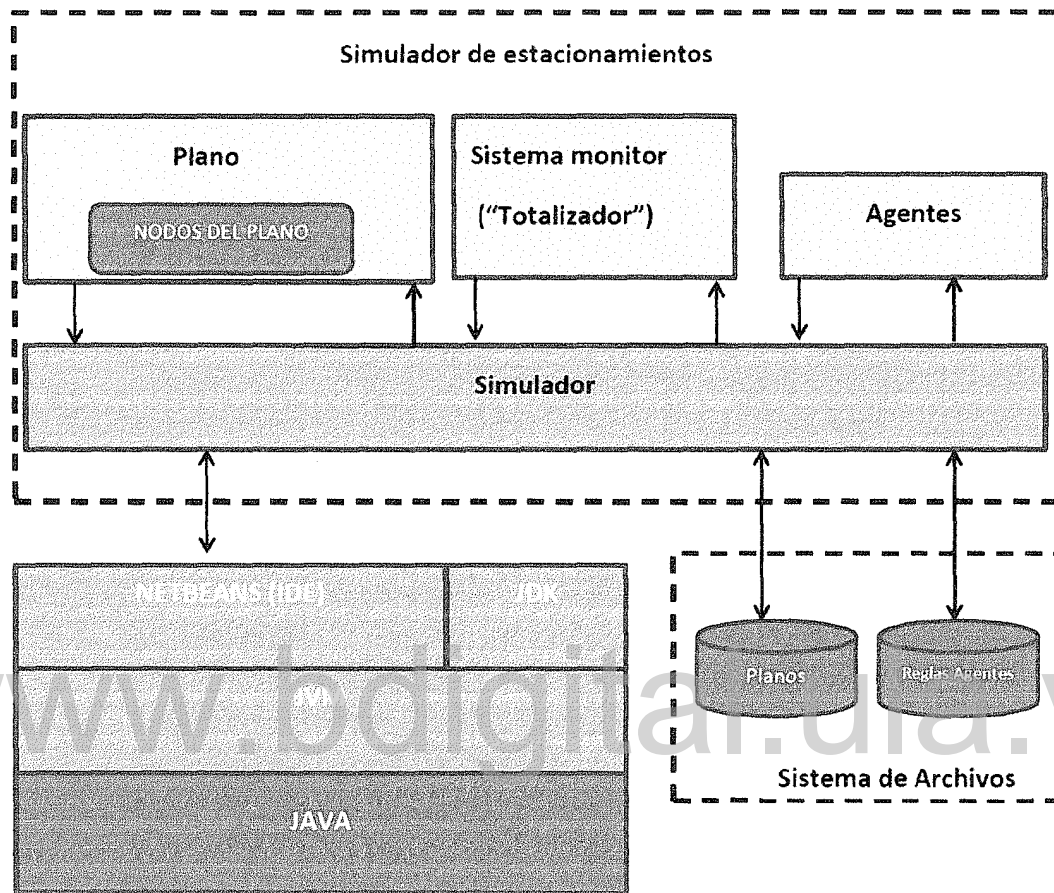


Figura 3 2 Arquitectura Simulador Estacionamientos

Control de tiempo: Para determinar en qué medida el reloj del simulador se incrementaría se toman en cuenta estas premisas:

- El tiempo debe aumentar en forma continua, segundo a segundo, para que sea posible visualizar el movimiento que un automóvil realiza dentro del plano creado.
- Cada ciclo de computador es equivalente a un segundo del tiempo real.
- El recorrido de un automóvil dentro de un estacionamiento debe ser en segundos para mayor precisión.
- La tarea buscar puesto se debe ejecutar por cada movimiento del agente conductor por lo que no es aplicable una simulación discreta.

Generación de entradas:

- Las entradas se generan sólo en los nodos de entrada, cada nodo de entrada es independiente de los demás.
- Cada 10 minutos se genera la cantidad de vehículos que entrarán al sistema, dependiendo de la distribución probabilística elegida siguiendo la filosofía de eventos discretos.

Activación de los conductores:

- Cada vehículo al ser generado dispone de un tiempo en el cual debe ser activado y así comenzar con sus funciones en la simulación; con eso se valida que dos vehículos tengan la misma posición espacial dentro del plano.

Generación de Salidas:

- Cuando un vehículo es generado automáticamente se le calcula el tiempo que durará en el estado “estacionado” en el caso de cumplir su objetivo, de esto no ser posible el agente saldrá al llegar exitosamente a un nodo salida.

3.1.3. Entorno:

El entorno representa la zona en donde los agentes conductores se desenvolverán, éste constará de una serie de nodos según la filosofía de otros simuladores, como es el caso de Galatea (desarrollado por la Universidad de los Andes), donde las simulaciones son estructuradas en nodos y cada nodo consta de sus respectivas funciones y características. Los nodos a implementar se describen brevemente en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Descripción de los nodos del plano de SIME

Nodo	Breve descripción	Condiciones
Carretera	Representan el espacio en el plano por donde pueden moverse los agentes conductores	Se crean en un espacio sin utilizar de la zona de trabajo. Tienen capacidad para la circulación de un solo agente a la vez.
Entrada	Representan el lugar de partida de los agentes conductores, son los responsables de generar la	Se crean sobre un nodo carretera.

	cantidad de agentes conductores que ingresan a la simulación en una unidad de tiempo.	
Salida	Representan el sitio al que debe dirigirse un agente conductor para salir del sistema.	Se crean sobre un nodo carretera.
Destino	Representan el lugar al que un agente conductor desea ingresar. Es posible crear una ruta predeterminada a este nodo desde un nodo entrada o hacia un nodo salida sobre nodos carretera, en el caso de querer incluir conocimiento del lugar al agente.	Se crean en un lugar sin ocupar.
Puesto	Representan el lugar o lugares que buscarán los agentes conductores ocupar para cumplir el objetivo de estacionarse.	Deben crearse en un espacio vacío. Deben indicarse todos los valores necesarios de sus características.
Puesto Vigilancia	Representan un lugar donde puede estar ubicado un vigilante o alguien que brinde mayor seguridad al automóvil.	Deben crearse en un espacio vacío.
Lugar de parada	Representan lugares en donde es posible detener el automóvil sin necesidad de estacionarse, ya sea para dejar o recoger un pasajero o un paso peatonal.	Deben crearse sobre un nodo carretera.
Obstáculo	Representan lugares donde no se pueden ubicar otros nodos.	Deben crearse en un espacio vacío.
Ruta	Permite al usuario darle sentido a las calles del plano que se está creando	Deben crearse sobre un nodo carretera. Debe iniciar en un nodo entrada. Debe terminar en un nodo salida.

La ubicación de estos nodos en el plano es dejada completamente a discreción del usuario final del sistema, sin embargo la complejidad topográfica de un mapa real no se considera debido a que la

edición y manipulación del modelo sería engorrosa e innecesariamente complicada. El objeto de esta investigación es lograr simular la interacción entre los agentes conductores con el entorno, por lo que la creación de una interfaz gráfica compleja para el diseño de planos geográficos no está planteada, es así que se tomaron en cuenta las siguientes premisas:

- No se consideran elevaciones de terreno.
- No se considera el mal estado de las vías.
- Los cruces serán con ángulo de 90 grados.
- Se toma una escala del tamaño de la cuadrícula determinada por el usuario.
- El plano será rectangular, las dimensiones serán indicadas por el usuario.
- El tamaño de la calle es dado por el tamaño de la cuadrícula.
- Es posible colocar la cantidad de nodos que el usuario desee, siempre y cuando exista suficiente espacio para ubicarlos.

3.1.4. Funcionalidades básicas

A continuación, en la figura 3.3 se muestra, mediante casos de uso, las funcionalidades básicas que tendrá el simulador.

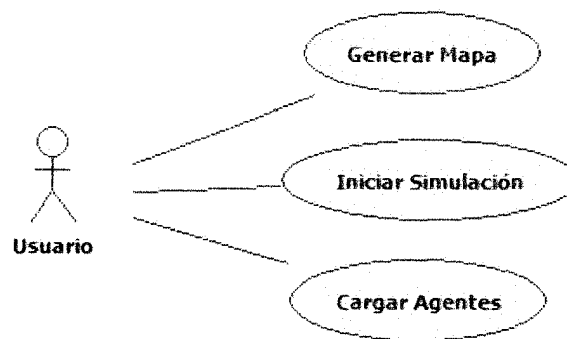


Figura 3.3 Caso de uso de SIME

Las descripciones de los casos de uso Generar mapa, Iniciar simulación y Cargar agentes se observan en las tablas 3.2, 3.3 y 3.4, respectivamente.

Tabla 3.2 Descripción de caso de uso Generar Mapa

Caso de Uso	Generar Mapa
Descripción	Permite al usuario crear un plano
Pre-condición	Ninguna

Actores	Usuario
Condición de fracaso	No es posible crear un plano
Condición de éxito	Plano creado con éxito

Tabla 3 3 Descripción de caso de uso Iniciar simulación

Caso de Uso	Iniciar simulación
Descripción	Permite al usuario configurar los parámetros iniciales del proceso, así como dar inicio al mismo
Pre-condición	Debe existir un plano, deben estar cargadas las configuraciones de los agentes
Actores	Usuario
Condición de fracaso	Opciones inválidas
Condición de éxito	Simulación inicia con éxito

Tabla 3 4 Descripción del caso de uso Cargar agentes

Caso de Uso	Cargar Agentes
Descripción	Permite al usuario cargar los valores de interés para cada una de las opciones de estacionamiento para los diferentes tipos de agentes
Pre-condición	Ninguna
Actores	Usuario.
Condición de fracaso	Valores de interés erróneos.
Condición de éxito	Tipo de agente configurado con éxito.

3.1.5. Objeto Simulador:

Su función es la de percibir el plano donde se desenvuelven los agentes conductores y chequear que existan los requisitos mínimos para poder realizar una simulación. Los requisitos mínimos a ser revisados por el agente para llevar la simulación son:

- Debe existir por lo menos un nodo entrada dentro del plano.
- Debe existir por lo menos un nodo destino en el plano.

- Debe existir por lo menos un nodo salida.
- Debe existir al menos un lugar para estacionar.

En la figura 3.4 se ilustran, mediante un caso de uso, las funciones que el objeto simulador cumple.

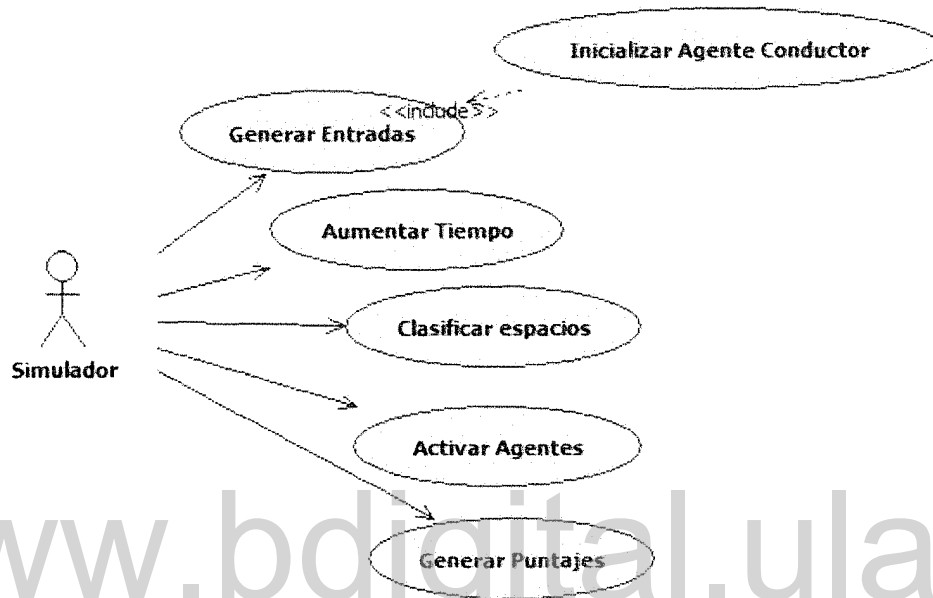


Figura 3 4 Caso de Uso objeto simulador

Fuente propia

En las tablas 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9 se encuentra la descripción de cada uno de los casos de uso del objeto simulador.

Tabla 3 5 Descripción del caso de uso Clasificar espacios

Caso de Uso	Clasificar espacios
Descripción	Verificar que se cumplen los requisitos mínimos para iniciar la simulación: <ul style="list-style-type: none"> • Exista por lo menos un nodo de entrada. • Exista por lo menos un nodo salida. • Exista un destino.
Pre-condición	Debe existir un plano ya almacenado.
Actores	Objeto Simulador.
Condición de fracaso	El plano no dispone de los requisitos mínimos.

Condición de éxito	Se activa al usuario la simulación.
--------------------	-------------------------------------

Tabla 3 6 Descripción del caso de uso Aumentar Tiempo

Caso de Uso	Aumentar Tiempo
Descripción	Inicializar y aumentar el tiempo de la simulación.
Pre-condición	Haber sido evaluado el plano para determinar si cumple los requisitos mínimos.
Actores	Objeto Simulador
Condición de fracaso	Es imposible iniciar el contador del tiempo de la simulación porque el agente ha determinado que el plano no cumple con los requisitos mínimos.
Condición de éxito	El tiempo comienza a transcurrir en una unidad de tiempo.

Tabla 3 7 Descripción del caso de uso Generar Entradas

Caso de Uso	Generar Entradas
Descripción	Determinar la cantidad de vehículos que entrarán a la simulación en esa unidad de tiempo. Viene dada por la distribución probabilística elegida.
Pre-condición	La simulación debe haberse iniciado con éxito. El usuario debe almacenar las reglas de los distintos tipos de Agente Conductor.
Actores	Objeto Simulador
Condición de fracaso	No es posible generar agentes conductores por no haber sido almacenadas las reglas del agente.
Condición de éxito	Se genera la llegada de un agente conductor.

Tabla 3 8 Descripción del caso de uso Generar Puntajes

Caso de Uso	Generar Puntajes
-------------	------------------

Descripción	Determinar el valor que tendrá un puesto de estacionamiento con respecto a los factores de cantidad de exposición a la luz solar, nivel de dificultad para realizar las maniobras de estacionar y salir del puesto.
Pre-condición	Haber sido evaluado el plano para determinar si cumple los requisitos mínimos.
Actores	Objeto Simulador
Condición de fracaso	No es posible generar un puntaje porque los parámetros de inicialización no son suficientes.
Condición de éxito	Se genera una matriz que indica para cada puesto un valor de satisfacción para los agentes.

Tabla 3 9 Descripción del caso de uso Inicializar Agente conductor

Caso de Uso	Inicializar Agente Conductor
Descripción	Crear un agente conductor indicando su tiempo de activación, un nodo de origen, un nodo de destino El nodo de destino y de origen así como su tiempo de activación son elegidos aleatoriamente
Pre-condición	Haber sido generado un agente conductor.
Actores	Simulador.
Condición de fracaso	Ninguna
Condición de éxito	Se genera un agente conductor.

Tabla 3 10 Descripción del caso de uso Activar Agente

Caso de Uso	Activar Agente
Descripción	Activar un agente conductor en su tiempo correspondiente.
Pre-condición	Existir un agente conductor
Actores	Simulador
Condición de fracaso	No existir ningún agente conductor.

Condición de éxito	Se activa un agente conductor y comienza sus funciones.
--------------------	---

En la figura 3.5 se ilustra, mediante un diagrama de actividades, el funcionamiento básico del objeto Simulador.

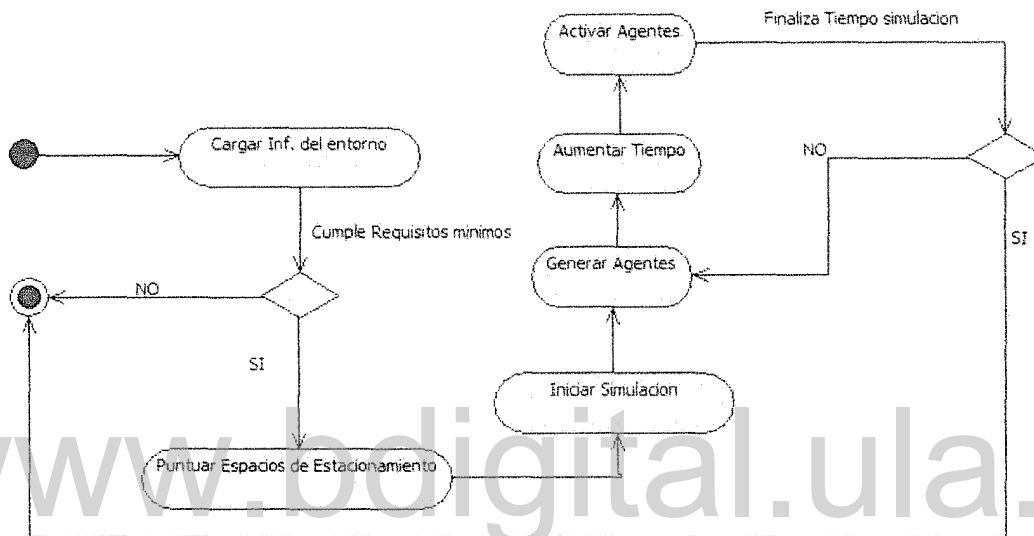


Figura 3.5 Diagrama de Actividades Objeto Simulador

3.1.1. Modelo Objeto Simulador

El objeto simulador se encarga de la gestión de la simulación y el ambiente, así como también de verificar que se cumplan los requisitos en el ambiente para poder concluir con éxito la simulación. Consta de 2 partes: el plano creado por el usuario, que es donde el agente conductor interactúa (explicado en la sección 3.1.2 referente al entorno); y el controlador de la simulación propiamente dicho, el cual se describe en la tabla 3.11 según la misma estructura que para los agentes.

Tabla 3.11 Descripción del simulador

Nombre	Simulador
Descripción	Se encarga de generar y activar los agentes conductores, y preparar el entorno para que la simulación pueda ser iniciada, además de llevar el control y la sincronización de los agentes conductores.
Objetivos	

Nombre	Controlar la simulación
Descripción	Recibir la orden de inicio y ejecutar las rutinas necesarias para que la simulación pueda ser llevada a cabo.
Parámetro de entrada	Solicitud de inicio por parte del usuario
Parámetro de salida	Tiempo de simulación terminado con éxito
Condición de activación	Recepción de solicitud de inicio
Condición de finalización	Tiempo de simulación es igual al tiempo de finalización
Condición de éxito	Simulación ejecutada con éxito
Condición de fracaso	Imposible ejecutar la simulación por parámetros incorrectos
Servicios	
Nombre	Verificar parámetros
Descripción del Servicio	Recibe la solicitud de iniciar la simulación y se verifican que las listas de agentes , destinos y entradas contengan valores válidos
Tipo de Servicio	Interno
Parámetros de entrada	Plano, lista de agentes, destinos y entradas
Parámetros de salida	Notificación de parámetros perfectos
Nombre	Establecer Valores puestos
Descripción del Servicio	Recibe la solicitud de inicio de simulación y establece los valores para cada puesto dentro del plano en base a la distancia lineal entre los puntos (x,y) del puesto con respecto al destino del agente.
Tipo de Servicio	Dual
Parámetros de entrada	Lista puestos, plano y lista de destinos
Parámetros de salida	Matriz con valores actualizados de los puestos
Nombre	Ocupado
Descripción del Servicio	Recibe la solicitud de verificar si existe algún agente conductor en un punto x, y.
Tipo de Servicio	Interno
Parámetros de entrada	Lista de puestos, plano y lista de destinos, lista de agentes
Parámetros de salida	Valor booleano que indica si está libre o no esa posición
Nombre	Generación
Descripción del Servicio	Cada cierto tiempo activa la solicitud a un nodo entrada que genere una cantidad de agentes conductores en base a sus parámetros internos
Tipo de Servicio	Interno

Parámetros de entrada	Lista de entradas, plano y lista de destinos(entradas a edificios), lista de agentes
Parámetros de salida	Un nuevo agente conductor con un tiempo de activación

3.1.2. Funciones del objeto Simulador

En la tabla 3.12 se observan en detalle las principales tareas a ejecutar por el objeto simulador.

Tabla 3 12 Modelo de tareas objeto simulador

Funciones	
Nombre	Generar agente
Objetivo	Generar un agente conductor
Descripción	Genera los agentes conductores según la distribución estadística seleccionada por el usuario y los va incorporando al sistema secuencialmente
Servicios asociados	Generación
Precondición	Resto de la división (MOD) entre el Tiempo de simulación y la variable de unidad de tiempo entre llegada de agentes igual a cero.
Sub-tareas	Recorrer lista de entradas Elegir destino Elegir tipo de agente Generar tiempo de estadía Asignar Parámetros
Tiempo Simulación	Valor numérico que indica el tiempo transcurrido de la simulación
Tiempo de Activación	Valor numérico que indica cuando se debe activar el agente.
Nombre	Generar Valores
Objetivo	Generar una matriz con los puntajes
Descripción	Para que un agente conductor pueda seleccionar el puesto más idóneo este puesto ha de tener un valor en relación a su dificultad

	y cantidad de luz.
Servicios asociados	Establecer valores de puestos
Precondición	Existir al menos un elemento en la lista de puestos
Sub-tareas	Recorrer lista de puestos
Matriz valores	Arreglo bidimensional que almacenará el puntaje de cada puesto
Nombre	Activar Agente
Objetivo	Activar el agente conductor
Descripción	Con el fin de no sobreponer 2 agentes en la misma posición en el plano, estos se ingresan al plano secuencialmente, de forma tal que cuando se incorpore un segundo agente el primero ya tenga otra posición en el plano.
Servicios asociados	Generación
Precondición	Existir por lo menos un agente conductor no activado
Sub-tareas	Ninguna
Matriz valores	Lista de agentes por activar

Para cada servicio se ilustrarán las tareas que se disponen, las cuales son presentadas en la tabla 3.13.

Tabla 3 13 Relación Servicios-Tareas

Servicios	Tareas
Verificar parámetros	Validar lista de entradas Validar Salida Validar lista de agentes
Establecer Valores puestos	Recorrer Lista puestos Generar Valores
Ocupado	Retornar estado
Generación	Generar Agente Activar Agente.

3.1.3. Objeto Totalizador

Objeto que se activa una vez iniciada una simulación, su labor es procesar los datos generados por

los agentes conductores durante su estadía en el sistema para mostrarle al usuario un resumen del comportamiento general del estacionamiento. En la figura 3.6 se observa el diagrama caso de uso para este componente.

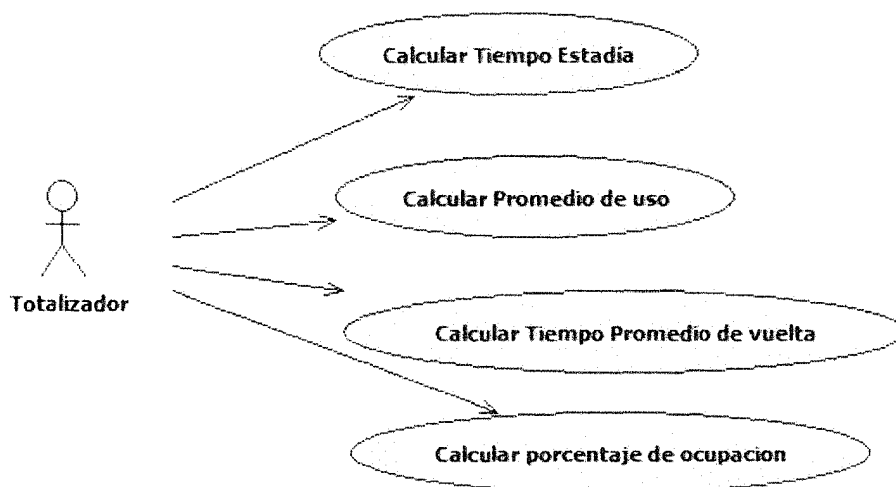


Figura 3.6 Diagrama de casos de Uso Objeto Totalizador

En las tablas 3.14, 3.15, 3.16 y 3.17 se encuentra la especificación de los casos de uso del agente totalizador.

Tabla 3.14 Descripción del caso de uso Calcular Tiempo Estadía

Caso de Uso	Calcular Tiempo Estadía
Descripción	Determina el tiempo promedio que están los agentes dentro del estacionamiento.
Pre-condición	Existir una simulación
Actores	Totalizador
Condición de fracaso	No existe ninguna simulación , no existe ninguna llegada al sistema
Condición de éxito	Se indica el tiempo promedio de estadía.

Tabla 3.15 Descripción del caso de uso Calcular Promedio de uso

Caso de Uso	Calcular Promedio de uso
Descripción	Determina el tiempo promedio que están los agentes ocupando un puesto de estacionamiento.

Pre-condición	Existir una simulación
Actores	Totalizador
Condición de fracaso	No existe ninguna simulación, no existe ninguna llegada al sistema
Condición de éxito	Se indica el tiempo promedio del estado “estacionado”.

