

Nota de Aceptación:

Proyecto de Diseño Aprobado, en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana Cali para optar el título de Ingeniero Industrial.

Camilo Roche.

HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO
Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias



JORGE ENRIQUE ÁLVAREZ PATIÑO
Director Carrera Ingeniería Industrial

Fabián Andrés Castaño Giraldo

FABIÁN ANDRÉS CASTAÑO GIRALDO
Director(a) Proyecto de Diseño



LUIS ALONSO VELASCO ROLDÁN
Jurado 1



ÁLVARO FIGUEROA CABRERA
Jurado 2

Santiago de Cali, Diciembre 9 del 2020

Ingeniero

Jorge Enrique Álvarez Patiño

Director del programa de Ingeniería Industrial

Facultad de Ingeniería y Ciencias

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Reciba usted un cordial saludo.

Después de haber realizado un seguimiento al proyecto de diseño bajo mi dirección titulado “Nuevos modelos para la operación de parqueaderos basados en tecnologías de la información: Caso de estudio Pontificia Universidad Javeriana”, desarrollado por los estudiantes de Ingeniería Industrial Haury Andrés Sanjuan Martínez y Jose Luis Ñustez Córdoba, considero que dicho proyecto cumple a cabalidad con los objetivos propuestos. De igual manera, he leído el documento final en su totalidad, el cual avalo para ser entregado.

Por lo anterior, de manera muy atenta solicito que este sea sometido a evaluación por parte de la Facultad de Ingeniería y ciencias, asignando los jurados designados para tal fin.

Cordialmente,



Fabián Andrés Castaño Giraldo
Director del proyecto

Nuevos modelos para la operación de parqueaderos basados en tecnologías de la información: Caso de estudio Universidad Javeriana

Haury Andrés Sanjuan Martinez^{a,c} , Jose Luis Ñusetz Córdoba^{a,c},

Fabián Andrés Castaño^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

^dEntidad y área donde realizó el estudio

Resumen

El problema de la movilidad en las grandes ciudades no se ve reflejado únicamente en la congestión vehicular, sino también en la dificultad vivida normalmente por los conductores a la hora de buscar una plaza de parqueo disponible al llegar a su destino, este problema por supuesto se encuentra presente también en los parqueaderos de las universidades, como en el presente caso de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Cali, en la que sus estudiantes, profesores y colaboradores normalmente dedican grandes cantidades de tiempo buscando una plaza disponible para estacionarse e ir a recibir clases o cumplir con sus labores establecidas, lo cual genera demoras e inconformidades en estos.

Para el desarrollo del modelo propuesto de operación, se tuvo en cuenta tanto la voz del cliente como los requerimientos planteados por la Oficina de Negocios Institucionales, así, en el presente proyecto de diseño se propone un nuevo modelo de operación para el sistema de parqueaderos de la universidad que permitirá, a través de sistemas de información, proporcionar a los usuarios una mejor experiencia y una reducción en sus tiempos de parqueo; para esto, se utilizaron herramientas de ingeniería como: Simulación de eventos discretos, análisis de escenarios y estadística descriptiva.

El modelo de operación propuesto se basa en la gestión por zonas dentro parqueadero, en el que los operarios, a través de un aplicativo móvil, generan un sistema de información que les permite conocer la ubicación de la mejor plaza disponible para cada usuario nuevo que llegue al sistema de parqueaderos de la universidad. Debido a la Coyuntura actual del Covid-19, fue imposible realizar pruebas piloto de implementación, sin embargo, se realizó la simulación tanto del estado actual como deseado del sistema implementando la propuesta de mejora y se realizó una validación con los usuarios frecuentes de este a través de una encuesta en la que se mostraban los resultados obtenidos del modelo de simulación.