Tabla 3 16 Descripción del caso de uso Calcular Tiempo Promedio de vuelta

Caso de Uso	Calcular Tiempo Promedio de vuelta
Descripción	Determina el tiempo promedio que un agente conductor dura dentro del sistema sin estar ocupando un puesto de estacionamiento.
Pre-condición	Existir una simulación
Actores	Totalizador
Condición de fracaso	No existe ninguna simulación, no existe ninguna llegada al sistema
Condición de éxito	Se indica el tiempo promedio del estado “Buscando puesto” y “Saliendo”.

Tabla 3 17 Descripción del caso de uso Calcular porcentaje de ocupación

Caso de Uso	Calcular porcentaje de ocupación
Descripción	Determina la cantidad de puestos que están ocupados con respecto a la cantidad de puestos totales en un momento determinado.
Pre-condición	Existir una simulación
Actores	Totalizador
Condición de fracaso	No existe ninguna simulación, no existe ninguna llegada al sistema
Condición de éxito	Se indica al usuario el porcentaje de uso del estacionamiento.

A continuación en la figura 3.7 se ilustra el funcionamiento del totalizador mediante un diagrama de actividades.

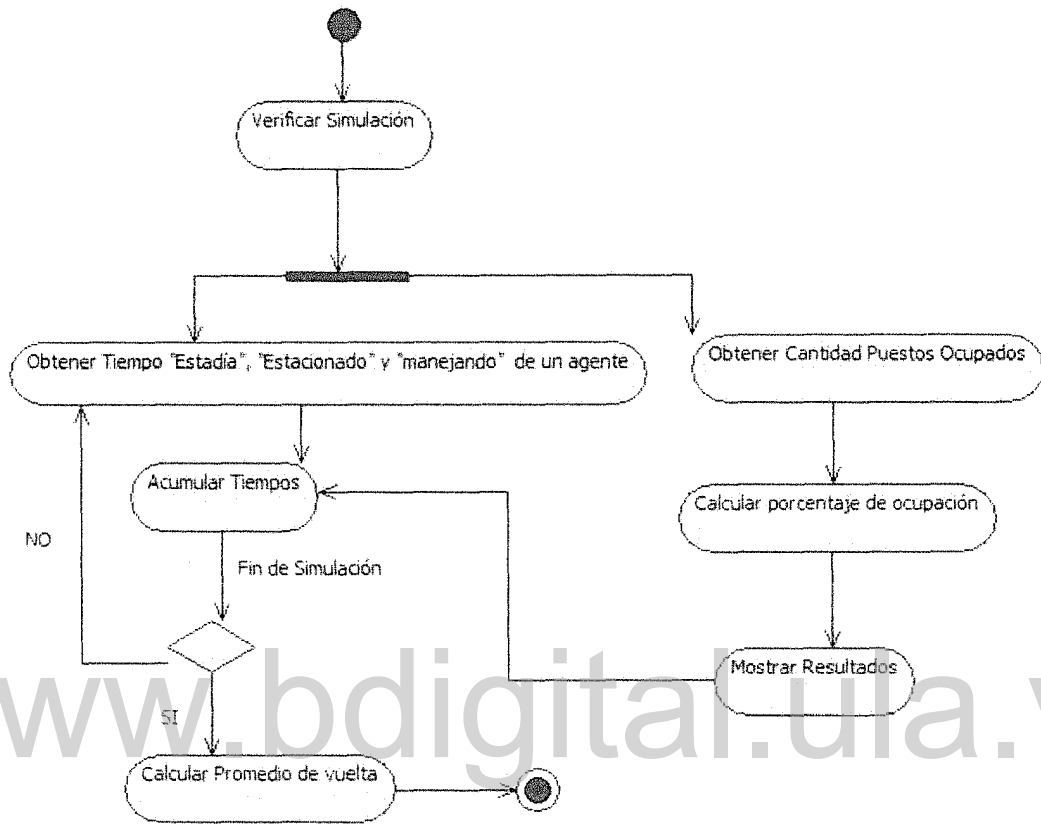


Figura 3.7 Diagrama de Actividades Totalizador

3.1.4. Modelo de Objeto Totalizador

A continuación, en la tabla 3.18 se describe el Objeto Totalizador.

Tabla 3.18 Modelo de Totalizador

Nombre	Objeto Totalizador
Componentes	No aplica
Marco de referencia	No aplica
Descripción	Se encarga de recolectar e imprimir la información estadística de los agentes conductores.
Objetivos	
Nombre	Recolectar información de los agentes conductores sobre tiempo dentro del sistema, tiempo de ocupación de un puesto y tiempo

	manejando	
Descripción	Recolectar información de los agentes conductores sobre tiempo dentro del sistema, tiempo de ocupación de un puesto y tiempo manejando	
Parámetro de entrada	Indicador de tiempo de simulación	
Parámetro de salida	Promedio tiempo en sistema, manejando y estacionado	
Condición de activación	Recepción de solicitud de inicio	
Condición de finalización	Tiempo de simulación terminado	
Condición de éxito	Valor Promedio de sistema, manejando y estacionado dentro de los parámetros esperados.	
Condición de fracaso	Imposible Determinar el promedio faltan valores	
Ontología	No aplica	
Servicios		
Nombre	Analizar tiempos	
Descripción del Servicio	Se recibe la solicitud de calcular promedios	
Tipo de Servicio	Dual	
Parámetros de entrada	Tiempo de Simulación	
Parámetros de salida	Valor Promedio de sistema, manejando y estacionado	
Propiedades del Servicio		
Nombre	Valor	Descripción
Calidad	0-100	Porcentaje de la calidad del servicio en función del tiempo de respuesta
Auditable	1	Capacidad de diagnosticar la calidad del servicio
Confiabilidad	0-100	Certificación de respuesta

3.1.5. Tareas para el Totalizador

En la tabla 3.19 se observa en detalle las tareas a ejecutar por el Objeto Totalizador

Tabla 3 19 Tareas del agente totalizador

Nombre de la Tarea	
Nombre	Calcular promedio entrada
Objetivo	Determinar el promedio de carros que entraron por unidad de tiempo
Descripción	Determina la cantidad de carros que entraron en una unidad de

	tiempo, divide el total de agentes conductores generados entre el tiempo de simulación transcurrido.
Servicios asociados	Analizar tiempos
Precondición	Existen llegadas al sistema
Sub-tareas	Solicitar tiempos
Ingredientes-Nombre de la Tarea	
Cantidad	Valor numérico que indica la cantidad de agentes conductores generados por el sistema
Nombre	Calcular promedio estadía
Objetivo	Determina el promedio de tiempo que un carro durá en el sistema. Acumula el tiempo de permanencia de cada agente conductor y lo divide entre la cantidad de agentes conductores generados.
Descripción	Determinar el tiempo promedio en el sistema hasta el momento
Servicios asociados	Analizar tiempos
Precondición	Existen llegadas al sistema
Sub-tareas	Solicitar tiempos
Tiempo	Valor numérico que indica el tiempo en el sistema del agente conductor
Nombre	Calcular promedio estacionado
Objetivo	Determinar el promedio de tiempo que un agente conductor duró en el estado estacionado en el sistema.
Descripción	Determina el tiempo promedio de ocupación de los puestos de estacionamiento en el sistema hasta el momento
Servicios asociados	Analizar tiempos
Precondición	Existen llegadas al sistema
Sub-tareas	Solicitar tiempos.
Tiempo	Valor numérico que indica el tiempo que el agente conductor duró en estado "estacionado" dentro del sistema
Nombre	Calcular promedio manejando
Objetivo	Determinar el promedio de tiempo que los agentes conductores se encontraban en el estado buscando puesto o en el estado saliendo dentro del sistema.

Descripción	Determina el tiempo promedio en el sistema hasta el momento
Servicios asociados	Analizar tiempos
Precondición	Existen llegadas al sistema
Sub-tareas	Solicitar tiempos.
Tiempo	Valor numérico que indica el tiempo promedio que un agente conductor dura en el estado “buscando puesto” o en el estado “saliendo” dentro del sistema. Acumula el tiempo que cada agente conductor permanece en el estado “buscando puesto” o “saliendo” y divide entre el número total de agentes

Para cada servicio se ilustrarán las tareas que se disponen (tabla 3.20).

Tabla 3 20 Relación Servicios-Tareas del Agente

Servicios	Tareas
Analizar tiempos	Calcular promedio manejando Calcular promedio estacionado Calcular promedio estadia Calcular promedio entrada

3.2. Agente Conductor:

Es un agente reactivo con memoria de lugares que ha visitado, tiene cuatro estados: “Buscando puesto” que, como su nombre lo indica, es el estado que va desde que el agente conductor entra al sistema hasta que consigue un puesto que le es satisfactorio y lo ocupa. El segundo estado es “saliendo” el cual comprende desde que deja de ocupar un puesto hasta que consigue un nodo de salida y sale del sistema. El estado “estacionando” que indica que el agente conductor se encuentra haciendo la maniobra de estacionarse. Y por último el estado “estacionado” en donde el agente descuenta el tiempo necesario para salir del lugar. En la figura 3.8 se ilustra el caso de uso de este agente. Este agente sólo percibe los puestos de estacionamiento cercanos a su posición y, de acuerdo a las características particulares de cada puesto, calcula el valor de su interés en él.

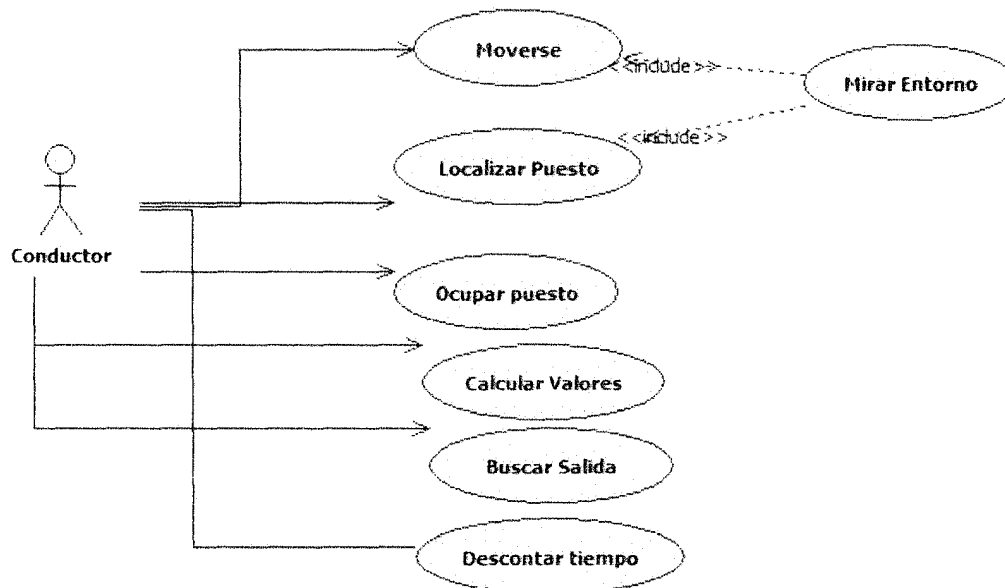


Figura 3 8 Casos de uso Agente Conductor

En las tablas 3.21, 3.22, 3.23, 3.24, 3.25, 3.26 y 3.27 se especifican estos casos de uso.

Tabla 3 21 Descripción del caso de uso Mirar Entorno

Caso de Uso	Mirar Entorno
Descripción	Determina si en la línea de visión del agente existe un puesto para ser evaluado o es posible moverse en una dirección determinada.
Pre-condición	Estar en el estado "buscando puesto"
Actores	Agente Conductor
Condición de fracaso	No existe ningún lugar para aparcar que cumpla con las exigencias mínimas del agente
Condición de éxito	Se indica que en esa dirección existe la posibilidad de estacionarse.

Tabla 3 22 Descripción del caso de uso Moverse

Caso de Uso	Moverse
Descripción	Cambia la posición del agente en el plano

Pre-condición	No pueden existir 2 agentes ocupando la misma posición (x, y) dentro del plano Solo puede ocupar nodos carretera.
Actores	Agente Conductor
Condición de fracaso	No existe ningún lugar que pueda ocupar lo que ocasione la paralización total del agente.
Condición de éxito	Se obtiene una nueva posición para el agente conductor

Tabla 3 23 Descripción del caso de uso Calcular valor

Caso de Uso	Calcular valor
Descripción	Para cada puesto de estacionamiento dentro del plano se debe establecer un valor de satisfacción (que resulta de la sumatoria de los aspectos positivos del puesto menos los negativos), en este caso se evaluarán los parámetros de distancia al punto de destino del agente.
Pre-condición	Debe existir un plano válido con los puntajes previos de nivel de luz solar y dificultad, y al menos un puesto de estacionamiento.
Actores	Agente Conductor
Condición de fracaso	Ninguna
Condición de éxito	Se obtiene una nueva Matriz que indica la satisfacción del agente conductor con respecto a los puestos de estacionamiento

Tabla 3 24 Descripción del caso de uso Localizar puesto

Caso de Uso	Localizar puesto
Descripción	Selecciona un puesto que cubra sus expectativas, de la siguiente manera: Primero calcula un valor mínimo de interés en los puestos (umbral), este valor será igual al valor

	del mejor puesto de estacionamiento. Segundo, el valor del umbral irá disminuyendo a medida que el tiempo transcurra, es decir, el valor del umbral será inversamente proporcional al tiempo del agente en el sistema.
Pre-condición	El agente conductor debe estar cerca de una zona de estacionamientos
Actores	Agente Conductor
Condición de fracaso	Ninguna
Condición de éxito	Se obtiene un punto (x, y) donde se aparcará el agente conductor

Tabla 3 25 Descripción del caso de uso Ocupar puesto

Caso de Uso	Ocupar puesto
Descripción	Fija la posición del agente en un puesto de estacionamiento seleccionado, establece el tiempo de duración en estado "estacionado".
Pre-condición	El agente conductor debe estar cerca de una zona de estacionamientos
Actores	Agente Conductor
Condición de fracaso	Ninguna
Condición de éxito	Se detiene el agente por el tiempo establecido

Tabla 3 26 Descripción del caso de uso Buscar Salida

Caso de Uso	Buscar Salida
Descripción	Determina donde se encuentra un nodo de salida que pueda utilizar para salir de la simulación.
Pre-condición	El agente conductor debe haber logrado estacionarse
Actores	Agente Conductor
Condición de fracaso	No es posible acceder al nodo de salida desde

	su posición actual
Condición de éxito	Agente sale Satisfactoriamente del plano

Tabla 3 27 Descripción del caso de uso Descontar Tiempo

Caso de Uso	Descontar tiempo
Descripción	Determina el tiempo que falta para salir del estado “estacionado” para entrar en el estado “saliendo”.
Pre-condición	El agente conductor debe haber logrado estacionarse
Actores	Agente Conductor
Condición de fracaso	No fue posible descontar el tiempo, tiempo de simulación finalizado.
Condición de éxito	Agente sale Satisfactoriamente del estado “estacionado”

En la figura 3.9 se ilustra el funcionamiento básico del agente mediante su diagrama de actividades.

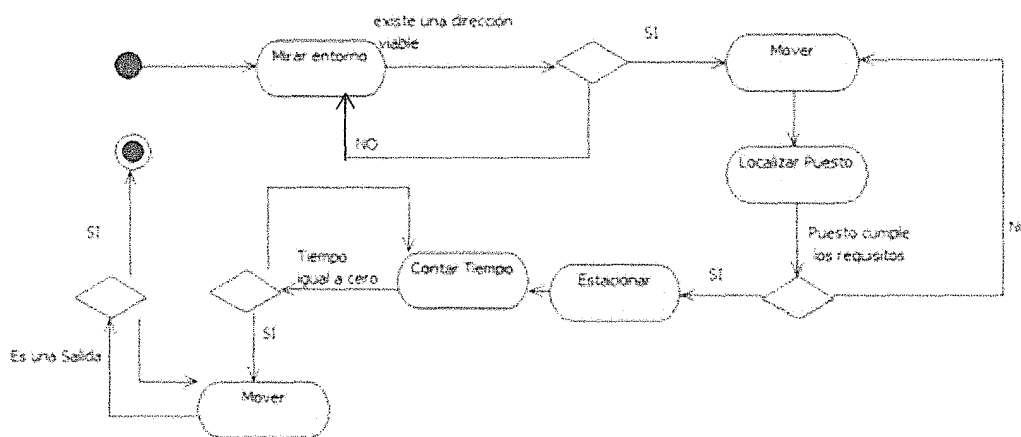


Figura 3 9 Diagrama de Actividades Agente Conductor

3.2.1. Modelo de Agente conductor

A continuación, en la tabla 3.28 se describe el modelo de agente para el Agente Conductor.

Tabla 3 28 Modelo de Agente Conductor

Agente	
Nombre	Agente Conductor
Componentes	No aplica
Marco de referencia	No aplica
Descripción del agente	Se encarga de representar el comportamiento de un persona en su rol de conductor dentro de un estacionamiento predeterminado
Objetivos del Agente	
Nombre	Representar el comportamiento de un conductor en un ambiente virtual
Descripción	El agente consta de 2 estados: Estado buscando puesto: el agente tiene como objetivo conseguir y ocupar un puesto. Estado saliendo: en el cual el agente ya usó el estacionamiento y saldrá del sistema o simplemente no logró conseguir un puesto que cumpliera con sus requisitos mínimos.
Parámetro de entrada	Punto (x, y) en donde se encuentra originalmente, tipo de conductor al que corresponde y un umbral de aceptación de un puesto
Parámetro de salida	Posición de nodo de salida
Condición de activación	Recepción de solicitud de inicio
Condición de finalización	Posición actual igual a posición de un nodo salida
Condición de éxito	Agente conductor ocupó un puesto dentro del estacionamiento y salió del plano satisfactoriamente.
Condición de fracaso	Imposible conseguir un puesto o un nodo de salida accesible.
Ontología	No aplica
Servicios del Agente	
Nombre	Reportar posición
Descripción del Servicio	El agente recibe la solicitud de iniciar simulación y reporta su posición actual al agente simulador

Tipo de Servicio		Dual
Parámetros de entrada		Plano.
Parámetros de salida		Posición Actual
Propiedades del Servicio		
Nombre	Valor	Descripción
Calidad	0-100	Porcentaje de la calidad del servicio en función del tiempo de respuesta
Auditable	1	Capacidad de diagnosticar la calidad del servicio
Confiabilidad	0-100	Certificación de respuesta
Nombre		Reportar tiempos
Descripción del Servicio		El agente recibe solicitud de indicar cuánto tiempo lleva en el sistema, cuánto tiempo estacionado, cuánto tiempo manejando.
Tipo de Servicio		Dual
Parámetros de entrada		Tiempo actual.
Parámetros de salida		Tiempo de entrada, tiempo en sistema, tiempo estacionado, tiempo manejando.
Propiedades del Servicio		
Nombre	Valor	Descripción
Calidad	0-100	Porcentaje de la calidad del servicio en función del tiempo de respuesta
Auditable	1	Capacidad de diagnosticar la calidad del servicio
Confiabilidad	0-100	Certificación de respuesta
Nombre		Manejar
Descripción del Servicio		El agente se moverá dentro del entorno del plano
Tipo de Servicio		Interno
Parámetros de entrada		Dirección de la calle (en caso de existir)
Parámetros de salida		Ninguno
Propiedades del Servicio		
Nombre	Valor	Descripción
Calidad	0-100	Porcentaje de la calidad del servicio en función del tiempo de respuesta
Auditable	1	Capacidad de diagnosticar la calidad del servicio
Confiabilidad	0-100	Certificación de respuesta

Capacidad del Agente	
Habilidades del agente	Gestionar servicios de comunicación
Rep. del Conocimiento	No Aplica
Lenguaje de Comunicación	El agente se comunica por medio de los métodos de la clase.

El diseño del agente conductor contempla los estados presentados en la figura 3.10.

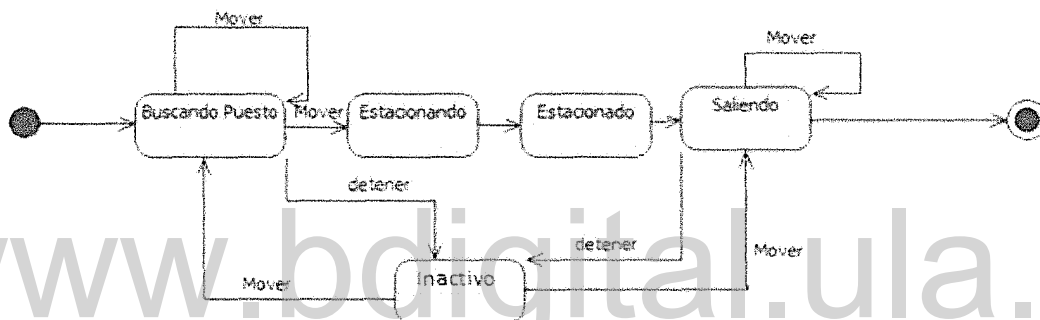


Figura 3.10 Estados del Agente Conductor

3.2.2. Modelo de tareas para el Agente Conductor

En la tabla 3.29 se observan en detalle las tareas a ejecutar por el agente conductor.

Tabla 3.29 Modelo de tareas Agente conductor

Nombre de la Tarea	
Nombre	Obtener dirección
Objetivo	Determinar la dirección que tomará el agente
Descripción	Para poder realizar un movimiento se debe determinar en qué dirección (arriba, abajo, izquierda o derecha) se va a llevar a cabo dicho movimiento.
Servicios asociados	Manejar
Precondición	El agente se encuentra en: "buscando puesto" o "saliendo"
Sub-tareas	Validar ruta Obtener cantidad de rutas.

Ingredientes-Nombre de la Tarea	
Punto Actual	Valor (x, y) que indica en qué posición se encuentra el agente conductor.
Nombre	Generar Valores de satisfacción cada puesto de estacionamiento
Objetivo	Generar una matriz con los puntajes
Descripción	Para que un agente conductor pueda seleccionar el puesto más idóneo, este puesto debe tener un valor en relación a los factores de distancia al punto de origen (cada agente conductor tiene un punto de destino que no necesariamente es el mismo para todos),
Servicios asociados	Establecer Valores puestos
Precondición	Simulación ejecutándose
Sub-tareas	Recorrer lista de puestos
Ingredientes-Nombre de la Tarea	
Matriz valores	Arreglo bidimensional que almacenará el puntaje de cada puesto
Posición nodo destino	Punto que indica donde es el destino del conductor
Posición nodo vigilancia	Punto (x, y) que indica dónde se encuentra un puesto de vigilancia
Nombre	Mirar ruta
Objetivo	Determinar si existe un puesto disponible en una determinada dirección.
Descripción	Permite determinar si tomar esta ruta conlleva a un destino exitoso próximamente. Para ello verifica a los costados del canal de carretera.
Servicios asociados	Manejar
Precondición	Poder avanzar en esa dirección.
Sub-tareas	Ocupar puesto Comprobar disponibilidad del puesto
Ingredientes-Nombre de la Tarea	
Posición actual	Valor (x, y) que indica en qué posición se encuentra el agente conductor.
Rango de visión	Valor numérico que indica cuántos espacios adelante el agente conductor consultará.
Dirección	Indica la dirección en la que se evalúan los puestos.

Nombre	Seguir Dirección
Objetivo	Determinar la dirección que tomará el agente
Descripción	Para poder realizar un movimiento se debe determinar en qué dirección (arriba, abajo, izquierda o derecha) se va a llevar a cabo dicho movimiento. Si el plano tiene marcadas las direcciones se toma como prioridad esta ruta
Servicios asociados	Manejar
Precondición	El agente se encuentra en: “buscando puesto” o “saliendo”
Sub-tareas	Validar ruta Obtener ruta de la calle.
Ingredientes-Nombre de la Tarea	
Posición actual	Valor x, y que indica en qué posición se encuentra el agente conductor.
Nombre	Estacionar
Objetivo	Ocupar un puesto de estacionamiento
Descripción	Se mantiene en el puesto de estacionamiento mientras el tiempo de estacionado sea mayor que cero
Servicios asociados	Reportar Posición
Precondición	Existe un puesto de estacionamiento que cumple con las especificaciones.
Sub-tareas	Validar ocupación Descontar tiempo Ocupar puesto Desocupar puesto
Ingredientes-Nombre de la Tarea	
Posición actual	Valor x, y que indica en qué posición se encuentra el agente conductor.
Posición Anterior	Valor x, y que indica el valor de la calle donde se encontraba el agente antes de tomar posesión del puesto.
Nombre	Avanzar
Objetivo	Ocupar una nueva posición
Descripción	Cambiar la posición actual del agente conductor
Servicios asociados	Manejar, repostar posición

Precondición	Existe una posición que cumple con la dirección y puede ser ocupada
Sub-tareas	Validar ocupación Aumentar tiempo manejo Ocupar puesto Obtener dirección. Almacenar sitios visitados.
Ingredientes-Nombre de la Tarea	
Posición actual	Valor x, y que indica en qué posición se encuentra el agente conductor.
Posición siguiente	Valor x,y que indica el valor de la calle donde se encontraba el agente antes de tomar posesión del puesto.
Dirección	Valor entero que indica la dirección de movimiento.
Nombre	Calcular tiempos
Objetivo	Aumentar el tiempo del estado actual posible del agente conductor
Descripción	Cambiar el tiempo del estado actual del agente conductor para determinar cuánto tiempo ha utilizado en cada uno de los estados que ha utilizado.
Servicios asociados	Reportar tiempos
Precondición	Se ha iniciado la simulación con éxito
Sub-tareas	Ninguna
Ingredientes-Nombre de la Tarea	
Tiempo actual	Valor que indica el tiempo actual de la simulación.
Nombre	Buscar puesto
Objetivo	Determinar si un puesto es apto para ser ocupado o no
Descripción	Evalúa todos los puestos observados en el rango de visión del agente para determinar si cumplen con su requerimiento mínimo actual(umbral), esta evaluación se hace bajo la filosofía de búsqueda online
Servicios asociados	Mirar Ruta
Precondición	Se ha iniciado la simulación con éxito, se encuentra en el estado buscando puesto

Sub-tareas	Estacionar
Ingredientes-Nombre de la Tarea	
Matriz valores	Arreglo bidimensional que almacenará el puntaje de cada puesto
Posición nodo destino	Punto que indica donde es el destino del conductor
Posición nodo vigilancia	Punto (x, y) que indica dónde se encuentra un puesto de vigilancia

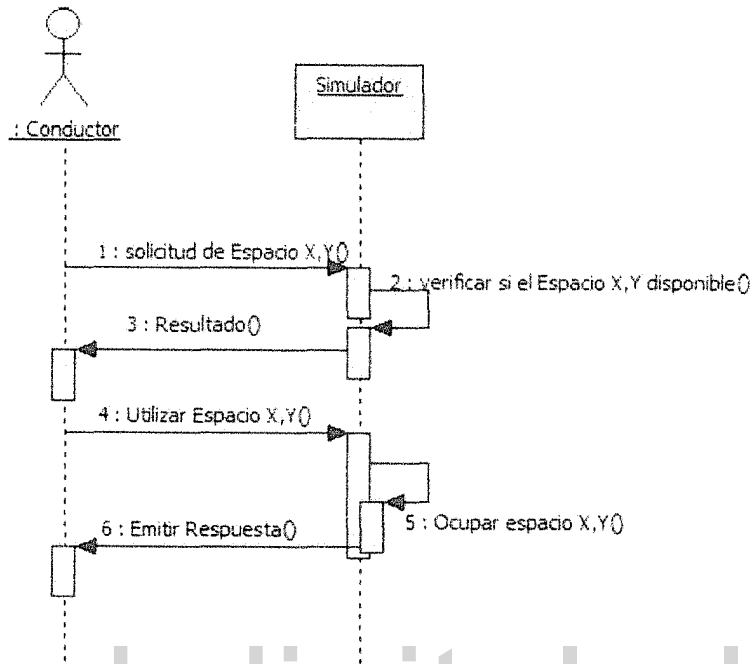
Para cada servicio se ilustrarán las tareas que se disponen, las cuales son expresadas en la tabla 3.30

Tabla 3 30 Relación Servicios-Tareas del Agente conductor

Servicios	Tareas
Reportar Posición	Ocupar puesto. Estacionar. Avanzar.
Reportar Tiempos	Calcular tiempos
Manejar	Seguir dirección Validar ruta Mirar ruta Obtener ruta de la calle Obtener cantidad de rutas Buscar puesto

3.2.3. Modelo de comunicación para el agente conductor

La secuencia de comunicación entre el agente y el simulador se observa en las figuras 3.11 y 3.12.



www.bdigital.ula.ve

Figura 3.11 Diagrama de secuencia interacción entre agente conductor y objeto simulador

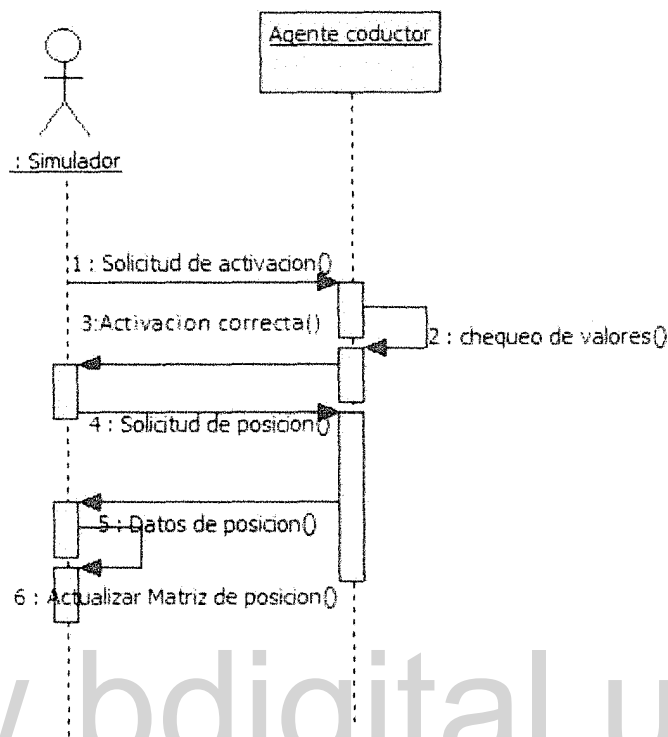


Figura 3.12 Diagrama de secuencia de comunicación entre objeto simulador y agente conductor

3.2.1. Desempeño del agente:

El principal objetivo del agente es lograr estacionarse, por lo que su éxito dependerá tanto de que logre estacionarse, como del nivel de satisfacción que tenga con el puesto encontrado, en este sentido se presentan la siguientes métricas:

- Porcentaje de agentes que logran estacionarse: se refiere a la cantidad de agentes que logran su objetivo dentro del estacionamiento (conseguir y ocupar un puesto).
- Promedio de satisfacción con el puesto: se calcula con base en la diferencia que existe entre el valor del mejor puesto que un agente desea ocupar y el valor del puesto que finalmente logra ocupar.

3.2.2. Interacción entre el agente conductor con los otros objetos del simulador

En este segmento se dará una visión global de cómo el agente conductor interactúa con el simulador de eventos discretos, explicado mediante el uso de un diagrama de secuencia en las figuras 3.13 y 3.14.

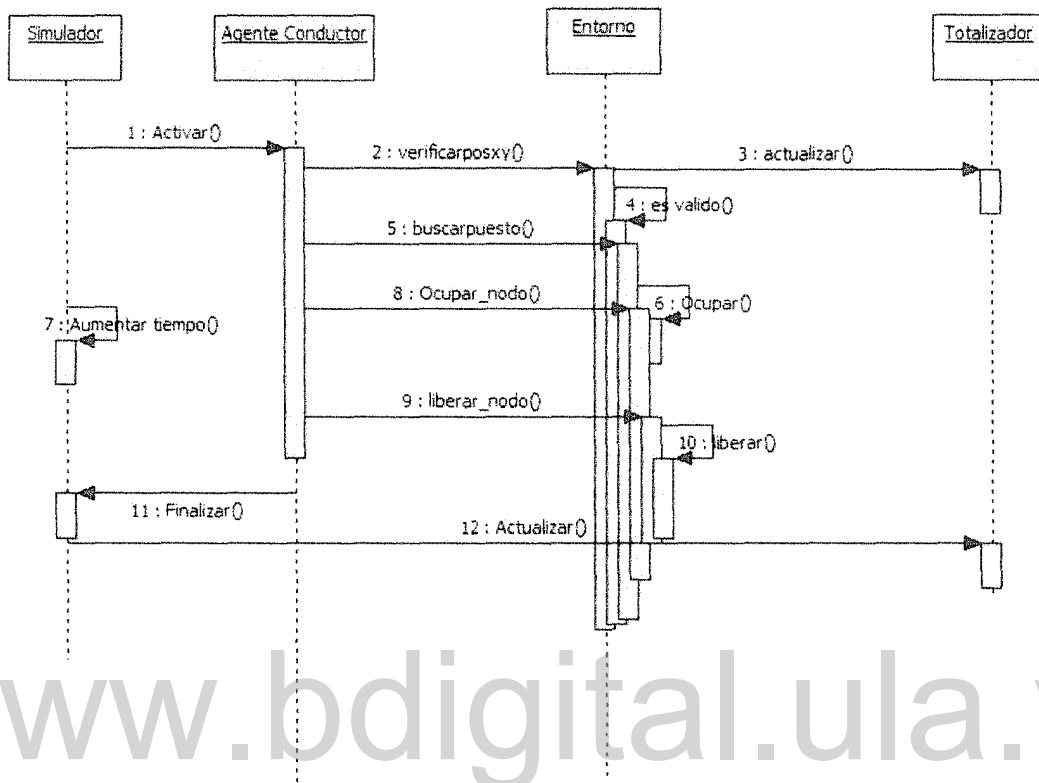


Figura 3 13 Diagrama de secuencia de comunicación entre agente conductor y objeto simulador

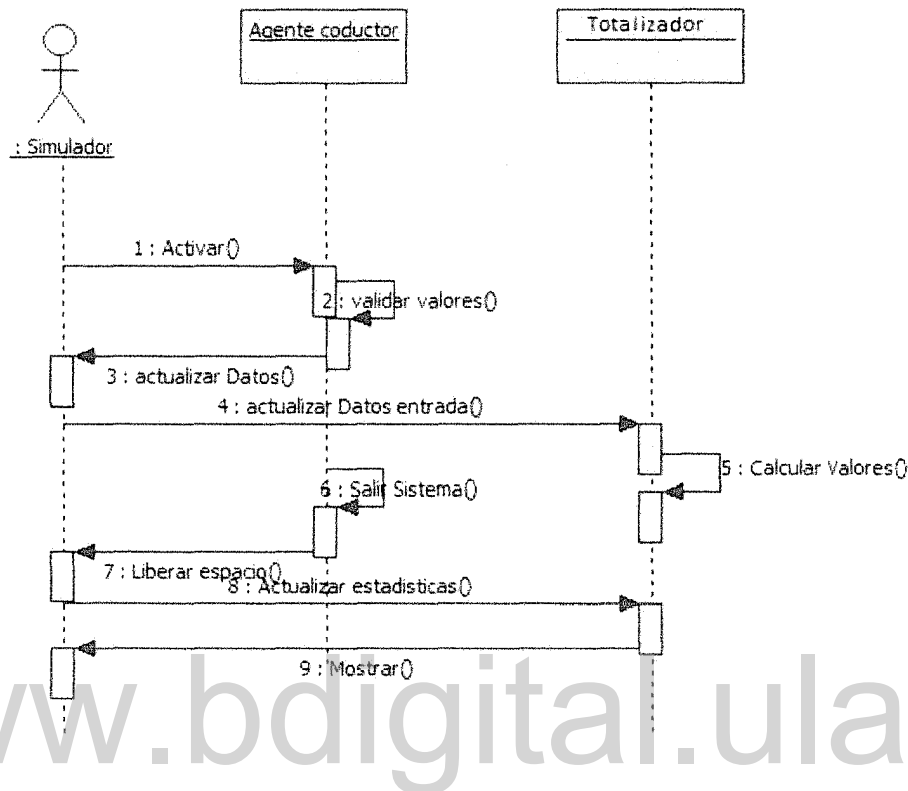


Figura 3 14 Diagrama de secuencia del SIME

3.3. Prototipos

Para la interfaz gráfica se elaboraron las siguientes ventanas en lenguaje de programación java:

- Formulario para seleccionar entre usar un plano actual o cargar un plano existente.
- Formulario para determinar las dimensiones del plano y el tamaño de la cuadrícula a utilizar.
- Formulario Principal que contendrá el plano y las opciones de simulación.
- Formulario para ingresar los parámetros y reglas de los agentes a utilizar en la simulación.
- Formulario para ingresar las características de los puestos de estacionamiento.
- Formulario para ingresar los parámetros de la simulación.
- Formulario para establecer la probabilidad que tiene un nodo destino de ser elegido.

3.4. Diseño del experimento

Con el fin de validar y verificar el software realizado es necesario hacer contraste entre los resultados que el simulador arroje contra lo que en realidad ocurre, con este fin se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- Variables de entrada para alimentar el simulador:
 - Cantidad de llegadas.
 - Cantidad de salidas.
 - Tiempo que un automóvil permanece estacionado.
 - Puestos que son ocupados en el intervalo de tiempo de estudio.
- Variables de Salida:
 - Ocupación de cada puesto de estacionamiento.
 - Conductores que ocuparon un puesto
 - Conductores que no lograron ocupar puesto.
 - Porcentaje de ocupación de un puesto.

Para esto es necesario determinar la cantidad de entradas y salidas del estacionamiento en un intervalo de tiempo, el intervalo seleccionado fue de 10 minutos y se realiza el conteo por observación directa.

Para medir los resultados del simulador se comparó los valores de entrada, salida y porcentaje de ocupación de los puestos, los dos primeros se pueden comparar directamente de manera estadística, sin embargo, para el cálculo del tercero, más relevante porque permite constatar que las preferencias del humano y del agente concuerdan, se utilizó el siguiente procedimiento:

1. En una hora determinada del día durante 14 días, para cada puesto del estacionamiento, se observó si estaba ocupado o libre a esa hora en particular.
2. Luego, para cada puesto se calcula su porcentaje de ocupación: número de veces ocupado entre el total de veces observado.

La variable porcentaje de ocupación de un puesto indica qué puestos son los ocupados con mayor frecuencia por los conductores en la vida real en condiciones en donde es posible hacer una elección.

3.5. Diseño de instrumentos

Para poder realizar el simulador primero es necesario determinar cuáles son los factores que determinan elegir un lugar sobre otro, por eso se diseñó un instrumento con el fin de obtener una visión más clara sobre los factores que afectarán. Cabe destacar que a efectos de cumplir los objetivos de la investigación y validar el ajuste del software a la realidad se calcularán algunos valores estadísticos sobre el comportamiento de los usuarios del estacionamiento del edificio C, y se utilizarán para tener un punto de comparación entre los agentes computacionales y los conductores reales. Para tener una idea de cómo se comporta se realizaron las preguntas ilustradas en la tabla 3.35.

Tabla 3 31 Instrumento para determinar información sobre los conductores de la Universidad Nacional Experimental del Táchira

Pregunta	Opciones	Valor a usar
Tipo de personal	Docente	1
	Administrativo	2
	Estudiante	3
	Obrero	4
Sexo	Masculino	1
	Femenino	2
Edad	0-25	1
	26-35	2
	35-45	3
	45-adelante	4
Porcentaje de uso de cada Edificio a la semana, indique el número:	A	Abierto
	B	Abierto
	C	Abierto
	Biblioteca	Abierto
	Administrativo	Abierto
	Otro	Abierto
Entradas en la mañana	Abierto	Abierto
Entradas en la tarde	Abierto	Abierto
Nivel de destreza al Manejar:	Principiante	1
	Intermedio	2

	Avanzado	3
	Otro	4
Años que lleva manejando vehículos automotores:	Abierto	Abierto
SI Ud. encuentra un auto que está momentáneamente estacionado en el canal de circulación ¿Qué hace?	Prudente	1
	Siempre espera	2
	Siempre pasa	3
¿Cede Ud. el paso?	Siempre	1
	Casi Siempre	2
	Casi nunca	3
	Nunca	4
Acción a tomar en caso de sol	Cerca de la entrada al edificio destino.	1-9
	Sombreado (sin importar la distancia a caminar)	1-9
	Fácil de estacionar	1-9
	Lejos del destino, (para ejercitarse, por ejemplo)	1-9
	Cerca de un puesto de vigilancia	1-9
	Primero que consiga libre	1-9
	Dar una vuelta primero antes de decidir	1-9
	Fácil de salir	1-9
	Otro	1-9
Acción a tomar en caso de lluvia	Cerca de la entrada al edificio destino.	1-9
	Sombreado (sin importar la distancia a caminar)	1-9
	Fácil de estacionar	1-9
	Lejos del destino, (para ejercitarse, por ejemplo)	1-9
	Cerca de un puesto de vigilancia	1-9

	Primero que consiga libre	1-9
	Dar una vuelta primero antes de decidir	1-9
	Fácil de salir	1-9
	Otro	1-9

3.6. Cantidad de instrumentos

La tarea de determinar el tamaño de la muestra dentro de la población de usuarios del estudio está afectada por 3 factores:

- Nunca se ha realizado un censo que indique la cantidad de usuarios que disponen automóvil o que utilizan automóvil para llegar a la Universidad Nacional Experimental del Táchira.
- No se han realizado estudios estadísticos sobre este tema dentro de la Universidad Nacional Experimental del Táchira.
- A pesar de que se puede conocer la cantidad de estudiantes, la cantidad de docentes, cantidad de administrativos, y la cantidad de obreros no es posible determinar cómo se distribuyen estas cifras entre los 4 edificios principales de la UNET.

Por estos inconvenientes se decidió utilizar la fórmula del cálculo del tamaño de la muestra sin conocer el tamaño de la población en base al nivel de confianza (Walpole, 1992) para el cálculo de la muestra.

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * q * p}{d^2}$$

Fórmula 3.1 Cálculo de la muestra sin conocer el tamaño de la población

Fuente Walpole. Probabilidad y estadística

Donde:

Z α : es el valor del estadístico Z.

q: porcentaje de escoger una opción

p: porcentaje de no escoger una opción (1-q).

d: intervalo de confianza expresado en decimal.

Aplicando la fórmula 3.1 con una proporción de 50%, un nivel de confianza del 95% y un margen

de error del 8% se obtiene que el tamaño de la muestra debe ser de un mínimo de 151 instrumentos. Posteriormente se determinó la tasa de llegada, de salida y de permanencia de los agentes conductores en el simulador, para establecer estos valores se plantearon 2 escenarios:

Observación directa del puesto de estacionamiento.

Utilizar los datos que el sistema de portería de la UNET: “Kerisys System”.

Para la observación directa se utilizó el formato que se muestra en la tabla 3.36, las variables a observar mediante este instrumento son la cantidad de llegadas y salidas que se registran en un periodo de 10 minutos, también se plantea en un inicio como variable discriminante el sexo del conductor.

Tabla 3 32 Formato para contar la cantidad de carros

Lugar	Cantidad entrada		Cantidad Salida		Sobrepasos
Hora Inicio	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	
0					
10					
20					
30					
40					
50					
0					
10					
20					
30					
40					
50					

En este punto de debe destacar que la UNET cuenta con 3 estacionamientos sin conexiones conocidos como: puerta A, puerta B y puerta C. A su vez el estacionamiento del Edificio C está subdividido en 3 segmentos, aunque es imposible que una sola persona logre ver los 3 segmentos al mismo tiempo, lo que obliga a seleccionar un segmento para hacer más énfasis en la observación. Por estas razones fue necesario dar prioridad a un estacionamiento en específico y a una hora, dicho estacionamiento será el del edificio C porque es el único estacionamiento que es completamente observable desde un sitio accesible.

Por otro lado la hora prioritaria será las 7 de la mañana para tratar de minimizar el factor de obligatoriedad del puesto, es decir, un conductor no puede seleccionar entre gran variedad de puestos sino de entre un número mucho más pequeño e incluso la posibilidad de que sólo pueda

elegir el único puesto que esté libre o no lograr estacionarse; se considera también que las 7 de la mañana representa una hora pico de llegada por lo que puede resultar más provechoso para el estudio.

www.bdigital.ula.ve

Capítulo 4. Desarrollo e implantación del agente conductor y módulos de la aplicación

Como primer paso se hace necesario conocer el funcionamiento de un estacionamiento para poder determinar las variables y la relación entre ellas en la simulación. Una vez más se hace uso de la observación directa para este fin. A continuación se detalla el ambiente de estudio.

4.1. Características del estacionamiento del edificio C.

Anteriormente fueron mencionadas algunas características de los estacionamientos de la Universidad Nacional Experimental del Táchira, en la figura 4.1 se puede observar la ubicación del estacionamiento del edificio C en el plano de la Universidad.

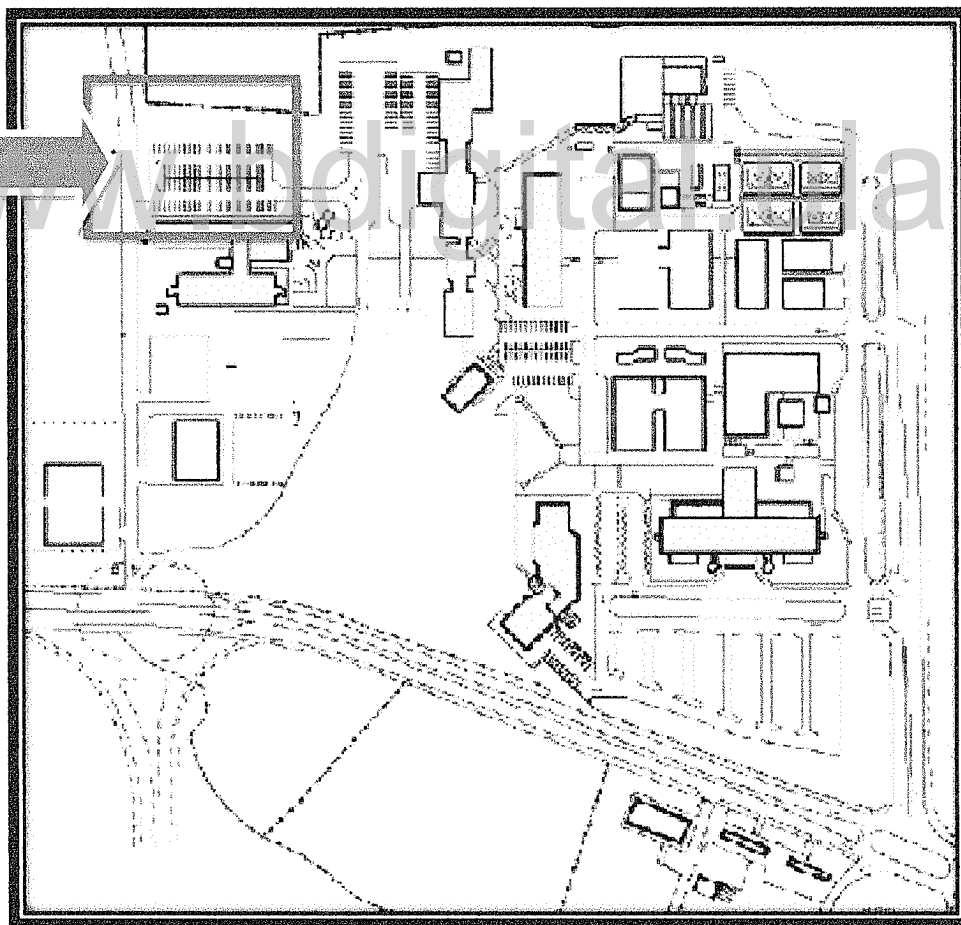


Figura 4.1 Ubicación Estacionamiento del Edificio C
Fuente: Departamento de Arquitectura - UNET

Dicho estacionamiento tiene una capacidad para 128 automóviles demarcados por puestos verticales de 5x3 metros (según las mediciones hechas por el autor); los 128 puestos están divididos como se ilustra en la figura 4.2.

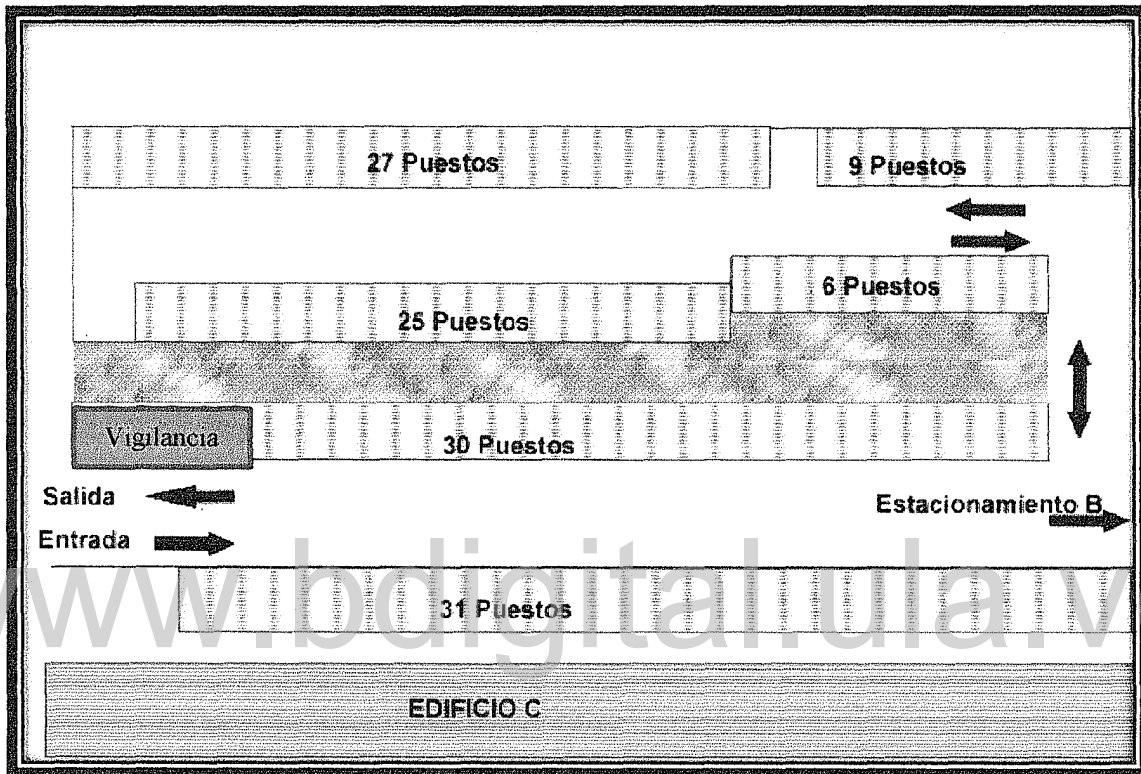


Figura 4 2 Distribución de los puestos del Estacionamiento C

Este estacionamiento no cuenta con sistema de control de acceso, es decir puede ser utilizado por cualquier persona dentro del campus universitario, ya sea profesor, administrativo, obrero, estudiante o una persona particular.