Palabras claves: Congestión vehicular, simulación de eventos discretos, parqueaderos, modelos de operación, tecnologías de la información

Abstract

The mobility problem in large cities is not only reflected in traffic congestion, but also in the difficulty normally experienced by drivers when looking for an available parking spot when arriving at their destination, of course this problem is also present in universities, as in the case of the Pontificia Universidad Javeriana, Cali, in which its students, professors and collaborators usually spend large amounts of time looking for an available place to park and go to receive classes or meet their established tasks.

For the development of the proposed operation model, both the voice of the client and the requirements raised by the Office of Institutional Business were taken into account, thus, in this design project a new operation model is proposed for the parking system of the university that will allow, through information systems, to provide users with a better experience and a reduction in their parking times; For this, engineering tools were used such as: discrete event simulation, scenario analysis, and descriptive statistics.

The proposed operation model consists of a zone management system in which operators, through a mobile application, generate an information system that allows them to know the location of the best available parking spot for each new user who arrives at the university's parking system. Due to the current situation of Covid-19, it was impossible to carry out pilot tests, however, the simulation of both the current and desired state of the system was carried out implementing the improvement proposal and a validation was carried out with frequent users through a survey in which the results obtained from the simulation model were shown.

Key Words: Traffic congestion, simulation of discrete events, parking spaces, operation models, information systems.

Tabla de contenido

I.	PROJECT CHARTER	4
II.	DEFINIR	5
	A. Contexto y Justificación.....	5
	B. Grupos de interés	7
III.	MEDIR.....	10
	A. Plan de recolección de datos.....	10
	B. Exploración del mercado	12
IV.	ANALIZAR	19
	A. Análisis de Oportunidad	19
	B. Revisión de literatura	22
	C. Exploración de ideas y selección de alternativa	23
	D. Objetivos	26
V.	DISEÑAR.....	28
	A. Desarrollo del diseño de la solución.....	28
	B. Validación del diseño propuesto	29
VI.	VERIFICAR.....	31
	A. Medición de los impactos	31
	B. Estandarización de la solución	35
VII.	GLOSARIO.....	37
VIII.	REFERENCIAS	37
IX.	ANEXOS	39

Índice de Tablas

Pg.

TABLA I. PARTES INTERESADAS EN EL PROYECTO.....	8
---	---

TABLA II. MATRIZ DE REQUERIMIENTOS.....	9
TABLA III. VARIABLES Y DATOS.....	11
TABLA IV. INDICADORES DE DESEMPEÑO A MEDIR.....	12
TABLA V. SUPUESTOS PARA EL MODELO DE SIMULACIÓN.....	14
TABLA VI. CONTROLADORES RELACIONADOS CON LOS REQUISITOS DEL CLIENTE.....	20
TABLA VII. PLAN DE TRABAJO.....	27
TABLA VIII. RESUMEN DE RESULTADOS DE KPI'S EN LA SIMULACIÓN.....	31
TABLA IX. Anexos.....	39

Índice de Figuras

	Pg.
Fig. 1. Comportamiento promedio de vehículos en el tiempo de estudio (Anexo 1, hoja resumen).....	6
Fig. 2. Comportamiento promedio número de vehículos el viernes en el tiempo de estudio (Anexo 1, hoja resumen)	6
Fig. 3. Matriz de interesados.....	8
Fig. 4. Mapa de procesos de “Gestión de servicios institucionales y recursos financieros” [7].....	10
Fig. 5. Porcentaje promedio de ocupación de parqueaderos por rango horario (Anexo 4).....	13
Fig. 6. Promedio de entradas a lo largo del viernes (modificado de Anexo 4).....	13
Fig. 7. Modelo de simulación en programa Simio 11 (Anexo 5)	14
Fig. 8. Resultado del modelo de simulación (Anexo 5)	15
Fig. 9. Ocupación del sistema simulado (Anexo 5)	15
Fig. 10. Formato de primera encuesta de percepción (Anexo 2).....	16
Fig. 11. Resultados de primera encuesta de percepción (Anexo 2).....	16
Fig. 12. Resultados de primera encuesta de percepción (Anexo 2).....	17
Fig. 13. Resultados de primera encuesta de percepción (Anexo 2).....	17
Fig. 14. Diagrama SIPOC de sistema actual.....	18
Fig. 15. Matriz DOFA	18
Fig. 16. Matriz de estrategias.....	19
Fig. 17. Percepción de los usuarios sobre el estado actual del sistema (Anexo 2)	20
Fig. 18. Modelo de sensor de proximidad de tipo inductivo [20].....	24
Fig. 19. Zonas de parqueo definidas por la empresa que opera los parqueaderos en la universidad [21]	25
Fig. 20. Ejemplo de señalización de zonas de parqueo	28
Fig. 21. Diseño actual de calcomanías actuales del sistema de parqueadero [24].....	29
Fig. 22. Diseño propuesto de calcomanías	29
Fig. 23. Modelo de simulación de alternativa propuesta (Anexo 9)	30
Fig. 24. Resultados del modelo de simulación para la variable de tiempo hasta parquear	30
Fig. 25. Costos variables por implementación (Anexo 10)	31
Fig. 26. Costos fijos por implementación (Anexo 10)	32
Fig. 27. Resultados encuesta final, demanda (anexo 11)	33