En cuanto al nivel de protección solar, ningún puesto cuenta con una estructura para ello y solamente reciben sombra del Edificio C 30 puestos de estacionamiento en horas de la tarde.

La dificultad para estacionar y salir de los puestos de estacionamiento ubicados en la calle principal (calle desde la entrada principal hasta la entrada del edificio B) se estableció como elevada debido al alto tránsito de vehículos por ella.

El tamaño promedio de cada puesto es de 2,64 metros de ancho por 4,72 metros de largo, para efectos de la investigación se trabajó con la medida 3 metros de ancho por 5 metros de largo.

4.1.1. Especificación de lugares

Este estacionamiento cuenta con un sitio de vigilancia ubicado en el lateral de la salida principal del

mismo. Además de las siguientes características

Dos zonas

Zona Baja con un total de 59 puestos.

Zona Alta con un total de 65 puestos.

Cinco calles

- Calle sentido entrada principal – Entrada estacionamiento del B (norte- sur)
- Calle sentido Entrada estacionamiento del B – entrada principal (sur-norte)
- Calle doble vía que comunica zona Baja con zona Alta.
- Calle de zona Alta sentido norte-sur
- Calle de zona Alta sentido sur-norte

Los usuarios de entrada y salida no hacen uso de los puestos de estacionamiento, sólo circulan por él para dejar pasajeros en un lugar específico.

4.2. Proporciones para los agentes conductores

Originalmente se plantea que los agentes conductores sean de 4 tipos diferentes:

Conductor Estudiante.

Conductor Profesor.

Conductor Administrativo.

Conductor Visitante (que sólo entra para dejar personas).

Para obtener una visión de la proporción de estos conductores fueron aplicadas un total de 164 encuestas, los datos quedaron distribuidos según como se muestra en la tabla 4.1 y gráficamente en la figura 4.3.

Tabla 4 1 Proporción de los usuarios del estacionamiento C según instrumentos tabla 3 32.

Tipo de Personal	Cantidad	%
Estudiantes	66	40,24%
Profesores	49	29,88%
Administrativos	41	25,00%
Visitantes	8	4,88%
Total	164	100%

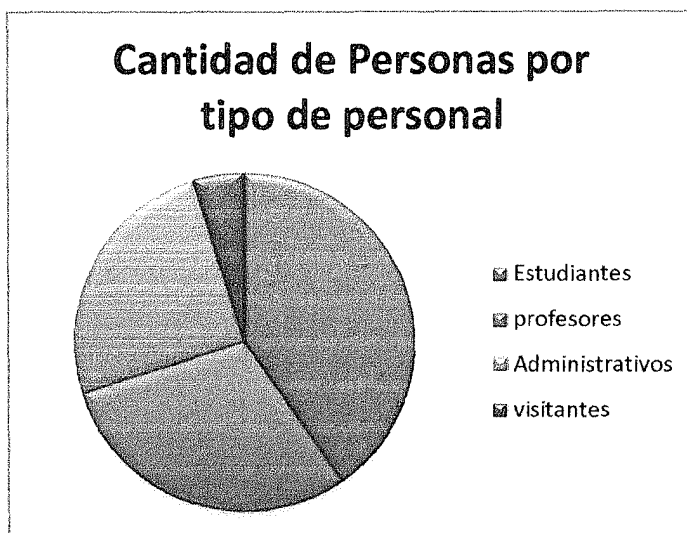


Figura 4 3 Cantidad de personas por tipo de personal

Cabe destacar que la encuesta fue aplicada a personas que usan los estacionamientos de la Universidad Nacional experimental del Táchira haciendo énfasis el estacionamiento del edificio C en cualquiera de sus 3 segmentos por ser este el sitio de las pruebas principales. Por otro lado, se consideró hacer las divisiones por género masculino y femenino, esta proporción está indicada en la figura 4.4.

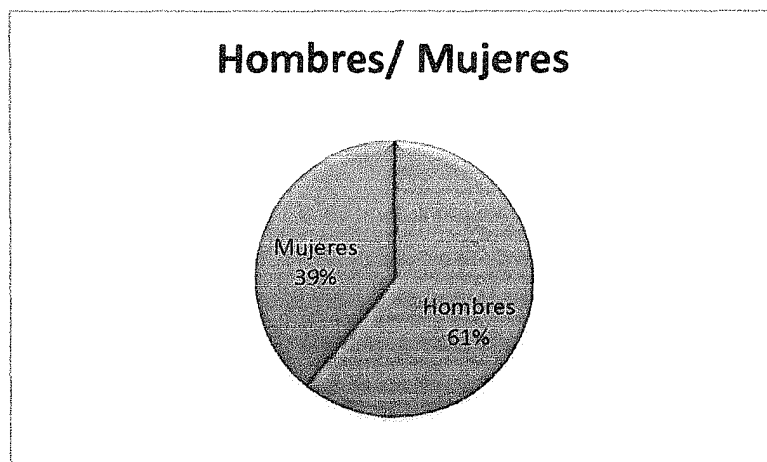


Figura 4 4 Proporción de conductores con respecto a género

La tercera opción es que los agentes sean divididos por edades, los datos de esta distribución se encuentran en la tabla 4.2 y gráficamente se pueden observar en la figura 4.5.

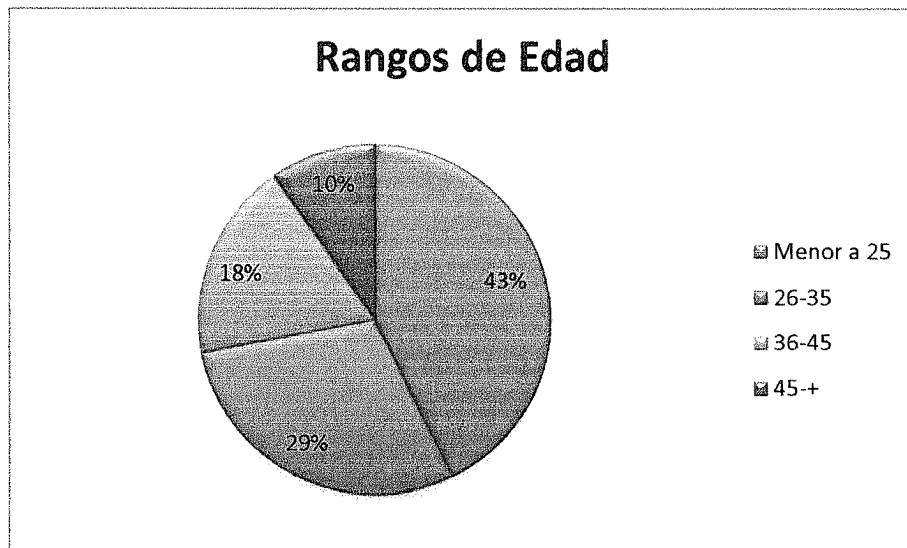


Figura 4 5 Distribución por edad de los conductores

Tabla 4 2 Distribución por edad de los conductores

Edad	Cantidad	%
Menor a 25	70	42,68%
26-35	48	29,27%
36-45	30	18,29%
45-+	16	9,76%
Total	164	100%

Otra variable a considerar es el nivel de agresividad al manejar, en el sentido de si existe o no un sobrepaso en caso de que un automóvil se encuentre momentáneamente detenido (ver pregunta 9 del instrumento, tabla 3.31), en la figura 4.6 se muestra la distribución de las respuestas a esta pregunta. Lo que indica que la gran mayoría de conductores no intentarán el sobrepaso agresivo, lo cual fue agregado como una característica para todos los agentes conductores.



Figura 4.6 Distribución de la tolerancia de un conductor a un vehículo estacionado momentáneamente

4.3. Cálculo para la evaluación de los puestos de estacionamiento

Un puesto de estacionamiento será evaluado con base en las preguntas hechas en el instrumento aplicado (ver tabla 3.35), las cuales son:

- ✓ Cerca de la entrada al edificio destino.
- ✓ Fácil de estacionar
- ✓ Primero que consiga libre
- ✓ Sombreado (sin importar la distancia a caminar)
- ✓ Fácil de salir
- ✓ Cerca de un puesto de vigilancia
- ✓ Dar una vuelta primero antes de decidir
- ✓ Lejos del destino

A cada parámetro se le dará un valor del 1 al 9, que es el peso que tendrá para la selección del mismo en base a las condiciones de la tabla 4.3.

Tabla 4 3 Parámetros y valores de las características de los puestos de estacionamientos

Parámetro	Rango de valores posibles	Escala	Valor a usar en la fórmula
Dificultad estacionar	1-10	5-10	-1
		3-5	0
		1-3	1
Dificultad de Salir	1-10	5-10	-1
		3-5	0
		1-3	1
Primero que consiga libre	1	1	1
Dar una vuelta primero antes de decidir	1	1	-1
Sombreado	Enteros desde -1 a 1	Sol	-1
		Nulo	0
		Sombra	1
Cerca de la entrada al edificio destino	Valores positivos	Mayores a 50%	-1
		Entre 30% y 50%	0
		Menores a 30%	1
Lejos del destino	Valores positivos	Mayores a 50%	1
		Entre 30% y 50%	0
		Menores a 30%	-1
Cerca de un puesto de vigilancia	Valores positivos	Mayores a 50%	-1
		Entre 30% y 50%	0
		Menores a 30%	1

Para garantizar que todos los parámetros se encuentren equilibrados, es decir que ninguno obtenga un valor tan grande que haga que los otros parámetros no causen efecto dentro de la decisión, se creó una escala de valores, en especial para los valores de distancia (distancia al edificio de destino, distancia a un puesto de vigilancia) donde -1 indica que el factor es desfavorable, 0 será neutral y 1 será favorable. El cálculo de este valor se hace con base en la siguiente fórmula.

$$valor = \frac{dist * 100}{DistM}$$

Donde:

Dist: es la longitud de la hipotenusa entre un nodo actual y un nodo destino.

DistM: es el mayor de todos los valores de *Dist*.

En la tabla 4.4 se ilustra un ejemplo de su funcionamiento en una serie de puestos.

Tabla 4.4 Ejemplo de valores de puestos de estacionamiento

	nivel luz	dificultad	valor	distancia punto	%	valor	distancia PV	%	valor	dificultad salir	valor
puesto 1	-1	8	-1	1	1,01	1	11	13,10	1	7	-1
puesto 2	0	1	1	99	100,00	-1	7	8,33	1	6	-1
puesto 3	1	3	1	27	27,27	1	28	33,33	0	3	1
puesto 4	1	1	1	57	57,58	-1	84	100,00	-1	4	0
puesto 5	0	1	1	0	0,00	1	46	54,76	-1	3	1
puesto 6	-1	2	1	46	46,46	0	78	92,86	-1	2	1
puesto 7	1	10	-1	8	8,08	1	45	53,57	-1	10	-1
puesto 8	0	6	-1	57	57,58	-1	28	33,33	0	6	-1

Para obtener el valor que un agente conductor le dará a cada puesto, supóngase que se tienen los parámetros presentados en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 Ejemplo de valores para las diferentes opciones

ID	Opción	valor
A	Cerca de la entrada al edificio destino.	9
B	Sombreado(sin importar la distancia a caminar)	8
C	Primero que consiga libre	7
D	Fácil estacionar	6
E	Cerca de un puesto de vigilancia	5
F	Fácil de salir	6
G	Dar una vuelta primero antes de decidir	1
H	Lejos del destino, (ejercitarse, otros)	1

Por el principio de independencia de preferencia explicado en Russel (2004), dos atributos X_1 y X_2 son independientes en cuanto a la preferencia de un tercer atributo X_3 si la preferencia entre los resultados no depende del valor particular X_3 .

Con respecto al principio de independencia mutua de preferencia (IMP), el mismo autor explica que si bien un atributo puede ser importante, este hecho no afecta al modo en que alguien valore los

restantes atributos frente a aquel.

Con base en estos 2 principios la función de valor de un agente se puede representar como:

$$V(x_1, \dots, x_n) = \sum_i^n V_i(x_i)$$

Fórmula 4.1 Valor de un agente

Fuente Inteligencia Artificial un enfoque Moderno Russel 2011

Para calcular el valor de un puesto se tiene:

$$\text{Valor puesto}_i = A * \text{dptod} + B * \text{cluz} + C + D * \text{difes} + E * \text{dptov} + F * \text{difsal} - G - H * \text{dptod}$$

Formula 4.2

Donde

A: valor para el parámetro “Cerca de la entrada al edificio destino”.

Dptod: valor calculado para el puesto en cuanto a la distancia del punto destino.

B: valor para el parámetro “Sombreado (sin importar la distancia a caminar)”.

Cluz: valor calculado para el puesto en cuanto a nivel de sombra

C: valor para el parámetro “Primero que consiga libre”.

D: valor para el parámetro “Fácil de estacionar”.

Difes: valor calculado para el puesto en cuanto a dificultad de estacionar.

F: valor para el parámetro “Fácil de salir”

Difsal: valor calculado para el puesto en cuanto a dificultad de salir.

G: Valor para el parámetro “Dar una vuelta primero antes de decidir”.

H: Valor para el parámetro “Lejos del destino, (ejercitarse, otros)”.

E: Valor para el parámetro “Cerca de un puesto de vigilancia”

Dptov: valor calculado para el puesto en cuanto a la distancia de un punto de vigilancia.

En la tabla 4.6 se presenta el resultado de evaluar esta fórmula para los puestos y parámetros de ejemplo.

Tabla 4.6 Valores calculados para cada puesto con base en los parámetros de las tablas 4.5 y 4.4.

Puesto	Valor
puesto 1	-1
puesto 2	3
puesto 3	34

puesto 4	7
puesto 5	21
puesto 6	5
puesto 7	5
puesto 8	-14

El mejor puesto para el agente conductor sería el número 3, el puesto 5 también es buena opción, sin embargo la decisión de cual ocupar dependerá de cuál sea el valor mínimo que un conductor acepte; a este valor mínimo se le denominará “umbral” de ahora en adelante. El umbral será un parámetro de cada agente conductor calculado en la simulación y corresponderá como valor inicial al mayor valor de los puestos disponibles en la selección, a medida que el agente conductor transite por el plano el umbral disminuirá para darle oportunidad a puestos con una valoración menor.

4.4. Resultados para asignar a los parámetros de los usuarios de estacionamiento del edificio C

En la sección anterior se explicó la manera de determinar el valor de un puesto de estacionamiento y además cuales son las variables tomadas en cuenta para ello. A continuación se expondrán los valores que dieron los usuarios del edificio C a los parámetros mencionados anteriormente.

En la tabla 4.7 y en la figura 4.7 se observa el puntaje promedio obtenido para cada opción dentro del instrumento aplicado en el edificio C de la UNET

Tabla 4 7 Valor promedio obtenido por cada parámetro dentro de los usuarios del estacionamiento del edificio C

Parámetro	Valor SOL	Valor LLUVIA
Cerca de la entrada al edificio destino.	7,37	8,05
Sombreado(sin importar la distancia a caminar)	6,26	4,52
Fácil de estacionar	5,7	5,98
Lejos del destino, (ejercitarse, otros)	2,55	2,28
Cerca de un puesto de vigilancia	4,6	4,23
Primero que consiga libre	5,54	5,27
Dar una vuelta primero antes de decidir	3,37	3,98
Fácil de salir	4,73	4,98
Otro	1,72	1,97

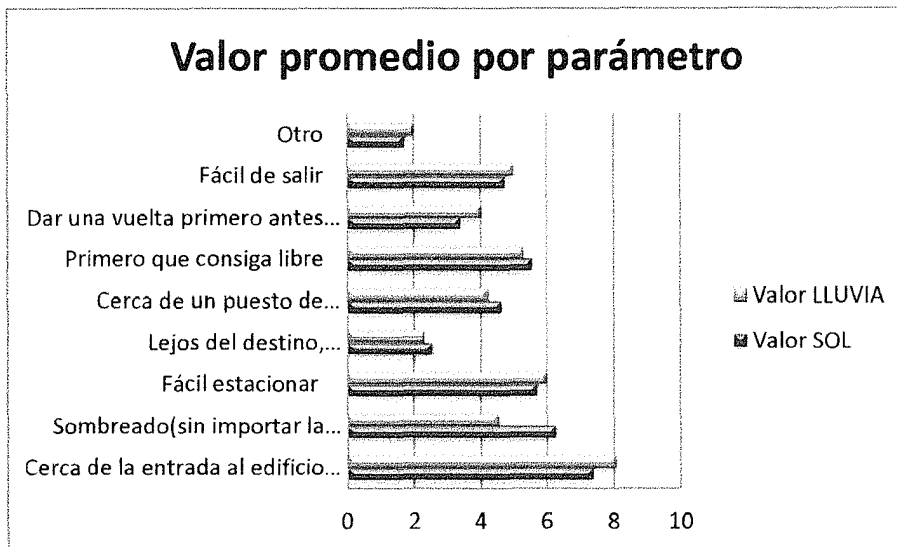


Figura 4.7 Gráfica de los valores promedio obtenidos por cada opción de selección de puesto de estacionamiento.

A continuación, en la tabla 4.8 se observan los valores que 10 puestos con características aleatorias obtienen según la fórmula 4.1.

Tabla 4.8 Valores de ejemplo para 10 puestos generados de forma aleatoria

	nivel luz	dificultad	valor	distancia punto	%	valor	distancia PV	%	valor	dificultad salir	valor	Valor SOL	Valor lluvia
puesto 1	0	3	1	78	80,41	-1	4	4,44	1	10	-1	1,3	0,17
puesto 2	-1	5	0	31	31,96	0	82	91,11	-1	3	1	-2,99	-1,48
puesto 3	1	1	1	13	13,40	1	38	42,22	0	4	0	13,78	11,87
puesto 4	-1	7	-1	36	37,11	0	12	13,33	1	7	-1	-7,42	-5,84
puesto 5	0	10	-1	33	34,02	0	53	58,89	-1	5	0	-4,82	-4,51
puesto 6	1	3	1	33	34,02	0	9	10,00	1	4	0	15,74	13,03
puesto 7	0	2	1	72	74,23	-1	3	3,33	1	6	-1	1,3	0,17
puesto 8	-1	10	-1	19	19,59	1	16	17,78	1	2	1	6,3	7,77
puesto 9	-1	4	0	48	49,48	0	90	100,00	-1	8	-1	-14,07	-12,02
puesto 10	-1	9	-1	97	100,00	-1	56	62,22	-1	2	1	-8,18	-6,83

Con base en la observación de estos resultados se nota que la diferencia entre los resultados de lluvia y de sol a simple vista no es significativa, para poder comprobarlo se realizó el siguiente experimento:

1. Generar 30 puestos con valores aleatorios en sus diferentes características.
2. Calcular el valor de los 30 puestos tanto para las reglas de sol como de lluvia.
3. Comprobar si ambos resultados tienen un comportamiento $\mu_1 = \mu_2$ para ello:

- 3.1 Aplicar una prueba t-Student
4. Comprobar que los datos cumplen con el supuesto de normalidad.
 5. Comprobar que los datos cumplen con el supuesto de igualdad de varianza.
 6. Aplicar la prueba t-Student para determinar si las 2 medias de la muestra son iguales.

En la figura 4.8 se observa la comprobación del ítem 3 (supuesto de normalidad) aplicando la prueba K S haciendo uso de la herramienta estadística SPSS para los valores de sol y lluvia.

		SOL	Lluvia
N		30	30
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	1,0427	,5477
	Std. Deviation	6,00939	5,34689
Most Extreme Differences	Absolute	,081	,076
	Positive	,081	,073
	Negative	-,060	-,076
Kolmogorov-Smirnov Z		,444	,418
Asymp. Sig. (2-tailed)		,989	,995

Figura 4 8 Resultados de aplicar la prueba K S en el programa SPSS

Como puede verse, la significación del estadístico de Kolmogorov-Smirnov es de 0,989 para Sol y de 0,995 para la lluvia. Dado que la probabilidad del estadístico de contraste es elevada, muy por encima de $\alpha = 0,05$, se puede aceptar que ambas muestras se distribuyen normalmente.

Para comprobar si se cumple la suposición de varianzas iguales se utilizó la prueba F para varianza de dos muestras, disponible en la herramienta de datos de MS Excel que arroja el resultado de la figura 4.9.

Prueba F para varianzas de dos muestras

	Valor SOL	Valor lluvia
Media	0,886	0,267333333
Varianza	83,3323145	63,60624782
Observacion	30	30
Grados de lib	29	29
F	1,31012782	
P(F<=f) una c	0,23575974	
Valor crítico	1,86081143	

Figura 4 9 Resultados de la prueba F para los valores de SOL y de LLUVIA

Dado que el valor del estadístico F (1.31) es menor al valor crítico 1.86 que corresponde a un $\alpha = 0.05$, se puede suponer que son varianzas iguales. Por último, se comprobó si ambas medias son iguales, para ello se aplicó la prueba t-Student para diferencia de medias con varianzas iguales de la herramienta de análisis de datos de MS Excel, en la figura 4.10 se pueden observar los resultados de la misma.

	Valor SOL	Valor Lluvia
Media	0,886	0,26733333
Varianza	83,3323145	63,6062478
Observacion	30	30
Varianza agr	73,4692811	
Diferencia hi	0	
Grados de lib	58	
Estadístico t	0,27954353	
P(T<=t) una c	0,39041111	
Valor crítico	1,67155276	
P(T<=t) dos c	0,78082221	
Valor crítico	2,00171747	

Figura 4.10 Resultado de la prueba t de varianzas iguales.

Como el estadístico t (0.279) es mayor que -2.00 y menor que 2.00 que corresponden a los valores críticos, se puede suponer que las 2 muestras tienen la misma media. En conclusión, no existen razones para sospechar que hay una diferencia significativa entre los valores generados por las opciones de Sol y las opciones de Lluvia con lo que se comprueba que no existe necesidad de trabajar con la variable clima dentro del simulador.

4.5. Desarrollo del Simulador, Prototipos de aplicación

En el capítulo 3 fueron expuestas las partes que componen el simulador, a continuación se explica a fondo el desarrollo de las mismas.

4.5.1. Pantalla Principal:

Su única función es permitirle al usuario elegir entre crear un nuevo plano o utilizar uno existente, así como se muestra en la figura 4.11.

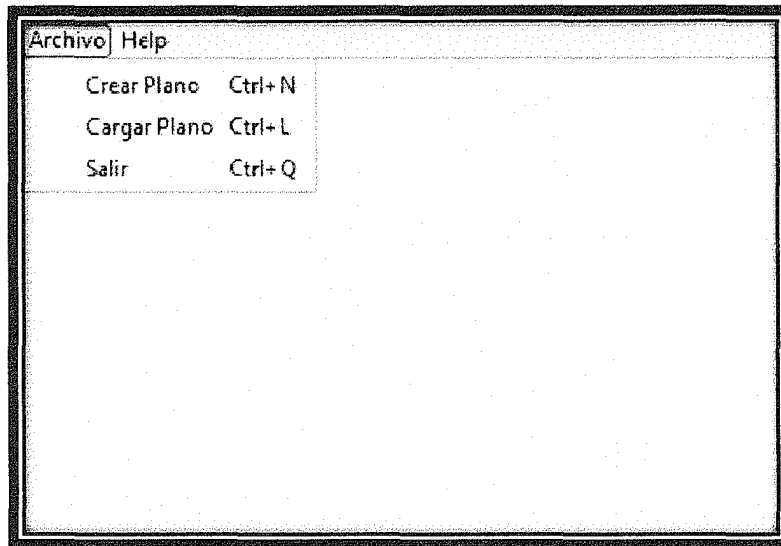


Figura 4.11 Pantalla de inicio del SIME

4.5.2. Pantalla de trabajo

La pantalla de trabajo del sistema del simulador contiene las partes: barra de nodos, plano de trabajo, resumen estadístico, valores de agentes que se pueden observar en la Figura 4.12.

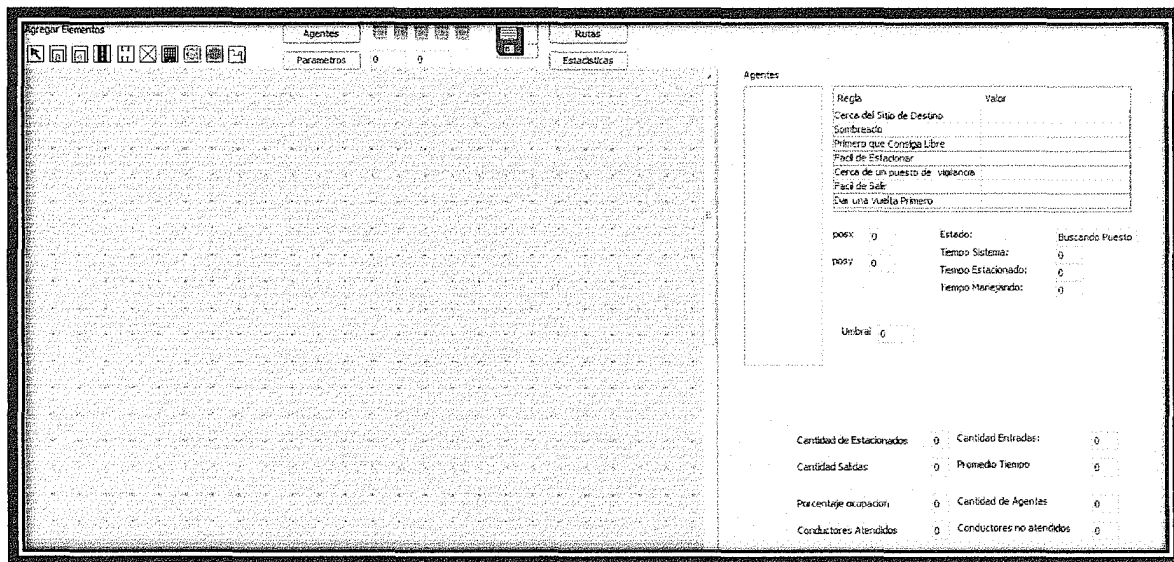


Figura 4.12 Pantalla de trabajo de SIME

Plano: Las medidas de este panel son dadas inicialmente por el usuario y es dentro del mismo donde

se creará el bosquejo del plano, primero seleccionando el tipo de nodo que desea crear y luego dando su ubicación dentro del plano. Algunos nodos cuando son creados disponen de sus propias pantallas de características como son los casos de:

Nodo entrada: El usuario debe seleccionar la distribución estadística de su preferencia para el nodo, en caso de no existir una distribución teórica que satisfaga los requisitos se da la opción de utilizar una distribución empírica, ver figuras 4.13, 4.14 y 4.15.

Nodo puesto: El usuario deberá incluir en este punto todas las características de la zona de estacionamiento. La creación de puestos se realiza por lote, debido a que crear puesto a puesto resultaría en una labor muy rutinaria, sin embargo los valores de distancia son individuales; los valores de dificultad y nivel de luz son iguales para todo el lote. Ver figura 4.16 para el detalle de este formulario.

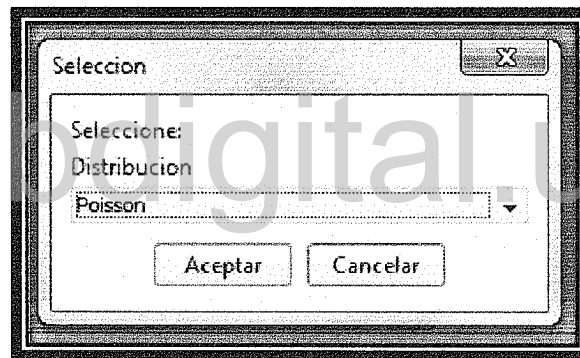


Figura 4 13 Pantalla para la selección de la distribución de entrada.

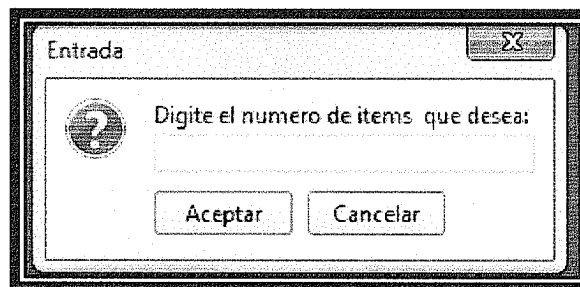


Figura 4 14 Pantalla para indicar cantidad de elementos

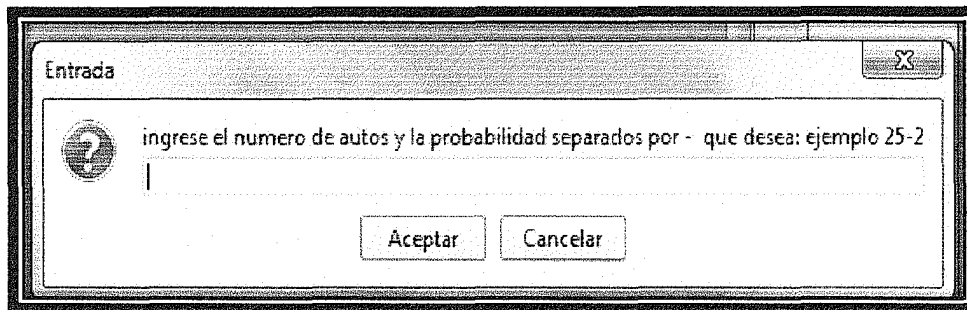


Figura 4 15 Pantalla para ingresar la probabilidad y la cantidad de ocurrencias de ese ítem



Figura 4 16 Formulario para crear puestos de estacionamientos.

Cuadro de resumen de la simulación: Indica al usuario algunas estadísticas básicas de lo que ha ocurrido en la simulación, como son:

- Cantidad de agentes generados.
- Cantidad de entradas.
- Cantidad de salidas.
- Cantidad de agentes estacionados.
- Porcentaje de ocupación del plano.
- Tiempo Promedio en el sistema por cada agente.

Cantidad de agentes atendidos.

Cantidad de agentes no atendidos.

Cuadro de valores actuales del agente: Permite al usuario visualizar las variables que el agente conductor está tomando en cuenta para sus decisiones.

Barra de administración: subdivida en 2 partes:

Barra de nodos. Que permite a los usuarios crear un nodo de los descritos en la tabla 3.1.

Barra de Administración: Opciones relacionadas con la administración de la simulación.

Iniciar

Pausar

Detener

Aumentar y disminuir velocidad.

Agregar tipos de agentes.

Establecer parámetros de la simulación.

4.5.3. Pantalla creación de tipos de agentes

Este formulario (figura 4.17) permite crear los grupos de agentes, los valores almacenados son:

Nombre del grupo de agentes.

Proporción que representa.

Valores para cada uno de sus parámetros.

Habilidad al manejar.

Probabilidad de utilizar un nodo de espera.

Figura 4 17 Formulario de parámetros de grupo de agentes

4.5.4. Formulario para ingresar los parámetros de la simulación.

Se ejecuta cuando el plano ha sido creado y las reglas de los agentes ya han sido cargadas al sistema, se configuran los siguientes aspectos (ver figura 4.18):

Tiempo de simulación en horas y minutos.

Cantidad de llegadas, que indica la media que se usará de parámetro para los nodos de entrada y su distribución probabilística. En el caso de nodos de entrada con distribuciones empíricas este parámetro no aplica.

Tiempo de permanencia, es el tiempo que se espera que el conductor permanezca en el estado estacionado.

Porcentaje de ocupación, se refiere al porcentaje de puestos que inicialmente se encuentren ocupados.

Nivel de aceptación, establece el valor mínimo que debe cumplir un puesto para que sea satisfactorio para ser usado por un agente dentro de la simulación.

The screenshot shows a dialog box for configuring simulation parameters. It includes the following elements:

- Tiempo de simulación:** Two input boxes for 'Horas' and 'Minutos', both containing the value '0'.
- Cantidad de llegadas:** A slider control and two input boxes for 'Valor Minimo' (1) and 'Valor maximo' (10).
- Tiempo de permanencia:** A slider control and one input box for 'Valor' (100).
- Porcentaje ocupacion:** A slider control.
- Buttons:** 'Aceptar' and 'Cancelar' buttons at the bottom.

Figura 4 18 Pantalla de los parámetros de la simulación.

4.5.5. Formulario para la probabilidad de los nodos destino.

En caso de existir múltiples destinos dentro del plano, se hace necesario establecer la probabilidad

de elección de cada uno de ellos, en la figura 4.19 se observa la pantalla para realizar esta acción.

The screenshot shows a window with a title bar and standard OS controls. Inside, there are two columns of text. The left column is labeled 'Destino' and contains two entries: 'nodo destino 0en %' and 'nodo destino 1en %'. The right column is labeled 'Probabilidad' and contains two entries: '50' and '50'. Below these entries is a button labeled 'Aceptar'.

Figura 4.19 Formulario para establecer la probabilidad de elección de un nodo destino.

4.6. Implementación del agente conductor

En secciones anteriores se describió la conducta del agente conductor pero no se indicó la forma en que el mismo tomará las decisiones, en esta sección se extenderá sobre este tópico. Comenzando por el diagrama de estados (figura 3.9) que se vuelve a presentar en la figura 4.20.

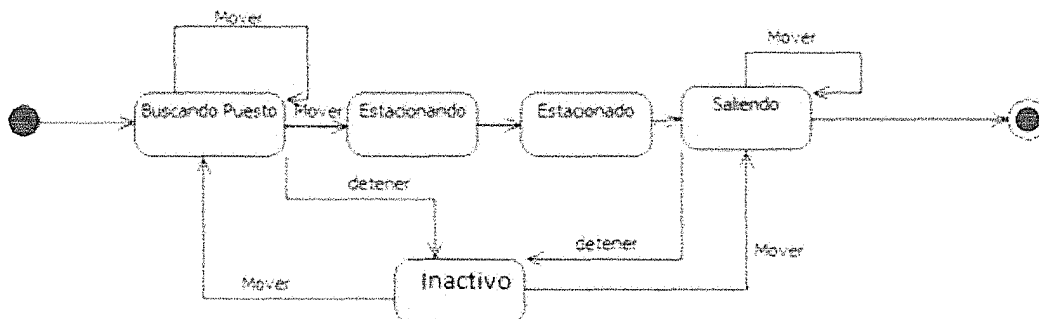


Figura 4.20 Diagrama de estados Agente conductor

Para hacer el movimiento del agente se tienen las siguientes premisas:

No se puede ocupar una casilla que está ocupada previamente por otro agente conductor.

Si un nodo carretera tiene demarcada una ruta se seguirá esta ruta.

Si el nodo que indica la ruta se encuentra ocupado entonces el agente conductor esperará.

No es posible determinar la ruta más corta a un nodo de puesto o a un nodo de salida sin evaluar todas las posibilidades utilizando una búsqueda *offline*.

Se plantea la posibilidad que el agente conductor pueda mirar una cantidad de casillas hacia adelante para determinar cual ruta ofrece mejores posibilidades en los cruces.

El agente conductor guarda todas las posiciones que ha visitado.

El rango de visión del agente para seleccionar un puesto es de 2 casillas.

Intentar sobrepasar a un agente que esté momentáneamente detenido depende de si una casilla alternativa libre y si el tiempo de espera para sobrepasar expiró.

El agente conductor al desocupar un puesto comprueba cual de las rutas tiene mejores posibilidades de llevarlo a la salida.

No es posible retroceder para un agente conductor.

Si el agente conductor cae en un bloqueo, es decir que ninguna opción de vía es válida, se permite que tome una opción aleatoria.

Si la carretera tiene demarcado un sentido este tiene prioridad sobre todas las opciones.

4.6.1. Diagrama de actividades para el agente conductor

El agente conductor se divide en 2 etapas: la primera etapa corresponde al intervalo desde que es activado hasta que obtiene un puesto para estacionar, y la segunda desde que el conductor abandona el puesto y logra salir del sistema; en las figuras 4.21 y 4.22 se detallan mediante diagramas de actividades dichas etapas.

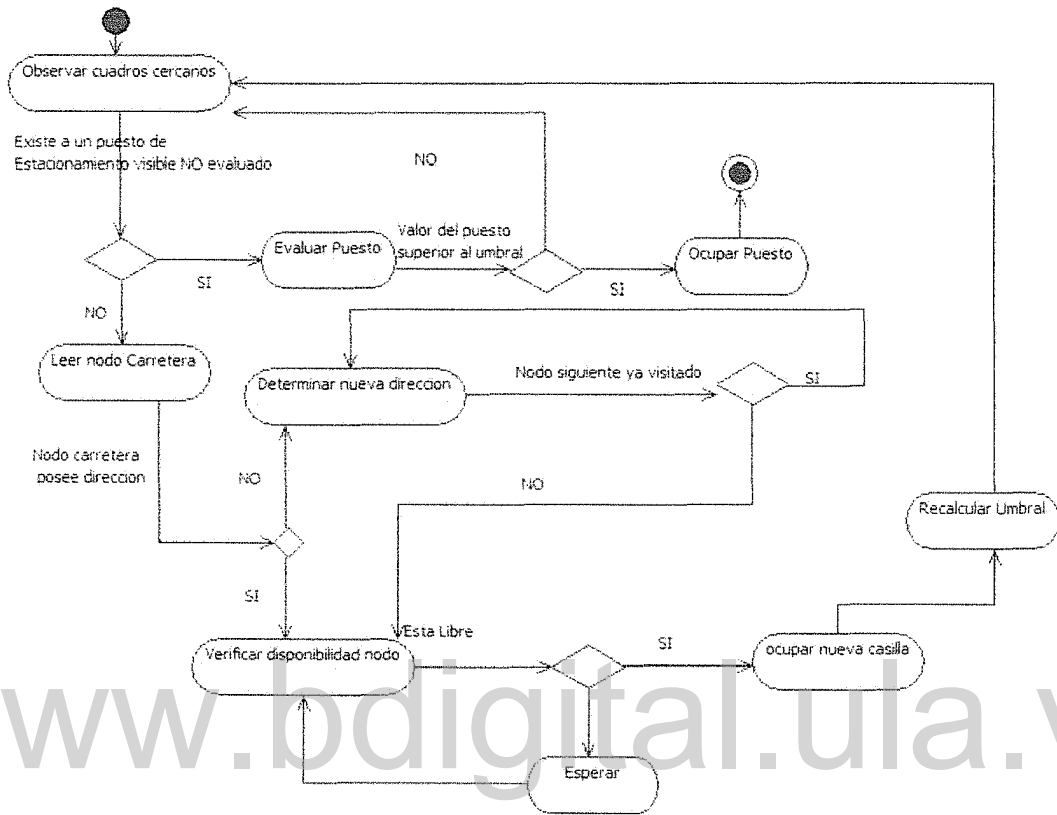


Figura 4 21 Diagrama de actividades para la etapa de buscar puesto por parte del agente conductor

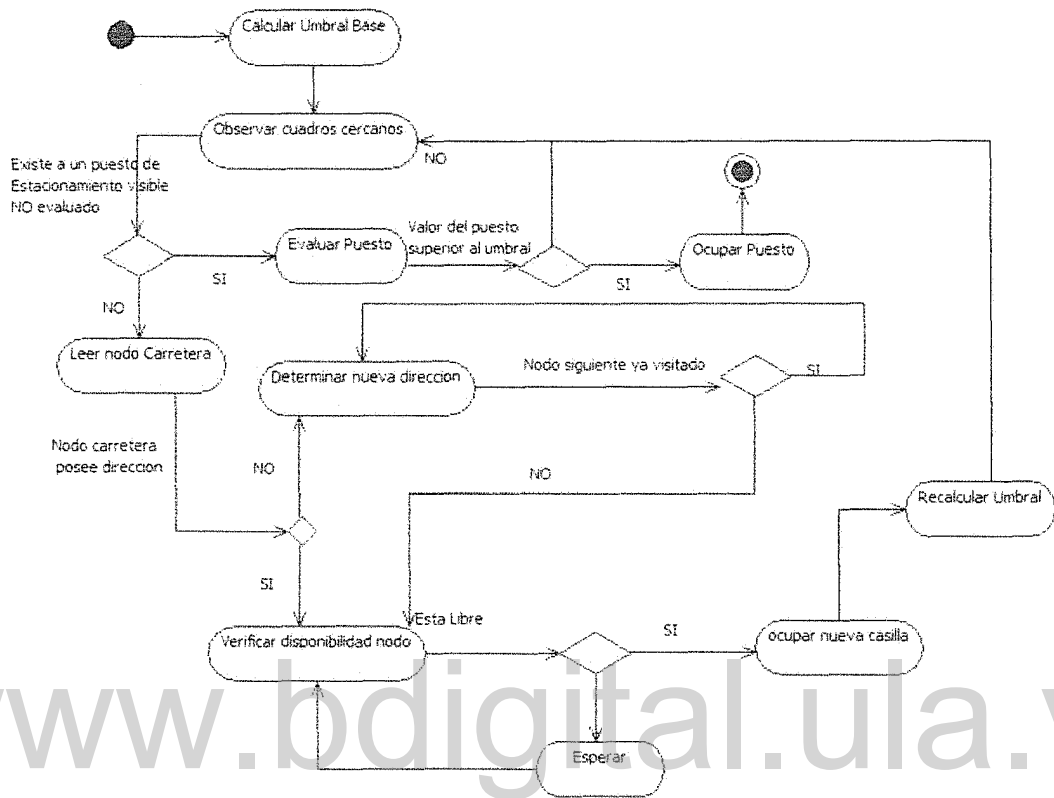


Figura 4 22 Diagrama de actividades para la etapa buscar salida del agente conductor

4.7. Ejemplo de un plano desarrollado con SIME

A continuación, en la figura 4.23 puede observarse un plano de ejemplo desarrollado en SIME.

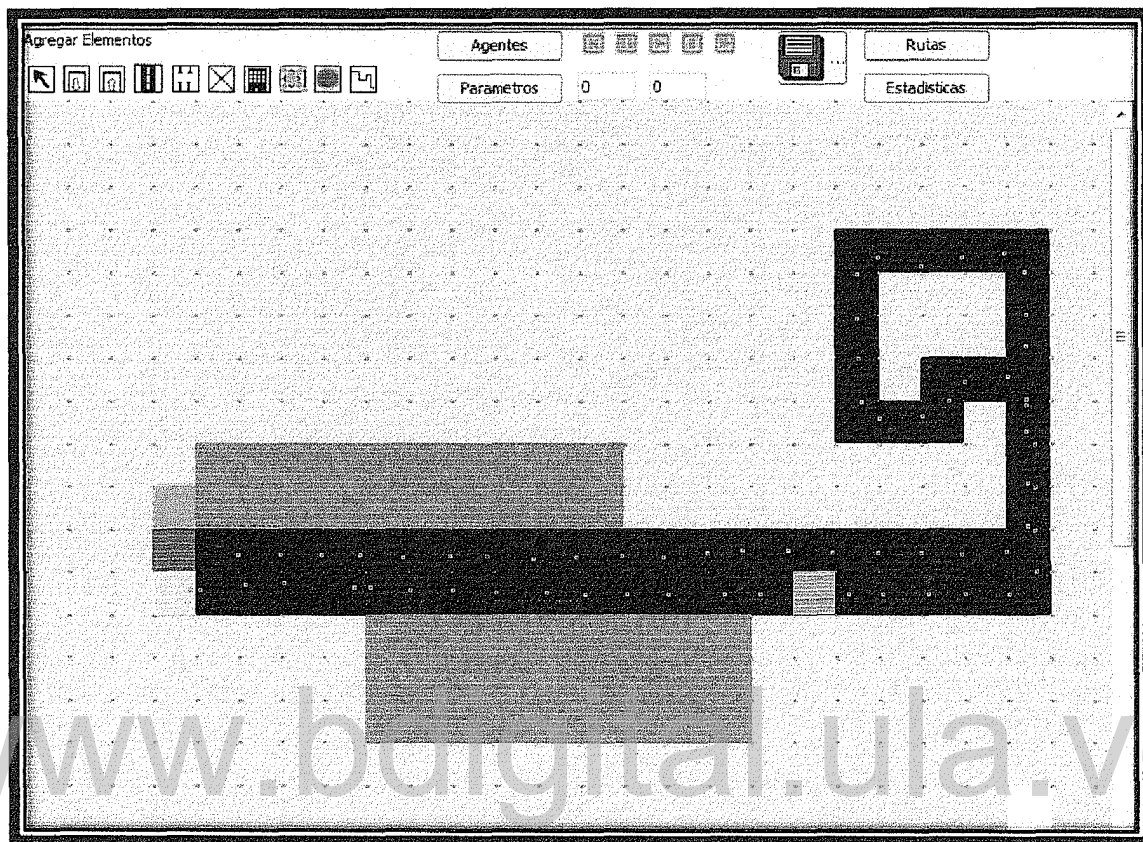


Figura 4 23 Plano de ejemplo desarrollado en SIME

En donde:

Los recuadros en color negro representan nodos de carretera.

Las zonas de color gris oscuro representan zonas de estacionamientos.

Los recuadros amarillos y azules representan nodos de entrada y de salida, respectivamente.

Los recuadros morados y blancos son nodos de espera y de destino, respectivamente.

Los puntos morados sobre los nodos de carretera indican que ese nodo carretera tiene un sentido asociado.

El recuadro blanco indica la entrada al edificio.

4.8. Tiempos de llegada

Para determinar los tiempos de llegada se realizaron conteos manuales de las entradas del edificio C y se procesó la data generada por el programa *Kerisys* utilizado en los brazos mecánicos de las puertas de los edificios A y B. Sin embargo, luego del preprocesado de la información generada por

el sistema se observó que existían ciertos inconvenientes que hacían inviable su uso para la presente investigación, entre los cuales se pueden mencionar:

La hora registrada no corresponde con la realidad.

Muchas fechas de registro corresponden a fechas en donde la UNET no se encontraba laborando.

En el edificio C no está en funcionamiento el brazo mecánico por lo que dichos datos son inútiles para simular este estacionamiento.

Basado en los datos recolectados manualmente durante un lapso de 10 días, se elaboró el histograma de la figura 4.24 en donde se observa la cantidad de vehículos que entraron al estacionamiento en un día, tomados en intervalos de 10 minutos.

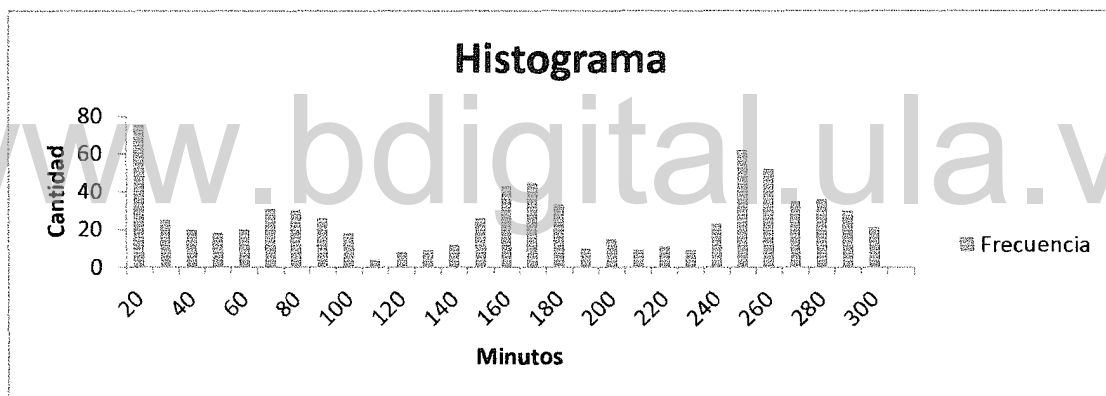


Figura 4 24 Histograma de conductores que ocuparon un lugar en el estacionamiento del edificio C entre las 7:00 am y las 12 m.

A continuación se calculó si dichos valores se ajustan a una de las siguientes distribuciones teóricas normal, uniforme, poisson o exponencial utilizando el programa estadístico SPSS y las pruebas no paramétricas K S, los resultados pueden ser visualizados en las figuras 4.25, 4.26, 4.27 y 4.28.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		VAR00002
N		757
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	156,9749
	Std. Deviation	93,20550
Most Extreme Differences	Absolute	,141
	Positive	,104
	Negative	-,141
Kolmogorov-Smirnov Z		3,876
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000

Figura 4 25 Prueba K S para distribución normal.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test 2

		VAR00002
N		757
Uniform Parameters ^{a,b}	Minimum	5,00
	Maximum	295,00
Most Extreme Differences	Absolute	,139
	Positive	,065
	Negative	-,139
Kolmogorov-Smirnov Z		3,834
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000

Figura 4 26 Prueba K S para distribución uniforme.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test 3

		VAR00002
N		757
Poisson Parameter ^{a,b}	Mean	156,9749
Most Extreme Differences	Absolute	,398
	Positive	,364
	Negative	-,398
Kolmogorov-Smirnov Z		10,961
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000

Figura 4 27 Prueba K S para distribución Poisson.