Fig. 28. Resultados encuesta final, atención usuarios (anexo 11).....	34
Fig. 29. Resultados encuesta final, señalización (anexo 11)	34
Fig. 30. Resultados encuesta final, señalización (anexo 11)	34
Fig. 31. Resultados encuesta final, percepción (anexo 11)	35
Fig. 32. POE Prestación de servicio (anexo 12)	36

I.PROJECT CHARTER

Descripción (<i>Business case</i>)		Planteamiento del problema (<i>Problem statement</i>)		
<p>El presente trabajo está enfocado en el diseño de un modelo de gestión de parqueaderos que permita, a través de los sistemas de la información, gestionar de manera eficiente y efectiva las plazas disponibles en el sistema de parqueaderos de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Cali.</p>		<p>Los estudiantes y colaboradores de la universidad diariamente gastan mucho tiempo buscando una zona de parqueo disponible, lo cual se debe a que el modelo de operación actual no permite gestionar adecuadamente la información de las plazas disponibles y ocupación del parqueadero.</p>		
Impacto de los actores (<i>Stakeholder's business needs</i>)		Restricciones	Especificaciones	Marco legal
<p>Con el presente proyecto se afecta de manera directa a los usuarios del sistema de parqueaderos, pues el modelo de operación propuesto tiene como objetivo disminuir los tiempos que le toma a un usuario promedio encontrar una plaza de parqueo disponible, afectando así directamente su perspectiva sobre dicho sistema.</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Distribución actual de parqueadero • Costo del servicio • Delimitación de zonas de parqueo 	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de plazas disponibles • Mantenimiento o disminución de costos 	<p>N/A</p>
Indicadores de Desempeño (<i>KPI's</i>)				
Variable	Actualidad	Meta		
Tiempo promedio para encontrar plaza disponible	8.26 minutos	5 minutos		
Consumo medio de combustible	0.0344 Gal	0.0208 Gal		
Nivel de satisfacción de las partes interesadas	12.5%	50%		
Objetivo general (<i>Goal statement</i>)				
<p>Diseñar un nuevo modelo de operación para el sistema de parqueaderos de la Pontificia Universidad Javeriana Cali haciendo uso de herramientas de ingeniería industrial que permita disminuir el tiempo de parqueo de los usuarios, mejorando así la percepción que estos tienen de este sistema.</p>				
Objetivos específicos (<i>Project scope</i>)				
<ul style="list-style-type: none"> • Construir un modelo de simulación que permita estudiar el sistema de parqueo y evaluar los efectos de las mejoras propuestas. • Determinar el nivel de satisfacción de cada variable de interés con el modelo de mejora planteado. • Evaluar la factibilidad de la implementación del nuevo modelo basado en criterios reales que satisfagan los intereses de las diferentes partes interesadas. • Validar con el modelo de simulación el impacto de la propuesta de mejora en el sistema y realizar un sondeo de percepción a priori en los usuarios con los resultados obtenidos de dicha simulación. 				
Plan de Trabajo (<i>Project Plan</i>)				Equipo de trabajo (<i>Team members</i>)
Actividad	Fecha Inicio	Fecha Fin	Área IISE	Nombre
Regla de asignación	8/06/20	18/06/20	2	Investigar una regla de ruteo que permita reproducir el comportamiento de los usuarios