		VAR00002
N		757
Exponential parameter ^{a,b}	Mean	156,9749
Most Extreme Differences	Absolute	,212
	Positive	,153
	Negative	-,212
Kolmogorov-Smirnov Z		5,831
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000

Figura 4 28 Prueba K S para distribución Exponencial

Como se puede observar, el nivel crítico (Asymp. Sig ó p valor) tiene el valor 0.000 para las 4 pruebas, claramente inferior a α 0.05 (valor que es aceptado como suficiente para indicar que los resultados no son producto del azar) con lo que se puede deducir que estos datos no se pueden ajustar a ninguna de estas distribuciones.

El siguiente paso fue subdividir los datos en intervalos de 2 horas para hacer las pruebas del simulador más manejables, se tomó el intervalo de 7:00 am a 9:00 am (representada entre los minutos 0 y 120) (ver Figura 4.29).

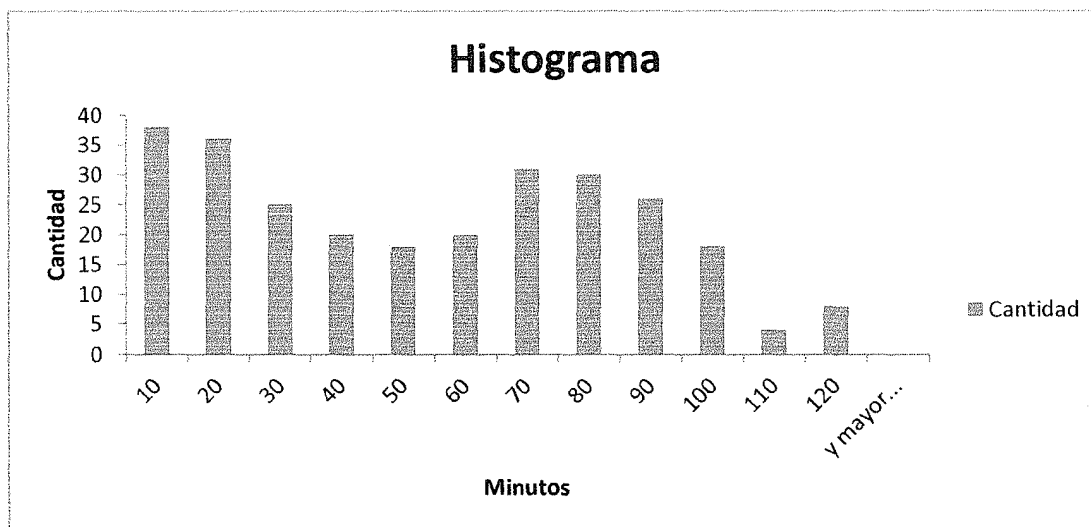


Figura 4 29 Cantidad de llegadas de automóviles entre las 7 y 9 de la mañana.

Igualmente se comprobó si los datos pertenecen a alguna de las siguientes distribuciones probabilísticas: Normal, Uniforme, Poisson o Exponencial. Una vez utilizando la prueba de bondad y ajuste K S disponible en el programa estadístico SPSS Ver Figura 4.30, 4.31, 4.32 y 4.33,

respectivamente.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
		cantidad7a9
N		275
Normal	Mean	49,0727
Parameters ^{a,b}	Std. Deviation	32,18551
Most Extreme	Absolute	,136
Differences	Positive	,136
	Negative	-,115
Kolmogorov-Smirnov Z		2,262
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000

Figura 4 30 Prueba K S para la distribución normal 7 – 9 am

El P valor (Asymp. Sig) es 0.00, inferior a α 0.05, por lo que se puede deducir que no hay ajuste a una distribución Normal.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test 2		
		cantidad7a9
N		275
Uniform	Minimum	5,00
Parameters ^{a,b}	Maximum	115,00
Most Extreme	Absolute	,182
Differences	Positive	,182
	Negative	-,029
Kolmogorov-Smirnov Z		3,015
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000

Figura 4 31 Prueba K S para la distribución uniforme 7 – 9 am

El P valor (Asymp. Sig) es 0.00, inferior a α 0.05, por lo que se puede deducir que no hay ajuste a una distribución Uniforme.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test 3

		cantidad7a9
N		275
Poisson	Mean	49,0727
Parameter ^{a,b}		
Most Extreme	Absolute	,414
Differences	Positive	,414
	Negative	-,409
Kolmogorov-Smirnov Z		6,871
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000

Figura 4 32 K S para la distribución Poisson 7 – 9 am

El P valor (Asymp. Sig) es 0.00, inferior a α 0.05, por lo que se puede deducir que no hay ajuste a una distribución Poisson.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test 4

		cantidad7a9
N		275
Exponential	Mean	49,0727
parameter ^{a,b}		
Most Extreme	Absolute	,172
Differences	Positive	,101
	Negative	-,172
Kolmogorov-Smirnov Z		2,855
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000

Figura 4 33 K S para la distribución Exponencial 7 – 9 am

El P valor (Asymp. Sig) es 0.00, inferior a α 0.05, por lo que se puede deducir que no hay ajuste a una distribución exponencial.

En consecuencia, debido a que no existe un ajuste favorable a una distribución teórica, se creó una distribución empírica para este rango de horas con base en la tabla de frecuencias, tal y como se muestra en la tabla 4.9.

Tabla 4 9 Tabla de frecuencias de la cantidad de automóviles que se estacionan cada 10 min.

VALOR	CANTIDAD	%	% redondeado
0	1	1,92	2,00
1	1	1,92	2,00
2	7	13,46	13,00
3	7	13,46	13,00

4	8	15,38	15,00
5	11	21,15	21,00
6	5	9,62	10,00
7	2	3,85	4,00
8	4	7,69	8,00
10	3	5,77	6,00
12	1	1,92	2,00
15	1	1,92	2,00
19	1	1,92	2,00
Total	52	100.00%	100.00%

4.9. Pruebas de funcionamiento de SIME

Para el desarrollo de SIME se realizaron las pruebas clásicas de caja blanca (de flujo de control y flujo de datos) y caja negra (de cobertura de requisitos) para comprobar su funcionamiento, se midieron los siguientes aspectos:

Para el simulador:

- Que el usuario pueda crear un plano que incluya todos los nodos.
- Que el usuario pueda guardar un plano.
- Que el usuario pueda cargar un plano.
- Que el usuario pueda guardar reglas de agentes.
- Que el usuario pueda cargar reglas de agentes.
- Que el simulador genere entradas.
- Que el tiempo de la simulación aumente correctamente.

En la figura 4.34 se aprecia una instantánea del simulador almacenando un plano en disco duro.

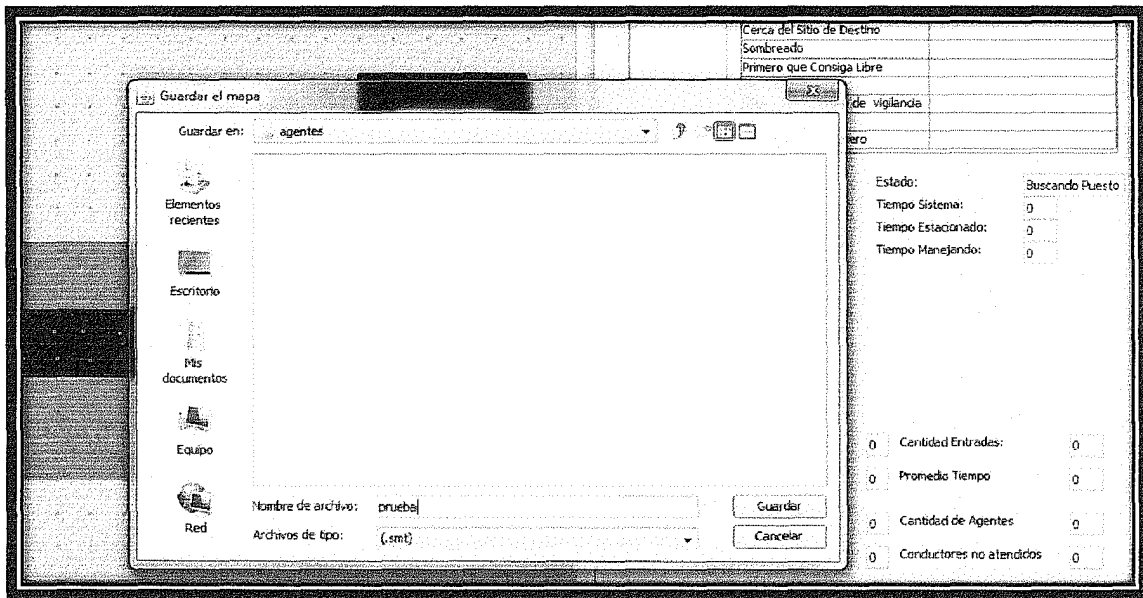


Figura 4 34 Pantalla para almacenar un plano en disco

En la figura 4.35 se aprecia que el simulador genera satisfactoriamente agentes conductores

Cantidad de Estacionados	0	Cantidad Entradas:	10
Cantidad Salidas	0	Promedio Tiempo	NaN
Porcentaje ocupacion	0,0	Cantidad de Agentes	0
Conductores Atendidos	0	Conductores no atendidos	0

Figura 4 35 Tabla de Valores de la simulación en un instante inicial de la misma.

Para el Agente conductor se prueban los siguientes aspectos

- Que el agente se mueva según las premisas explicadas en la sección dedicada a la implementación del agente conductor.
- Que el agente sea capaz de ocupar un puesto.
- Que el agente sea capaz de desocupar un puesto.
- Que el agente elija la mejor opción en un cruce basado en sus limitados conocimientos.
- Que pueda salir del sistema.

En la figura 4.36 se tiene una instantánea de la simulación con un plano de prueba y unos agentes conductores aleatorios.

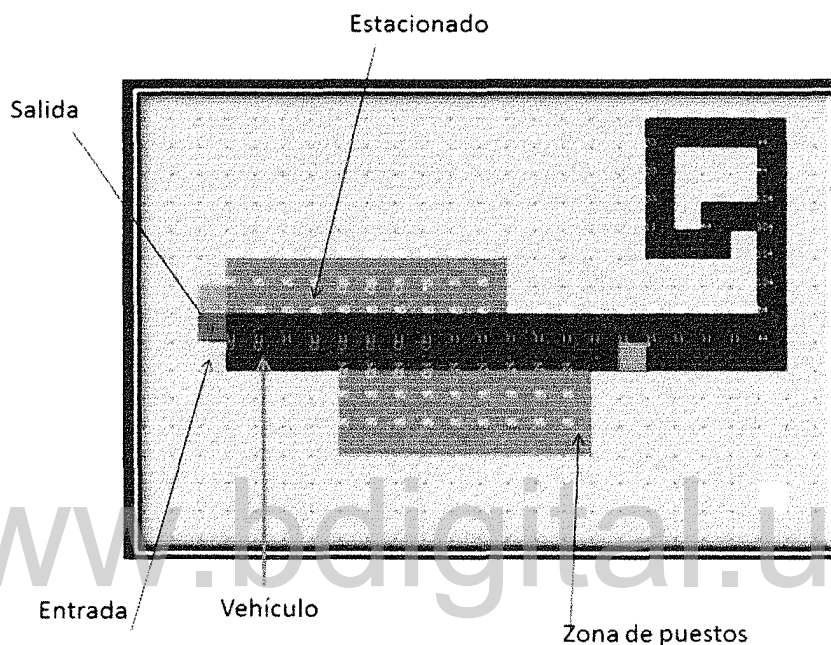


Figura 4.36 Instantánea de la simulación con agentes funcionando.

Se observa que los agentes han hecho un desplazamiento desde el rectángulo Ocre (nodo de entrada) hasta la zona de puestos (recuadros gris oscuro) por los rectángulos de vía demarcados por una ruta (los círculos amarillos sobre los rectángulos negros indican que se está moviendo sobre ellos), otros han ocupado puestos de estacionamiento (aquellos círculos sobre los cuadrados gris oscuro) y un agente se detuvo después de pasar (recuadro púrpura) por un nodo de parada; en términos generales el funcionamiento de estos aspectos es el correcto.

La elección de las rutas puede ser mejorada utilizando una búsqueda en profundidad del camino más corto para el nodo de destino, o como en el caso de la mayoría de los conductores usuarios del estacionamiento a través de una ruta predefinida y preconcebida por el uso diario del mismo, ventajas que los agentes conductores del SIME no poseen porque las creencias de los agentes son generales y no por un puesto predilecto.

4.10. Prueba del simulador para agentes basados en edad

Para probar el simulador se optó primeramente por la opción de subdividir los conductores por rango de edad, para ello se calcularon por grupo de edad los puntajes (promedio obtenido de cada una de las personas encuestadas) de cada una de las reglas según como muestra la tabla 4.10 en base a las encuestas aplicadas y mostradas con anterioridad.

Tabla 4 10 Valores de interés de los agentes por rango de edad para las opciones de selección.

0-25	26-35	35-45	45-adelante
Cerca de la entrada al edificio destino. 7,6	Cerca de la entrada al edificio destino. 7,08	Cerca de la entrada al edificio destino. 6,1	Cerca de la entrada al edificio destino. 7,31
Sombreado(sin importar la distancia a caminar) 6,64	Sombreado(sin importar la distancia a caminar) 6	Fácil estacionar 5,97	Fácil estacionar 5,69
Primero que consiga libre 5,77	Fácil estacionar 5,85	Sombreado(sin importar la distancia a caminar) 5,63	Sombreado(sin importar la distancia a caminar) 5,56
Fácil estacionar 5,27	Primero que consiga libre 5,44	Fácil de salir 4,93	Primero que consiga libre 4,94
Cerca de un puesto de vigilancia 5,1	Fácil de salir 4,88	Primero que consiga libre 4,67	Fácil de salir 4,94
Fácil de salir 4,37	Cerca de un puesto de vigilancia 4,04	Cerca de un puesto de vigilancia 4,1	Cerca de un puesto de vigilancia 3,25
Dar una vuelta primero antes de decidir 3,74	Dar una vuelta primero antes de decidir 2,79	Dar una vuelta primero antes de decidir 2,7	Dar una vuelta primero antes de decidir 3,25

Lejos del destino, (ejercitarse, otros)	2,37	Lejos del destino, (ejercitarse, otros)	2,25	Lejos del destino, (ejercitarse, otros)	2,33	Otro	2,38
Otro	2,33	Otro	1,58	Otro	1,6	Lejos del destino, (ejercitarse, otros)	2,06

4.10.1. Configuración de los puestos del edificio C

Para probar el simulador fueron creadas 4 zonas de estacionamientos:

Zona 1

Cantidad de puestos: 36.

Nivel de luz: Soleado.

Dificultad Entrada: 5.

Dificultad Salida: 5.

Tamaño de los puestos: 3x5 mts.

Tipo de puesto: Vertical.

Zona 2

Cantidad de puestos: 31.

Nivel de luz: Soleado.

Dificultad Entrada: 5.

Dificultad Salida: 5.

Tamaño de los puestos: 3x5 mts.

Tipo de puesto: Vertical.

Zona 3

Cantidad de puestos: 30.

Nivel de luz: Soleado.

Dificultad Entrada: 5.

Dificultad Salida: 8.

Tamaño de los puestos: 3x5 mts.

Tipo de puesto: Vertical.

Zona 4

Cantidad de puestos: 31.

Nivel de luz: Soleado.

para determinar la diferencia entre ellos dos, los valores son ilustrados en la figura 4.44.

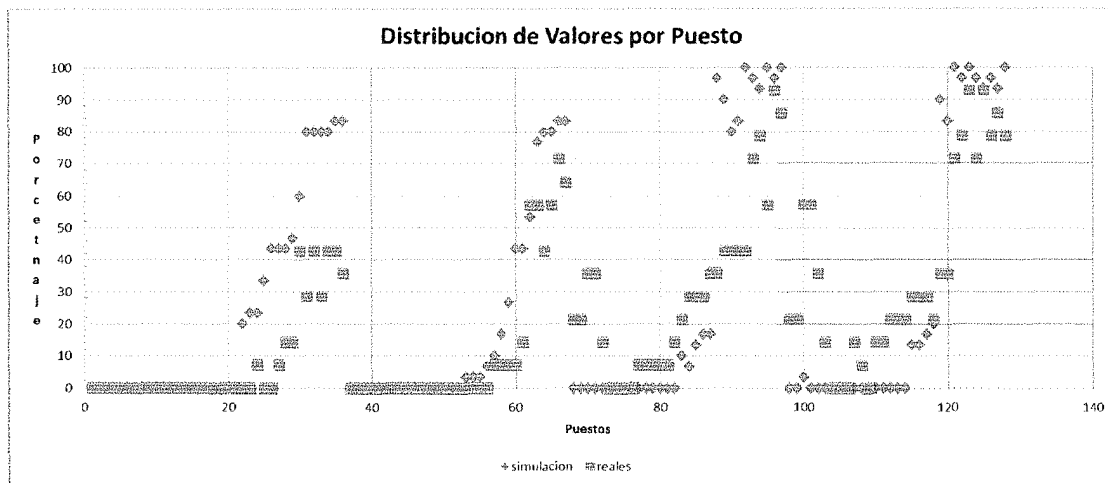


Figura 4 44 Valores de porcentajes de ocupación por cada puesto para la simulación y por observación directa en rango de tiempo 8:00 am a 8:15 am

Cada valor del eje x representa un puesto dentro del estacionamiento y el valor del eje y el porcentaje de ocupación. Con base en esto es posible calcular un error promedio de porcentaje de ocupación, que es el promedio de las diferencias entre el porcentaje de ocupación real y el porcentaje de ocupación de la simulación de todos los puestos del estacionamiento. Este cálculo arrojó un valor de 15,1302%, lo que en opinión del autor podría ser atribuible a los siguientes factores:

- Entre los datos tomados originalmente para el diseño de la simulación se consideraron: cantidad de entradas y cantidad de salidas, pero no el puesto que un carro en particular ocupaba, este dato sería considerado en la fase de pruebas del simulador. Lamentablemente en los días previos a realizar las pruebas del simulador un hecho fortuito acontecido en la UNET cambió las preferencias de los usuarios que utilizan el estacionamiento, ocasionando que el factor “cerca de un puesto de vigilancia” adquiriera mayor relevancia que el factor “cerca del edificio de destino”
- Los agentes simulados no tienen una visión completa del estacionamiento, de hecho no se plantea en ningún momento que un agente tenga un puesto “favorito” del cual él conozca su ubicación.

4.11. Prueba de un ambiente con agentes visitantes.

Para probar el funcionamiento del estacionamiento se tomó en cuenta el mismo plano creado para la sección 4.9.1 con la configuración de agentes de la tabla 4.11, se plantea un tiempo de estacionado también de 100 minutos, una proporción de 70% vehículos que entran a dejar pasajeros y 30 % de vehículos que entran a estacionarse con edades comprendidas entre 26 y 35 años,

Tabla 4 11 Configuración de agentes para prueba de visitantes.

Vehículo que deja pasajeros		Vehículo que entra a estacionarse	
Cerca de la entrada al edificio destino.	0	Cerca de la entrada al edificio destino.	7,08
Sombreado(sin importar la distancia a caminar)	0	Sombreado(sin importar la distancia a caminar)	6
Primero que consiga libre	0	Fácil estacionar	5,85
Fácil estacionar	0	Primero que consiga libre	5,44
Cerca de un puesto de vigilancia	0	Fácil de salir	4,88
Fácil de salir	0	Cerca de un puesto de vigilancia	4,04
Dar una vuelta primero antes de decidir	9	Dar una vuelta primero antes de decidir	2,79
Lejos del destino, (ejercitarse, otros)	0	Lejos del destino, (ejercitarse, otros)	2,25

De acuerdo a lo observado en la fase de recolección de datos al estacionamiento se configuró el simulador para generar agentes según la tabla 4.12.

Tabla 4 12 Cantidad de Agentes generados prueba de visitantes.

Cantidad de agentes	Probabilidad de ocurrencia
19	50 %
10	25%
5	25%

En la figura 4.45 se aprecia una instantánea del funcionamiento del simulador SIME para la prueba de visitantes. Como se puede apreciar se forma una cola por la existencia de *nodos de parada* y agentes que lo utilizan. Los recuadros gris oscuro representan puestos de estacionamiento, los recuadros negros son las vías de circulación, el recuadro morado representa el nodo de parada y los recuadros pequeños amarillos los vehículos.

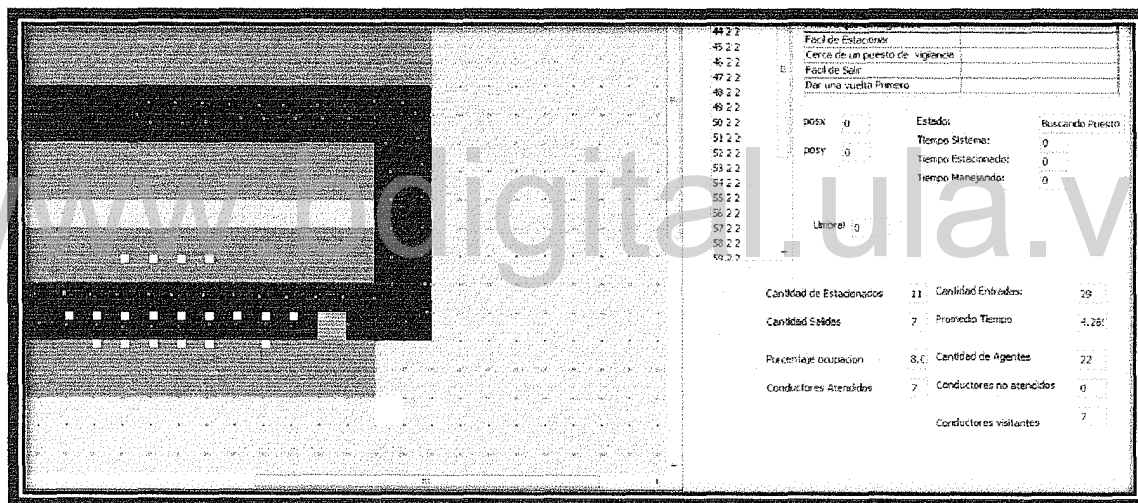


Figura 4.45 Funcionamiento del SIME para la prueba de visitantes

4.12. Pruebas con otro estacionamiento

A efectos de comprobar la posibilidad de extrapolación y ajuste del sistema a otro estacionamiento, se decidió realizar una nueva prueba en la que se seleccionó el estacionamiento del edificio de la biblioteca de la universidad, el cual cuenta con una distribución de puestos como se muestra en la figura 4.46.

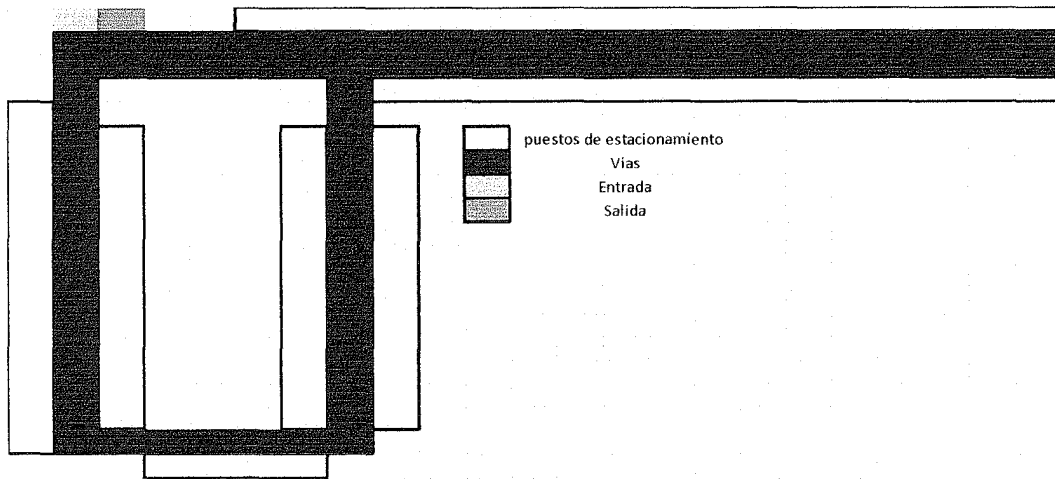


Figura 4 46 diagrama del estacionamiento del edificio B

La disposición de los puestos fue diagramada como se muestra en la figura 4.47, este estacionamiento cuenta con una capacidad de 91 puestos con una zona sombreada de 13 puestos y cuatro posibles entradas a diversos edificios, cabe destacar que en este plano en particular no se predeterminó una ruta.