Modelo de simulación	29/06/20	30/07/20	2	Diseñar un modelo de simulación que permita evaluar el comportamiento
Análisis de resultados	31/07/20	20/8/20	11	Analizar los resultados obtenidos del modelo de simulación
Análisis de factibilidad	21/08/20	17/09/20	3	Analizar la relación costo beneficio de la implementación del diseño propuesto
Encuesta de satisfacción	18/09/20	8/10/20	9	Analizar la percepción de los usuarios sobre el nuevo modelo
Validación de modelo	9/10/20	22/10/20	12.2	Validar modelo de simulación y sus resultados
Documento final	12/11/20	12/11/20	12.2	Documento final del modelo de operación

II.DEFINIR

A. Contexto y Justificación

La congestión vehicular es un tema que suele afectar a las grandes ciudades, como lo es Santiago de Cali, con esto no solo se hace referencia al tráfico o trancones, sino también a la disponibilidad de sitios de parqueo. El creciente aumento de vehículos en la ciudad [1] causa que los parqueaderos de establecimientos, sitios públicos y privados se queden sin capacidad para atender a la gran cantidad de automóviles circulantes.

La Pontificia Universidad Javeriana Cali está en la ciudad desde 1970, cuenta con un área de 150.000m², con 5 auditorios, 100 aulas, 125 laboratorios y 17 salas de cómputo repartidas en diferentes edificios y zonas dentro del mismo, más de 1.050 espacios individuales de parqueo y con alrededor de 6.170 estudiantes registrados [2] sin contar directivos y administrativos. No es de sorprender que el problema de movilidad tomaría más relevancia, considerando también que el número de vehículos en tránsito para Cali aumenta [3] con 23.134 autos vendidos solo en 2019 en la capital del Valle, esto teniendo en cuenta que en el sur de la ciudad se tiene el mayor estrato socioeconómico de la ciudad y por ende, la movilidad se afecta directamente en esta zona, donde también están ubicadas otras universidades. Para efectos del proyecto, nos centraremos en el parqueadero principal y más concurrido de la universidad, ubicado en la zona del edificio Lago que tiene una capacidad de 625 puestos para parquear sin considerar la sobreocupación que se genera cuando los usuarios ingresan al sistema aun cuando este se encuentra totalmente ocupado, subiéndose a los andenes o sitios similares.

El problema de movilidad obligó a las directivas de la universidad a buscar métodos para hacer frente a esta problemática y así mitigar la falta de espacio para parquear, dando como resultado que desde noviembre de 2016 se anuncie el cobro por el uso de parqueaderos dentro de la institución [4]. Según los datos proporcionados por la Oficina de Negocios Institucionales (ONI) de la universidad, entre el 1 de agosto de 2019 y el 20 de octubre de 2019 (Anexo 1) se registró un promedio diario de 715 vehículos en el sistema, con un 26.5% en rotación de menos de una hora y un 15,10% con rotación de mínimo 3 horas, dando como resultado que en promedio se ocupa constantemente el 58,32% de la capacidad total del sistema. Esto considerando que las clases normalmente tienen bloques de 2 horas, normalmente se tendrá ocupado el 73.43%, esto ligado con la preferencia de zonas para parquear de los usuarios y problemas de cultura como utilizar dos espacios por un vehículo, hacen que, aunque se tenga capacidad teórica, esta no se ocupe adecuadamente, los autos entren y vuelvan a salir hacia otro parqueadero, llegando a generar incluso problemas de movilidad en la misma zona. Adicionalmente, gracias la información brindada por la ONI se decidió estudiar la cantidad de personas promedio hacían uso de los servicios del parqueadero en cada día de la semana, con el objetivo de determinar cual era el día más concurrido y en que horarios, los resultados obtenidos tras procesar la información se ven resumidos en las Fig. 1 y 2, en las que se destaca el número promedio de vehículos en cada día de la semana y el tiempo medio que pasaban dentro del sistema.

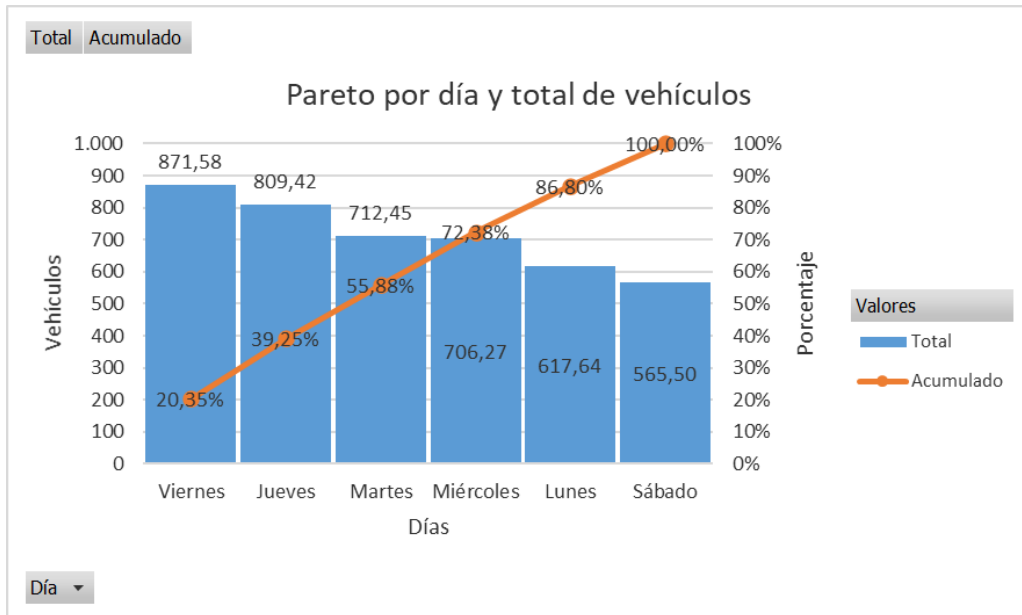


Fig. 1. Comportamiento promedio de vehículos en el tiempo de estudio (Anexo 1, hoja resumen)