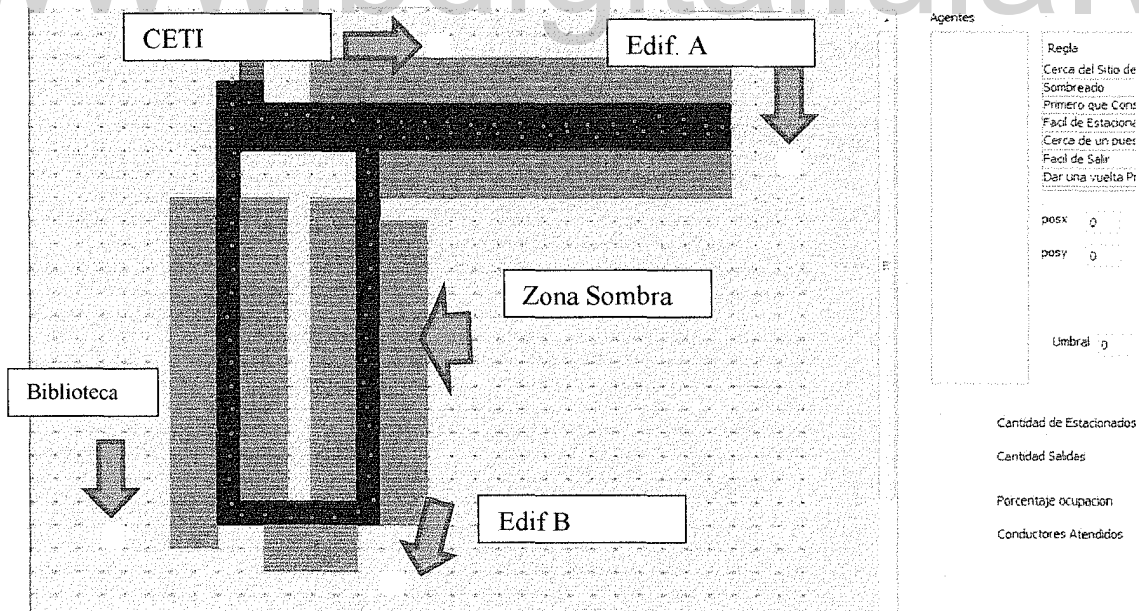


Figura 4 47 Esquema del estacionamiento de biblioteca dentro del simulador

El plano será probado con una distribución de entrada de automóviles empírica basada en observaciones de entrada que se realizaron a dicho lugar, los resultados son:

- 25% de probabilidad que lleguen 5 carros en 10 minutos.
- 25% de probabilidad que lleguen 6 carros en 10 minutos.
- 25% de probabilidad que lleguen 12 carros en 10 minutos.
- 25% de probabilidad que lleguen 14 carros en 10 minutos.

Con base en las observaciones del estacionamiento se determinó cuáles eran los puestos favoritos, éstos son mostrados en la figura 4.48 en color verde.

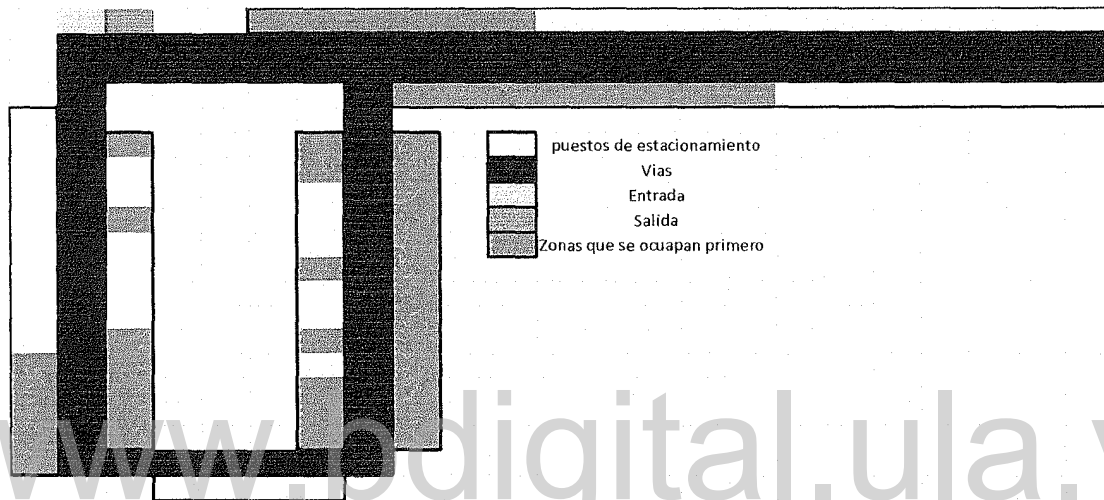


Figura 4 48 puestos más usados en el estacionamiento de la Biblioteca

En la figura 4.49 se observa una instantánea del simulador funcionando bajo esta configuración con un tiempo transcurrido de 58 minutos.

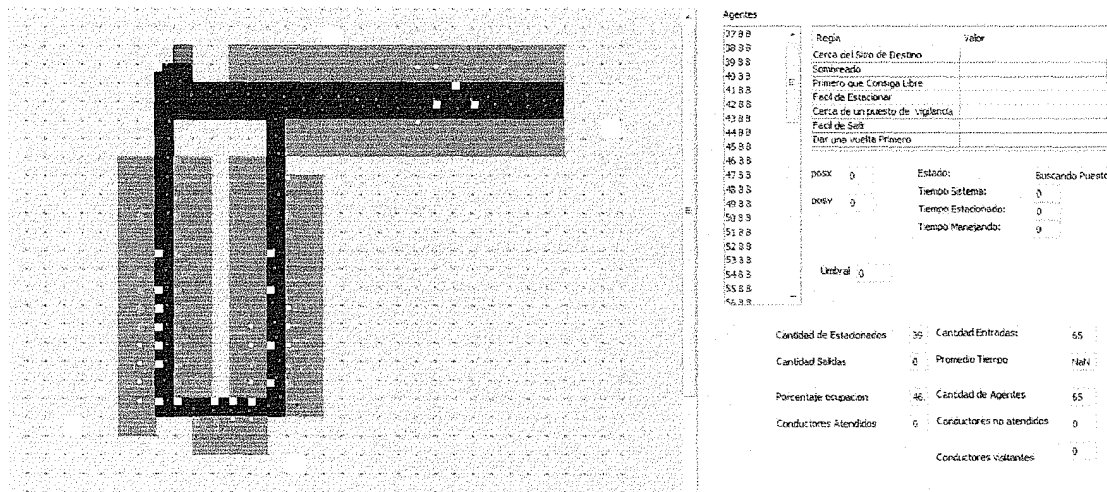


Figura 4 49 Instantánea del Simulador t=58

En la figura 4.50 se pueden ver los puestos con mayor valoración, donde el color más oscuro representa los puestos más ocupados. En la figura 4.51 se observa la discrepancia que existe entre el

porcentaje de ocupación simulado y el observado con la acotación que es sólo un ejemplo de prueba del simulador. No se realizó un estudio a profundidad de todas las aristas del estacionamiento como por ejemplo distribución de los diferentes agentes, pero aun así se arrojó una luz de cuáles son los mejores puestos, los cuales coinciden con la selección de los conductores reales.

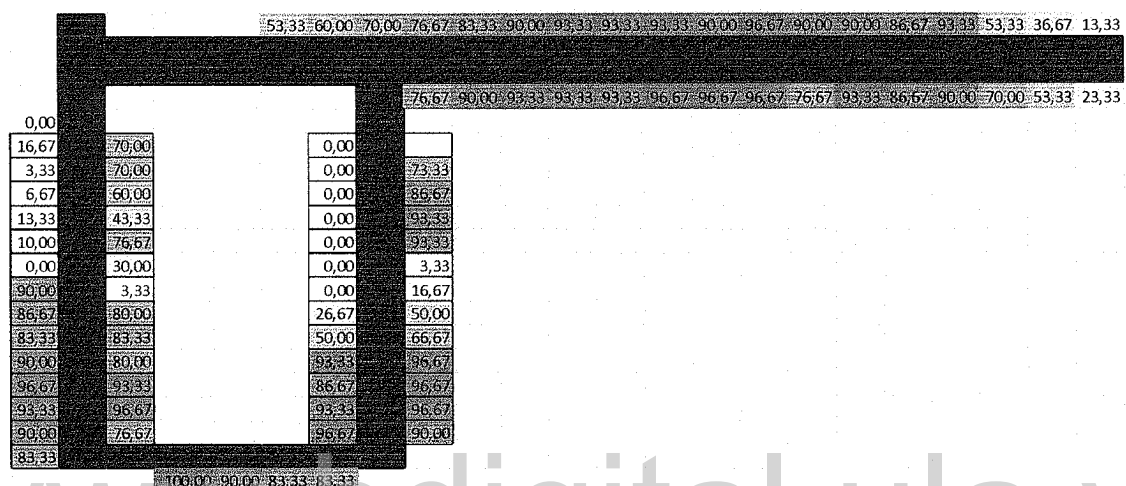


Figura 4 50 Porcentaje de ocupación de cada puesto en la simulación

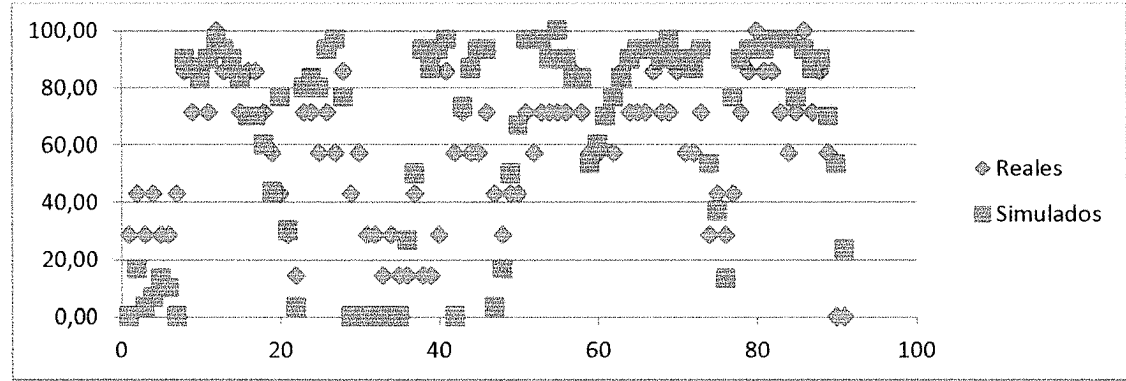


Figura 4 51 Porcentaje de ocupación de cada puesto simulado vs el observado

4.13. Desempeño de los agentes

4.13.1. Porcentaje de agentes que logran estacionarse:

Como se menciona en la sección 3.2.1 el porcentaje de agentes que logran estacionarse proporciona una guía para conocer en qué medida los agentes logran cumplir su objetivo dentro de la simulación; normalmente un agente no logra cumplir su objetivo por dos causas: no existe ningún

puesto disponible o los puestos que existen no satisfacen al agente (nivel de interés del agente muy alto). Cabe destacar que dicho grado de satisfacción comienza en el valor más alto observado y va en decremento a medida que el agente permanece en el plano simulado según el proceso de la sección 4.6.1; para el plano de la figura 4.48 la simulación arrojó que el 58% de los agentes lograron estacionarse (Figura 4.52).

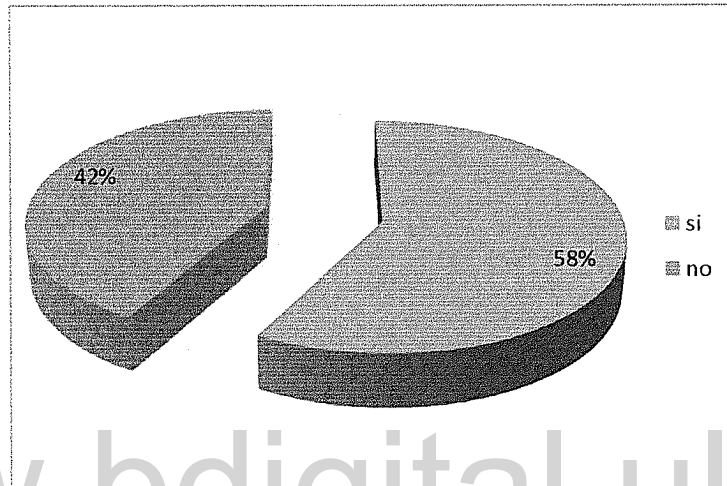


Figura 4.52 Porcentaje de agentes que logran o no estacionarse.

4.13.2. Promedio de diferencia del valor de interés del agente con respecto al puesto utilizado (PDIU) :

En este caso, para cada agente se calcula la diferencia que existió entre su valor de interés y el puesto que en realidad ocupó dentro de la simulación, posteriormente se obtiene el promedio de estas diferencias, que en otras palabras se pudiese entender como el promedio de insatisfacción de los agentes con sus puestos, en la figura 4.53 se ve una instantánea del simulador determinando este valor para todos los agentes que lograron ocupar un puesto para el plano de la figura 4.48.

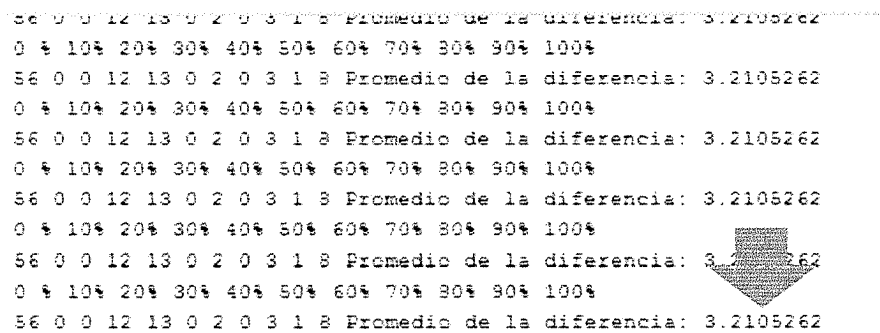


Figura 4.53 Cálculo del PDIU por parte del SIME

En el mismo orden de ideas para conocer la distribución de las diferencias entre el valor de interés esperado y el obtenido, se calculó:

- Para todos los agentes la diferencia entre su valor de interés y el valor del puesto que ocupó.
- Se determina la mayor diferencia entre todos los agentes.
- Se divide cada diferencia entre la diferencia mayor.
- Se agrupan los agentes por dicha cantidad.

La figura 4.54 se puede observar la distribución de los agentes según lo anteriormente indicado,

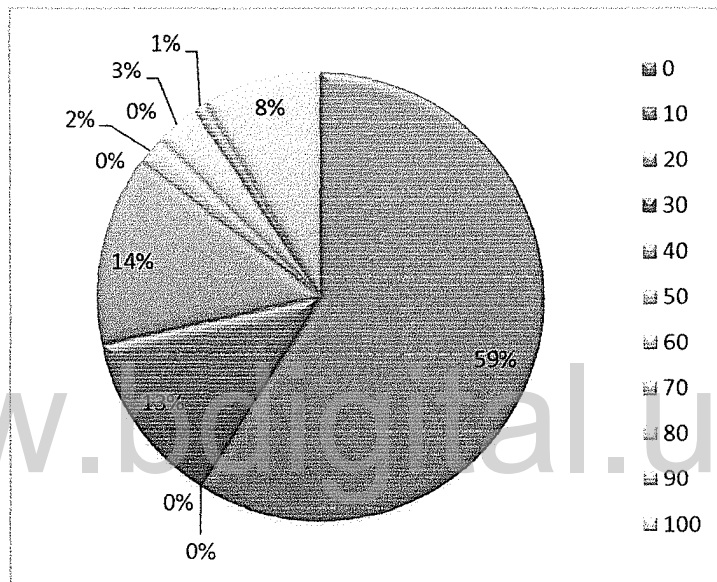


Figura 4.54 Distribución de los agentes en cuanto a la diferencia porcentual con respecto a su mejor valor posible y su valor ocupado

4.14. Pruebas de variación de variables de agentes

El objetivo de estas pruebas es el de modificar las variables de configuración de los agentes para evaluar su desempeño dentro de los entornos de simulación.

4.14.1. Agente que da una vuelta primero.

Para esta prueba se creó un tipo de agente conductor con la configuración de la tabla 4.13, con lo que se espera que el agente no estacione inmediatamente sino que decida mirar el entorno antes de ocupar el puesto, Para lograrlo todas sus variables de interés se colocan en el valor más bajo (cero) y luego la variable de dar una vuelta primero en el valor más alto (nueve).

Tabla 4.13 configuración agente dar una vuelta

Agente dar una vuelta	
Cerca de la entrada al edificio destino.	0
Sombreado(sin importar la distancia a caminar)	0
Primero que consiga libre	0
Fácil estacionar	0
Cerca de un puesto de vigilancia	0
Fácil de salir	0
Dar una vuelta primero antes de decidir	9

El resultado de esta simulación se puede observar en la figura 4.55 donde se aprecia que los puestos más ocupados son aquellos que se encuentran al final del estacionamiento, que es cuando los agentes han bajado su valor de interés en los puestos.

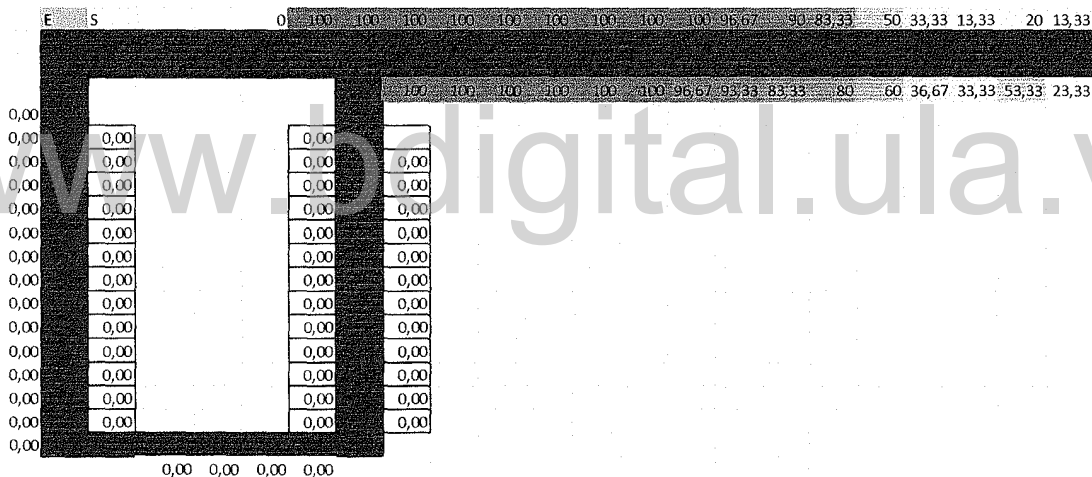


Figura 4 55 Resultado de la simulación agente dar una vuelta primero

4.14.2. Agente primero que consiga libre.

Para esta prueba se creó un tipo de agente conductor con la configuración de la tabla 4.14, con lo que se espera que el agente estacione inmediatamente, para lograrlo todas sus variables de interés se colocan en el valor más bajo (cero) y luego la variable de primero que consiga libre en el valor más alto (nueve).

Tabla 4 14 configuración agente primero que consiga libre

Agente primero que consiga libre	
Cerca de la entrada al edificio destino.	0
Sombreado(sin importar la distancia a caminar)	0

Primero que consiga libre	9
Fácil estacionar	0
Cerca de un puesto de vigilancia	0
Fácil de salir	0
Dar una vuelta primero antes de decidir	0

El resultado de esta simulación se observa en la figura 4.56 donde se puede apreciar que los puestos más ocupados son aquellos que se encuentran al principio del estacionamiento.



Figura 4.56 Resultado de la simulación agente primero que consiga libre

4.14.3. Agente Sombreado.

Para esta prueba se creó un tipo de agente conductor con la configuración de la tabla 4.15, con lo que se espera que el agente estacione solo en puestos soleados, para lograrlo todas sus variables de interés se colocan en el valor más bajo (cero) y luego la variable de sombreado en el valor más alto (nueve).

Tabla 4.15 configuración agente primero que consiga libre

Agente Sombreado	
Cerca de la entrada al edificio destino.	0
Sombreado(sin importar la distancia a caminar)	9
Primero que consiga libre	0
Fácil estacionar	0
Cerca de un puesto de vigilancia	0
Fácil de salir	0
Dar una vuelta primero antes de decidir	0

El resultado de esta simulación se observa en la figura 4.57 donde se puede apreciar que los puestos más ocupados son justamente aquellos con la característica sombreado, luego de conseguir estos puestos y al no poder utilizarlos el agente acepta usar puestos sin esta característica.

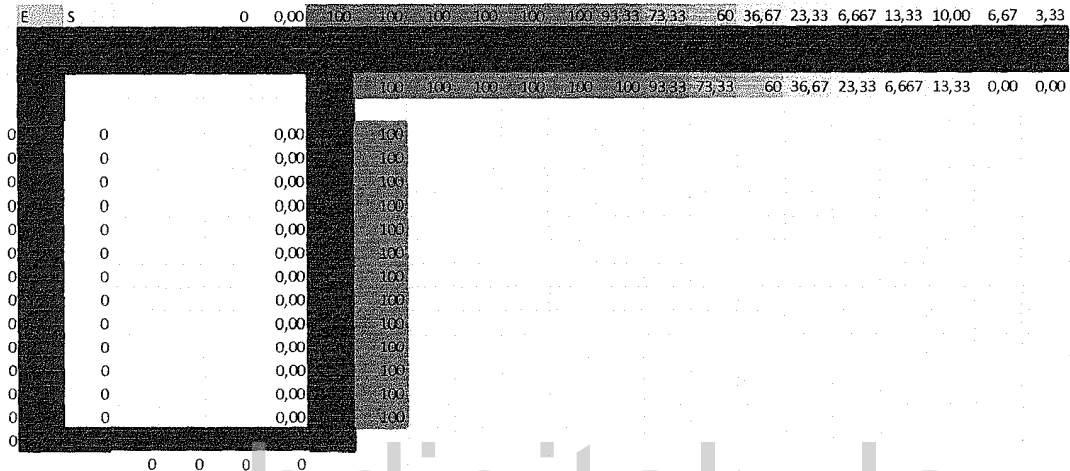


Figura 4.57 Resultado de la simulación agente sombreado

4.14.4. Agente primero libre y Sombreado.

Para esta prueba se creó un tipo de agente conductor con la configuración de la tabla 4.16, con interés en dos aspectos: primero que consiga libre y puesto sombreado, todos los demás aspectos en cero.

Tabla 4.16 configuración agente primero que consiga libre y sombreado

Agente primero que consiga libre y sombreado	
Cerca de la entrada al edificio destino.	0
Sombreado(sin importar la distancia a caminar)	9
Primero que consiga libre	9
Fácil estacionar	0
Cerca de un puesto de vigilancia	0
Fácil de salir	0
Dar una vuelta primero antes de decidir	0

El resultado de esta simulación se observa en la figura 4.58 donde se puede apreciar que los puestos más ocupados son justamente los puestos con la característica sombreado y neutros que se encuentran próximos, luego de sobrepasar esta zona el agente acepta usar puestos sin esta

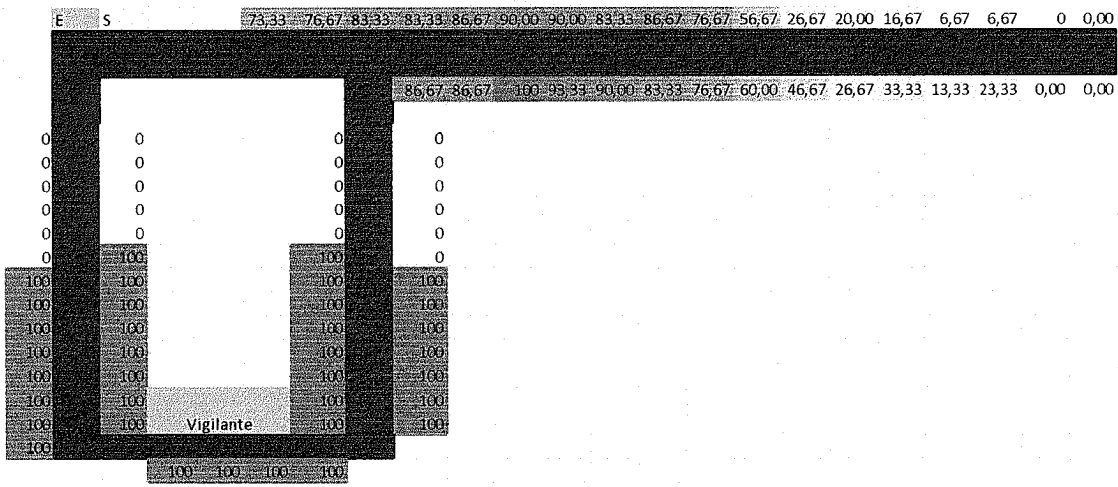


Figura 4 59 Resultados simulación puesto de vigilancia

4.14.6. Agente Cerca de un puesto de vigilancia y del edificio de destino.

Para esta prueba se creó un tipo de agente conductor con la configuración de la tabla 4.18, con interés en dos aspectos: cerca del edificio de destino y cerca de un puesto de vigilancia, todas las demás variables en cero.

Tabla 4 18 configuración Agente Cerca de un puesto de vigilancia y del edificio de destino.

Agente Cerca de un puesto de vigilancia y del edificio de destino	
Cerca de la entrada al edificio destino.	9
Sombreado(sin importar la distancia a caminar)	0
Primero que consiga libre	0
Fácil estacionar	0
Cerca de un puesto de vigilancia	9
Fácil de salir	0
Dar una vuelta primero antes de decidir	0

El resultado de esta simulación se observa en la figura 4.60 donde se puede apreciar que los puestos más ocupados son los más cercanos a las entradas y a la zona de vigilancia simultáneamente.