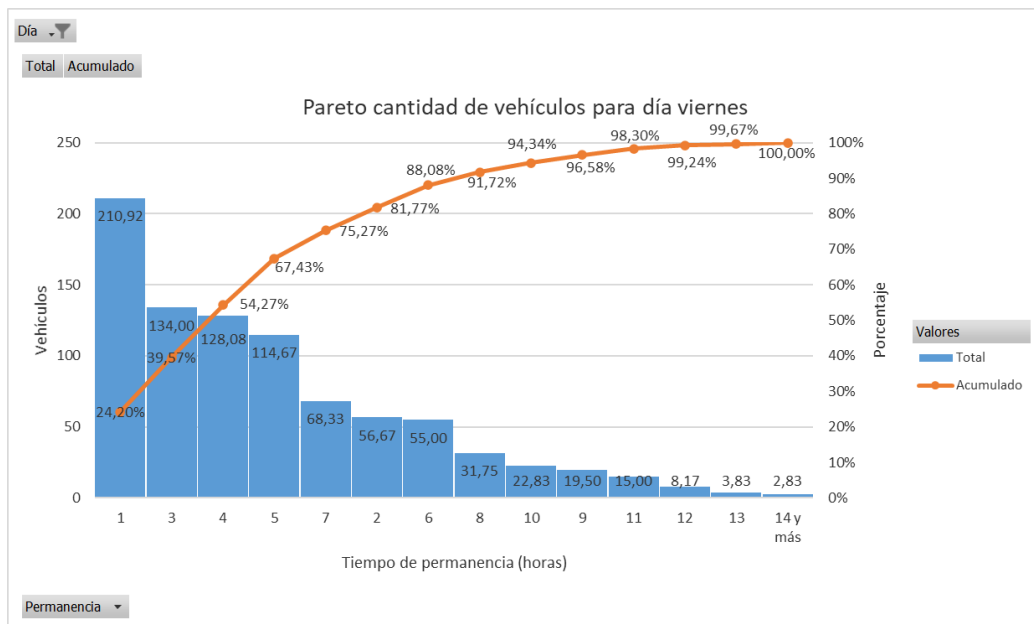


Fig. 2. Comportamiento promedio número de vehículos el viernes en el tiempo de estudio (Anexo 1, hoja resumen)

En la zona sur de Cali existen diferentes espacios y medios de transporte que todas las comunidades de las diferentes universidades cercanas pueden usar; Respecto a los espacios para estacionar existe el parqueadero del centro comercial Cañas Gordas, el parqueadero de la bomba Texaco que colinda con la universidad y como medios de transporte cuentan con el sistema de transporte masivo MIO, el carpooling, espacios para bicicletas y rutas para busetas, esto implica que por la zona de cañas

gordas se tenga grandes volúmenes de autos transitando y también vehículos de transporte masivo, por lo que en horas pico la congestión también llegara a ser significativa por toda la zona.

Anteriormente se presentó un proyecto de investigación similar en la universidad, que contienen recomendaciones y consideran hechos que ya no aplican o que cambiaron con el transcurso de los años. En dicho proyecto [5] Se consideraba que el número de estudiantes iba a continuar con un comportamiento constante, lo cual ya no es válido puesto que comenzó el programa gubernamental de Ser Pilo Paga, que implicó un crecimiento inesperado de la comunidad estudiantil, pero que tuvo un corte abrupto a partir de 2018 [6], cuando el cambio de gobierno rediseñó la propuesta. Además, se recomendó realizar instalaciones tecnológicas que ayuden a mitigar el problema, pero esto implica un costo que aun hoy es difícil de abordar por parte de la entidad.

La directiva de la Javeriana por su parte ha impulsado varios proyectos en años anteriores con diferentes resultados. La iniciativa Llévame, que consistía en que quien tuviese espacio en su auto pueda llevar a un estudiante al menos hasta la estación de universidades. El alquiler de un terreno para utilizarlo de parqueadero, el cual no fue muy efectivo debido a que se encuentra retirado al campus. Pantallas que indiquen disponibilidad en diferentes parqueaderos, proyecto que a la fecha aún está en proceso. La universidad internamente tiene diferentes direcciones que normalmente no comparten ideas respecto a decisiones sobre el tema de movilidad, con temas como objetivos y prioridades de nuevos proyectos dentro del campus como por ejemplo: Inversiones, proyectos como el parqueadero de bicicletas en Lago abierto en enero de 2019, la zonificación y cambios en el esquema del sistema general de parqueadero por diferentes variables que se consideraron en el proyecto propuesto tales como: costos, gastos, cultura, interesados, favorecidos, objetividad y viabilidad.

Con el proyecto de diseño propuesto desde el semillero de investigación de la universidad en pregrado y con las observaciones preliminares se determinó que el sistema puede ser mejorado abordando diferentes variables inherentes al sistema de parqueadero, tales como: tiempo que tardan los conductores en encontrar plazas disponibles para parquear, combustible gastado durante el proceso de búsqueda, servicio al cliente y tiempo en cola, adicionalmente se buscará determinar cómo se afecta y mejora otros factores inherentes al sistema, como lo son el impacto económico del consumo medio de gasolina buscando plaza, el factor de satisfacción de los usuarios con el sistema según su percepción, y la seguridad de los vehículos en la medida de lo posible puesto que cuando se sobrepasa la capacidad normal del parqueadero se utilizan los andenes y estos tiende a generar accidentes o rayones. Todo se abordará con el estudio del sistema desde los conocimientos de la ingeniería industrial buscando generar una propuesta de diseño que contribuya a las políticas y estrategias del sistema actual. Bajo este contexto se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué modificaciones sobre las políticas y estrategias del sistema de parqueaderos se pueden realizar para que el sistema cumpla las expectativas de los usuarios, mejore las variables de rendimiento de este y que a su vez sea viable económicamente?

B. Grupos de interés

Para determinar las partes interesadas en el proyecto se tomó en cuenta que el caso de estudio se realizó sobre el campus de la universidad. Además, es importante diferenciar a la universidad de la entidad contratada para prestar el servicio de atención en los parqueaderos, debido a que no pertenecen a la misma institución. Según la afinidad e influencia sobre el problema abordado en el proyecto se clasificaron los interesados con un nivel de influencia de 1 a 10 donde 1 es interesado, pero poco influyente y 10 interesado y de influencia directa, como se muestra en la Tabla I, la cual está basada en la matriz de interesados de la Fig.3. en donde se definió la prioridad e importancia que tenía cada una de las partes.



Fig. 3. Matriz de interesados

TABLA I.

PARTES INTERESADAS EN EL PROYECTO

Partes interesadas	Descripción	Efecto (del proyecto hacia grupo de interés)	Impacto	Influencia
Estudiantes	Grueso de la comunidad javeriana que está inconforme con el sistema actual	Mejora de los tiempos para estacionar, búsqueda de espacio y satisfacción general	10	8
Profesores	Comunidad académica que hace uso de los parqueaderos	Mejorar los tiempos para estacionar, búsqueda de lugar y satisfacción general	10	8
Externo (visitantes)	Personas ajenas a la universidad pero que entran para diferentes eventos	Mejorar percepción general de la universidad, menos tiempo requerido para instalarse en el campus	7	3
Universidad Javeriana	Entidad sobre la que se realiza el proyecto	Mejora de su sistema general de parqueaderos y disminuir costos	9	10
Empresa de personal para los parqueaderos	Empresa contratada por la universidad que presta personal	Mejora de su sistema de atención	6	3
Parqueaderos aledaños	Centro comercial Cañas Gordas, bomba Texaco, parque de los patos	Disminuir el uso de sus parqueaderos por personas que no acceden a sus locales	8	2

Equipo de proyecto de diseño	Estudiantes integrantes del proyecto y el profesor director del mismo	Lograr un proyecto que cumpla las expectativas y pueda ser implementado	10	10
------------------------------	---	---	----	----

TABLA II
MATRIZ DE REQUERIMIENTOS

Grupo de Interés	VoC (Requisitos del cliente)	Restricciones de diseño	Especificaciones de diseño	Leyes, normas y estándares	
				Legislación y requisitos aplicables	Importancia o efecto
Estudiantes	Agilidad para encontrar plaza de parqueo disponible	Distribución actual de parqueadero	Cantidad de plazas disponibles	Cantidad fija de plazas	N/A
Profesores		Costo del servicio	Mantener o disminuir costo actual	N/A	N/A
Externos		Delimitación de zonas de parqueo	Delimitar correctamente las zonas de parqueo	N/A	N/A
Universidad Javeriana	Sistema que mejore la movilidad de los parqueaderos	Pocos recursos	Eficiente y que cumpla con lineamientos medioambientales. Que genere disminución de costos	política medioambiental de la Universidad Javeriana	N/A
Negocios institucionales	Sistema eficiente y viable	Burocracia institucional no siempre está de acuerdo	Satisfacer a todas las partes administrativas	N/A	Crítico, es la parte que va a definir si se puede implementar en la universidad o no
Equipo de proyecto de Diseño	Que sea satisfactoriamente aprobado, factible y eficiente	Tiempo y las condiciones mundiales de pandemia por el COVID - 19	El proyecto debe poder realizarse completamente en un año	N/A	Proyecto final que permite poner en práctica los conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera