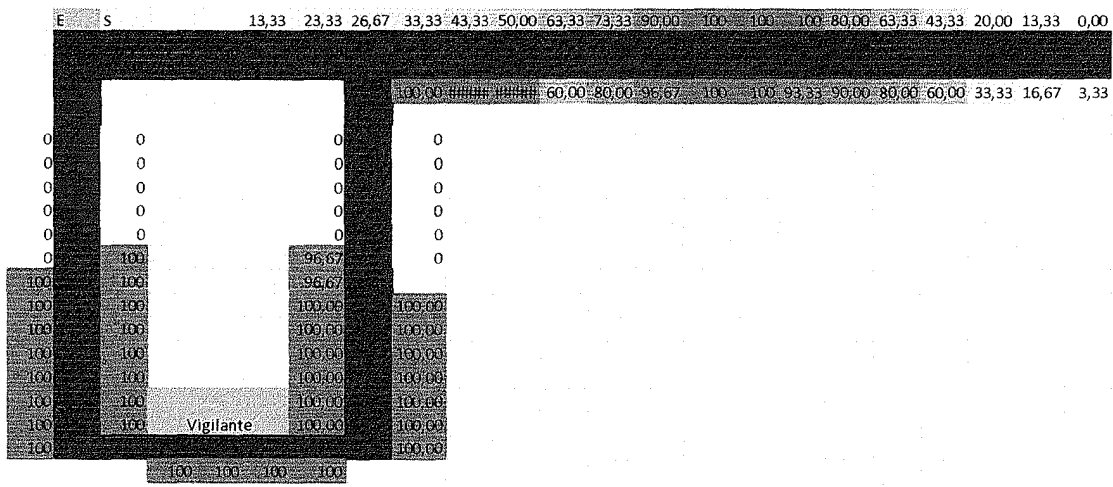


Figura 4 60 Resultados simulación Agentes cerca del edificio de destino y cerca de un puesto de vigilancia

www.bdigital.ula.ve

Capítulo 5. Discusión y análisis de resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la investigación, discriminados de acuerdo a los objetivos planteados.

5.1. Analizar los requerimientos del simulador.

Fue cumplido en su totalidad, se determinó que era necesaria una interfaz gráfica que permitiera al usuario crear un bosquejo del estacionamiento en el cual se pudiera:

- Crear nodos para generar agentes.
- Crear nodos donde el agente pueda desplazarse.
- Crear nodos donde el agente pueda estacionarse.
- Crear agentes con sus distintas reglas.
- Crear nodos de parada para dejar visitantes.
- Configurar las reglas de cada tipo de agente.
- Permitir llevar un control del tiempo y la simulación.
- Visualizar resultados de la simulación.
- Hacer uso de agentes para determinar cómo se usará un bosquejo de estacionamiento.

5.2. Elaborar los modelos que soporten al simulador.

Para los agentes conductores del simulador se tiene que:

- Cada agente pertenece a un tipo de agente.
- El plano se basa en filosofía de nodos.
- Los tipo de agente contienen:
 - Valor para cada factor de selección de un puesto.
 - Probabilidad de detenerse en un nodo de parada.
 - Habilidad para estacionarse.
 - Proporción dentro de la población total.

Para el simulador fue necesario establecer una fórmula (fórmula 4.1) que permitiese evaluar un puesto con base en los factores previamente establecidos.

5.3. Elaborar las reglas que regirán a los distintos tipos de agentes.

Con base en la aplicación de los instrumentos entrevista y observación directa se tiene que:

Para la selección del puesto los factores tomados fueron:

- Cerca de la entrada al edificio destino.
- Sombreado (sin importar la distancia a caminar)
- Fácil estacionar.
- Lejos del destino (ejercitarse, otros)
- Cerca de un puesto de vigilancia.
- Primero que consiga libre.
- Dar una vuelta primero antes de decidir.
- Fácil de salir.

La selección del mejor puesto se realizó bajo las siguientes premisas:

- Se selecciona el mejor valor posible del estacionamiento, éste será el objetivo principal del agente.
- Si el mejor puesto posible está ocupado por otro agente, el agente disminuye su umbral en un 50% con el fin de poder seleccionar puestos de menor interés.
- Si el tiempo es muy grande (para esta investigación se consideró un lapso de 3 minutos, aunque es un valor configurable) dentro del sistema y no ha seleccionado un puesto entonces se disminuye el umbral gradualmente por cada unidad de tiempo.

El movimiento del agente conductor presenta problemas con las calles de un solo canal en doble vía cuando se consigue a otro agente que va en sentido contrario, en este caso el agente debería retroceder, sin embargo si hay una cola de agentes detrás de él esta acción no será posible lo que ocasiona embotellamiento de tráfico. Esta situación es atribuible a un mal diseño del estacionamiento del caso de estudio.

5.4. Desarrollar prototipos de aplicación.

Los prototipos desarrollados están explicados y nombrados en el capítulo 3 así como también su desarrollo en el capítulo 4. Logrando una aplicación que es capaz de brindar una visión muy general del comportamiento del estacionamiento. En el anexo 2 se puede ver el código fuente hecho en java de las rutinas más importantes.

5.5. Verificar los modelos del simulador.

Realizadas las pruebas de caja negra y caja blanca de la aplicación. Se obtiene que:

- Se generan los agentes conductores por parte del objeto simulador con base en una distribución probabilística o una distribución empírica.
- Los nodos cumplen su objetivo.
- El movimiento de los agentes conductores es correcto, no se tienen solapamientos de casillas.
- Cada agente conductor elige la ruta más corta para obtener su salida desde un nodo puesto o después de detenerse en un nodo parada.
- Cada agente conductor espera dentro del puesto de estacionamiento durante su tiempo en el estado estacionado, una vez finalizado dicho tiempo no saldrá a un nodo carretera mientras no exista una casilla libre que pueda ocupar.
- Al llegar a un nodo salida los agentes salen satisfactoriamente,
- Se totaliza correctamente la cantidad de entradas al sistema, las salidas, el porcentaje de puestos ocupados, la cantidad de agentes conductores estacionados y en movimiento.
- Se puede almacenar y recuperar satisfactoriamente tanto planos como características de tipos de agentes.
- Los agentes son capaces de tomar una decisión en un cruce de vías.
- La selección de los puestos se hace correctamente en base al umbral de cada agente conductor.
- Cada puesto obtiene correctamente un valor de la fórmula 4.1
- Permite visualizar cuándo un plano está mal diseñado ilustrando zonas en donde los agentes conductores pueden quedar atascados.

5.6. Validar el caso de estudio haciendo uso del simulador.

En el capítulo 4 se explicó paso a paso como se realizó una simulación con datos reales de un estacionamiento de la Universidad Nacional Experimental del Táchira. Donde se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 5.1

Tabla 5.1 Datos de entradas y salidas después de 30 simulaciones para el estacionamiento C de la UNET.

cantidad entradas		cantidad salidas	
Media	65,9	Media	11,66666667
Error típico	2,04902556	Error típico	1,131912564
Mediana	65,5	Mediana	13,5
Moda	83	Moda	14
Desviación estándar	11,2229752	Desviación estándar	6,199740447
Varianza de la muestra	125,9551724	Varianza de la muestra	38,43678161
Curtosis	-1,143630586	Curtosis	-0,272287421
Coefficiente de asimetría	0,251556031	Coefficiente de asimetría	-0,770895005
Rango	37	Rango	21
Mínimo	49	Mínimo	0
Máximo	86	Máximo	21
Suma	1977	Suma	350
Cuenta	30	Cuenta	30

Los datos de automóviles que entraron y salieron del estacionamiento entre las 7:00 am y las 9:00 am durante un lapso de 14 días fueron totalizados y se presentan en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Datos de entradas y salidas recolectados en el estacionamiento C de la UNET.

cantidad entradas		cantidad salidas	
Media	63	Media	9,35714286
Error típico	3,09554803	Error típico	1,75288504
Mediana	66,5	Mediana	11,5
Moda	68	Moda	16

Desviación estándar	11,5824801	Desviación estándar	6,55869526
Varianza de la muestra	134,153846	Varianza de la muestra	43,0164835
Curtosis	0,04340522	Curtosis	- 1,52975492
Coefficiente de asimetría	- 0,52673671	Coefficiente de asimetría	- 0,41440737
Rango	43	Rango	17
Mínimo	40	Mínimo	0
Máximo	83	Máximo	17
Suma	882	Suma	131
Cuenta	14	Cuenta	14

A continuación es necesario comprobar que las variables de entrada y de salida que arroja el simulador se comportan de manera similar a las obtenidas por la recolección de datos, para ello es usado el paquete estadístico SPSS con la prueba estadística t-student para comprobar la hipótesis $H_0: \mu_1 = \mu_2$.

Donde μ_1 es utilizada para la cantidad de agentes conductores que entraron a la simulación.

Donde μ_2 es utilizada para la cantidad de conductores que entraron al estacionamiento.

En la tabla 5.3 se muestran los resultados de aplicar la prueba K-S para las variables de entrada y de salida, tanto reales como simuladas.

Tabla 5.3 Prueba Kolmogorov-Smirnov para los datos de entrada y salida del estacionamiento C de la UNET

		entradasimul	salidasimul	entradareal	salidareal
N		30	30	14	14
Normal	Mean	65,9	11,6667	63	9,3571
Parameters ^{a,b}	Std. Deviation	11,22298	6,19974	11,58248	6,5587
Most	Absolute	0,131	0,221	0,167	0,17
Extreme	Positive	0,131	0,107	0,147	0,137
Differences	Negative	-0,07	-0,221	-0,167	-0,17
Kolmogorov-Smirnov Z		0,716	1,213	0,625	0,637
Asymp. Sig. (2-tailed)		0,685	0,105	0,83	0,811

Como los valores de Asymp Sig 2 colas (p valor) son mayores a un $\alpha=0.05$ (0.685 para las entradas simuladas, 0.105 para las salidas simuladas, 0.83 para las entradas reales y 0.811 para las salidas reales), se puede pensar que no existen razones para sospechar que no se cumpla con el principio de normalidad.

Para comprobar si la hipótesis nula: "las medias de las entradas pertenecen a una misma distribución" se aplicó una prueba t utilizando el programa estadístico SPSS, los resultados se encuentran en la tabla 5.4

Tabla 5 4 Prueba t para la variable de entradas al sistema

		Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	the Difference	
									Lower	Upper
Entradas	Equal variances assumed	,049	,827	-,790	42	,434	-2,90000	3,66894	-10,30423	4,50423
	Equal variances not assumed			-,781	24,757	,442	-2,90000	3,71227	-10,54936	4,74936

Como el valor de "Sig" 0.827 de las varianzas es mayor que $\alpha = 0.05$ se puede asumir que las varianzas son iguales por lo que se evalúa el renglón "sig 2 colas" que es 0.434 el cual también es mayor que $\alpha = 0.05$, con lo que se puede concluir que no existen razones para pensar que existen diferencias significativas entre las medias de estas 2 variables.

Para la variable de salida se aplicó el mismo procedimiento. Ver tabla 5.5

Tabla 5 5 Prueba t para la variable de salidas al sistema

		Equality of		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	the Difference	
									Lower	Upper
salidas	Equal variances assumed	,671	,417	-1,130	42	,265	-2,30952	2,04333	-6,43314	1,81409
	Equal variances not assumed			-1,107	24,215	,279	-2,30952	2,08658	-6,61400	1,99496

Como el valor de “Sig” 0.417 de las pruebas de varianzas es mayor que $\alpha = 0.05$ se puede asumir de varianzas iguales por lo que se evalúa el renglón de “sig 2 colas” (p valor) con varianzas iguales que es 0.265 que también es mayor a $\alpha = 0.05$ con lo que se concluye que no existen razones para pensar que existen diferencias significativas en las medias de estas 2 variables.

Una vez comprobado estadísticamente que no existen diferencias significativas entre los datos obtenidos por las simulaciones y los recolectados en el estudio de campo se puede afirmar que el simulador se ajusta correctamente para la generación de entradas y salidas en el caso de estudio estacionamiento del edificio C en el horario comprendido entre las 7:00 am y las 9:00 am.

Al existir correspondencia entre los datos de entrada y de salida generados por el simulador y los obtenidos en las observaciones de campo es factible afirmar que los resultados de la simulación son confiables y por lo tanto permitirá visualizar el funcionamiento del estacionamiento configurado con una cantidad real de vehículos, contribuyendo así con la visualización y optimización de las configuraciones.

Para evaluar el comportamiento de los agentes, en las pruebas de la sección 4.14 estos se configuraron con diferentes valores iniciales para probar el interés de los conductores por distintas zonas específicas: zonas sombreadas, zonas con vigilancia, zonas cercanas al sitio de destino; con lo que se comprobó que el agente en un principio intentará ocupar un puesto de una zona de interés y, si no es posible, ocupará puestos de zonas con valores medios o bajos de interés con el solo propósito de lograr estacionarse.

Del mismo modo, confiando en que esta correspondencia entre los agentes y los conductores reales está ajustada, se podrán elaborar nuevos diseños de este estacionamiento y probarlos múltiples veces, con distintas configuraciones observando si el comportamiento de los agentes es el deseado, si se han minimizado las colas y los embotellamientos, para finalmente conseguir un plano del estacionamiento que disminuya en gran medida los problemas previamente descritos.

CONCLUSIONES

Antes de comenzar el desarrollo de un software es necesario tener claros los requisitos del mismo y las especificaciones de lo que se desea realizar. Esto es especialmente cierto cuando se trata de trabajar con sistemas sociales y con comportamientos humanos debido a la complejidad de los mismos y a la infinidad de variables que afectan una decisión. En ese mismo ámbito de ideas se encuentran las interfaces de diseño para usuarios finales para las cuales también deben ser bien definidas en su arquitectura la elección de una arquitectura sobre otra debe ser evaluada muy detalladamente en base a sus virtudes o deficiencias.

Existen en el mercado simuladores de comprobada funcionalidad y popularidad como es el caso de GALATEA desarrollado por la Universidad de los Andes que sirvió de inspiración para el desarrollo del simulador SIME, de GALATEA se usaron conceptos expuestos por sus desarrolladores como es el caso de la simulación por nodos, permitiendo que el desarrollo del plano fuese configurable y editable, así como también se destaca el uso de conceptos de modelado de datos para poder estructurar la información de conductores y puestos, pudiéndose así crear los tipos de agentes, zona de puestos y puestos; finalmente por esas razones los agentes basados en búsquedas *online* se adaptaron muy bien a este tipo de situaciones y por ello se tomaron como referencia para realizar el simulador SIME.

La toma de decisiones del agente conductor se basó en los resultados del procesamiento de encuestas realizadas durante los últimos meses del año 2010 y el primer semestre del año 2011, se evidenció una discrepancia entre estos datos y los datos recolectados en los últimos meses del año 2011, esta variación es atribuible a que los conductores de la UNET cambiaron sus comportamientos por un factor externo, como es la inseguridad, lo que demuestra lo volátiles y dinámicos que son los sistemas sociales.

Java es una herramienta de desarrollo que presta la suficiente flexibilidad para desarrollar este tipo de herramientas y conjuntamente con la técnica de desarrollo de software basada en prototipos mostró ser útil para la conclusión exitosa del SIME.

La Universidad Nacional Experimental del Táchira dispone de varias zonas destinadas al uso de los vehículos automotores, las cuales funcionan más de 12 horas al día, así que intentar cubrir todas las horas y todos los lugares con todas sus características propias se escapa del alcance de la presente investigación y por ello las pruebas se concentraron sólo en un lugar en un intervalo de tiempo predeterminado; sin embargo, la aplicación tiene la flexibilidad para representar los espacios de

estacionamientos de la UNET, así como para la creación de los distintos tipos de personas que hacen vida dentro de la Universidad.

La creación de una herramienta capaz de permitir visualizar al usuario final cómo será la interacción entre los usuarios y el plano diseñado fue posible gracias a la mezcla de conocimientos en computación con técnicas de simulación y aplicaciones de agentes. Las pruebas realizadas con los datos obtenidos de los puestos del estacionamiento mostraron que el simulador se adapta cerca de un 85% a las variables de ocupación de los puestos de estacionamientos reales estudiados dentro del edificio C de la UNET

La validación de resultados se realizó comparando 3 factores: cantidad de entradas, cantidad de salidas y porcentaje de ocupación de los puestos de estacionamiento los dos primeros por ser factores clave en la validación de una simulación y el tercero por ser utilizado para medir el interés de los conductores en los puestos de estacionamiento, dichos valores son obtenidos por la simulación y contrastados por observaciones de campo; para hacer esto posible se utilizaron pruebas estadísticas haciendo uso de software comerciales desarrollados para tal fin, el resultado de las pruebas: generación de entradas, generación de salidas y ocupación de puestos, permite inferir que el simulador arroja salidas bastante similares a lo que un estacionamiento en la vida real generaría; lo que ayudaría a un diseñador a ver como los conductores se adaptarían a la configuración planteada ayudando así a la toma de decisiones.

La concepción de un simulador es una tarea que requiere tomar en cuenta gran cantidad de aspectos dependiendo de las características que se deseen implementar, por lo que su desarrollo necesitaría recursos considerables en tiempo y horas hombre; en este simulador fueron desarrollados los aspectos de funcionalidad mínimos necesarios para cumplir los objetivos planteados, sin embargo, existen otras funcionalidades que no fueron desarrolladas en la presente investigación por razones de alcance de la misma y que quedan como propuesta a futuro para continuar expandiendo la propuesta, entre ellas se pueden mencionar que: Un agente no puede discernir entre usar una regla en un momento dado o simplemente no usarla, un agente no puede incumplir con la vía de una carretera o saltar una cola en favor de cumplir una meta de manera más inmediata.

RECOMENDACIONES

Continuar realizando investigaciones sobre el campo de agentes para incluir un módulo de predicción de acontecimientos a los agentes conductores de SIME, con el fin de que se puedan adelantar a los acontecimientos como lo hace un conductor en realidad.

Incluir opciones de eventos fortuitos, como por ejemplo peatones, conductores en motocicletas, conductores que no respeten las normas del estacionamiento. Con el fin de dar un mayor realismo a las simulaciones.

Flexibilizar el umbral de los agentes para realizar un comportamiento más dinámico y menos exigente en la selección de puestos valorados como malos o muy malos, para así permitir que dichos puestos sean ocupados en mayor proporción durante la simulación.

Integrar los resultados de arrojados por el simulador con otras plataformas de desarrollo o de procesamiento de datos facilitando así la labor del diseñador del espacio.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, J., Bessembel, I., Cerrada, M., Hidrobo, F., Narciso, F. Una Metodología para el Modelado de Sistemas de Ingeniería Orientado a Agentes. Universidad de Los Andes. Venezuela. 2005
- Aguilar, J., Rivas, F., & Cerrada, M. Sistemas multiagentes para la planificación y manejo de los factores de producción en automatización. 2010. *Ciencia e Ingeniería*.
- Badii, M. H. y J. Castillo, Distribuciones probabilísticas de uso común. Marzo 2009, Daena: International Journal of Good Conscience, ISSN 1870-557X.
- Brooks R. A. (1990) 'Elephants Don't Play Chess', DESIGNING AUTONOMOUS AGENTS: Theory and Practice From Biology to Engineering and Back, pp 3-17, Maes, Pattie, (Ed), Cambridge, MA, The MIT Press, 1990.
- Camacho Julia, Estudio del uso de sistemas multiagentes para el modelado de tráfico de autos. ULA. 2008.
- Chanca, Catellanos. Simulación microscópica de tráfico urbano y su aplicación en el área de Zaragoza. 2004.
- Ciencias sociales. (2011, 19) de mayo. *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: mayo 19, 2011 disponible en http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ciencias_sociales&oldid=46484435.
- Cinca, S. Agentes Inteligentes. [Documento en Línea]. Disponible: <http://www.ciberconta.unizar.es/leccion/INTRODUC/482.HTM>. 2008. Consultado Febrero 2012
- Corchado, Juan. Modelos y arquitecturas de un agente. USAL, sin fecha.
- Davila J, Tucci K, Uzategui M. Simulacion multiagente con Galatea. Universidad de los Andes, Merida, 2004.
- Esquerro J, Pruebas t. Universidad de Puerto Rico recinto de rio Piedra. 2009 documento electrónico disponible en http://www.edu-esta.org/materiales/Stats_text/Pruebas_t.pdf. febrero 2012.
- Fernández, Alberto, SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CONDUCTORES MEDIANTE AGENTES INTELIGENTES, Universidad Complutense de Madrid. 2010
- Gallego, I., & Llinás, M. (2000). Algorítmica y Programación para ingenieros. Barcelona: Ediciones UPC.
- GANDON, F.L. Combining reactive and deliberative agents for complete ecosystems in

- infospheres. En: Intelligent Agent Technology, International Conference. 13–16 de octubre de 2003.
- García, José I. La simulación basada en agentes: una nueva forma de explorar los fenómenos sociales, REIS 136, pp 99-1100. 2010
- Guerra, D.; Iraola, P.; Sánchez, Y. (2010) “Framework de Simulación Basado en Sistemas Multi-Agente” Montevideo, Uruguay; p.
- Harrington, H James. Simulation modeling methods. McGraw hill. Primera edición, 2000.
- Hillier, Lieberman, “Introducción a la investigación de operaciones”, 2005, MacGraw Hill.
- Himmelblau y Bischoff Análisis y simulación de procesos. Reverte, 1992.
- Izquierdo y otros. Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. Universidad de Burgos. 2008
- K. Laffaille, K. Tucci, M. Uzcátegui, J. Dávila, M. Nava. Simulación de Agentes Dinámicos en la Ciudad Universitaria De Caracas. Aportes para el desarrollo de aplicaciones específicas para mitigar Desastres en Centros Urbanos Estratégicos. ULA. 2005.
- Kysbye Patricia. Test de Kolmogorov-Smirnov, apuntes de clase de la facultad de matemáticas, astronomía y física de la Universidad abierta de Córdoba. 2010.
- Li, Shoufeng M; Li W y Wangl H, Microscopic Urban Traffic Simulation with Multi-Agent System. Shanghai Jiaotong University. 2004
- Mancilla Luis. ¿Qué son agentes Inteligentes?. Documento en línea disponible en: http://octi.guanajuato.gob.mx/octigto/formularios/ideasConcyteg/Archivos/31072008_QUE SON AGENTES INTELIGENTES SOFTWARE.pdf. Consultado Septiembre 2012.
- Manterola Carlos. El valor de “p” y la “significación estadística”. Aspectos generales y su valor en la práctica clínica. Universidad de La Frontera, Chile. 2008
- Mora, T, Universidad del Zulia disponible en: <http://www.arqhvs.com/construccion/vehiculos-estacionamiento.html>. Febrero 2010.
- Nilsson, Nils. Inteligencia artificial una nueva sintaxis. Primera edición McGrawHill. 2001
- Oñate Martínez, Cabañas Luis Alberto. SIMULADOR MULTIAGENTE DE TRÁFICO URBANO. ICAI – Universidad Pontificia Comillas.
- Pardo, A. y Ruíz, M. A. (2001). SPSS 10. GUÍA PARA EL ANÁLISIS DE DATOS. Documento en línea disponible en http://www.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D_departamento/materiales/analisis_datosyMulti_variable/19nparam_SPSS.pdf. Consultado septiembre 2012.
- Peñarreta, Caprilo, Modelación y Simulación basada en Sistemas Multi-agente (SMA) en Riego por Aspersión. Abril 2011.

- Perez Carlos. Desarrollo de modelos de tráfico vehicular en GALATEA, Universidad de los Andes. 2010
- Rodreiguez, W. Inteligencia Artificial Clase numero 2. Apuntes de la clase del curso Inteligencia Artificial del Postgrado de Computación de la Universidad de los Andes.
- Russel s, Norving P. Inteligencia Artificial un enfoque moderno. PEARSON preince Hall, segunda edición, 2004.
- Salazar, C. Agentes y Multiagentes Inteligentes: Conceptos, Arquitecturas y Aplicaciones. UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN, 2003
- Taha, H “Investigación de operaciones”, Pearson Education. 2004.
- Thomas H. Naylor, James M. Boughton , Computer simulation techniques, John Wiley & Sons Inc .1971.
- Transmodeler fecha de la consulta enero 2010. de <http://www.caliper.com/transmodeler/default.htm>
- Valor P. (2012, 13 de febrero). Wikipedia, La enciclopedia libre. Fecha de consulta: marzo 1, 2012 desde http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Valor_P&oldid=53795003.
- Villaseñor Alva, González Estrada, PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE PARA EL MOVIMIENTO BROWNIANO, Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados.
- Walpole y Meyers. Probabilidad y estadística, cuarta edición. McGrawHill. 1992.
- Weiss, G. Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence. Cambridge: The MIT Press. 2000
- Wiering M, Vreeken, van Veenen, and Koopman, Simulation and Optimization of Traffic in a City presentado en IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Parma, Italia 2004.
- Wooldridge Michael, An Introduction to Multiagent Systems, John &&, R Sons Ltd, 2002.