III.MEDIR

A. Plan de recolección de datos

Debido a la situación mundial de pandemia que se vive durante la ejecución del proyecto, se presentaron dificultades en el proceso normal de obtención de datos, por lo que se tomó la decisión de utilizar una fuente secundaria de información. Concretamente, se decidió pedir a la Oficina de Negocios Institucionales (ONI) de la universidad, la cual pertenece a la Vicerrectoría Administrativa y se encarga de gestionar la información financiera y de funcionamiento del sistema de parqueaderos, además de encargarse de generar reportes periódicos a la alta dirección de la universidad, con el fin de estudiar resultados, nuevas propuestas y sistemas integrados con otras oficinas que constantemente están planteando reestructuración de diferentes procedimientos, protocolos, métodos, modelos y sistemas dentro de la universidad, los cuales normalmente involucran a más de una dirección como puede observarse en la Fig. 4.; por lo tanto, todas deben llevar información histórica, clara y concisa para generar la discusión necesaria de tal fin. Es así como se solicitó a la ONI los datos históricos del año 2019, con el objetivo de elaborar un modelo de simulación que permitiera reproducir el comportamiento del parqueadero y así recolectar los datos necesarios para esta etapa, la obtención de esta información se realizó de acuerdo con el Plan de Recolección de Datos (PRD) (Anexo 7) elaborado para definir las variables, criterios de medición, métodos e indicadores necesarios para el proyecto.

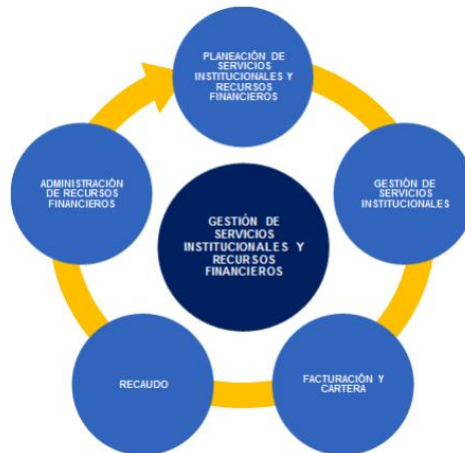


Fig. 4. Mapa de procesos de “Gestión de servicios institucionales y recursos financieros” [7]

A través de diferentes reuniones y encuentros entre integrantes del equipo y el encargado de la ONI, Harold Andrés Martínez, se obtuvo la información anteriormente mencionada, información que se encontraba en un formato difícil de procesar y analizar, sin embargo, después de este proceso, el equipo halló ciertas inconsistencias en los datos y los indicadores que planteaba la ONI, por lo que se sospecha que los datos podrían estar contaminados.

Se obtuvo información histórica relacionada con el funcionamiento del parqueadero, principalmente sobre el comportamiento de los usuarios a lo largo de un tiempo significativo, donde se determinó el nivel de ocupación, tasas de arribos, rotación y demás información que permitió entender mejor el comportamiento actual del sistema, logrando así validar con datos reales los supuestos que el equipo ya se había planteado con anterioridad. Con la información histórica se realizó un análisis estadístico, clasificando los datos por meses, semanas, días y rangos horarios (Anexo 4), buscando así obtener indicadores de ocupación y rotación a lo largo de un tiempo prolongado e intentando además reconocer comportamientos propios del sistema que no son estrictamente declarados, es decir, la cultura tanto desde la universidad como desde los usuarios.

Una vez realizado el análisis correspondiente, clasificada la información, determinados los comportamientos y caracterizado el sistema, haciendo uso del software de simulación Simio 11 [8], se buscó plantear un modelo de simulación adecuado y simétrico

con los datos proporcionados por la ONI, logrando así reproducir el comportamiento del sistema, con el objetivo de estudiar su comportamiento en un ambiente controlado.

Por otra parte, se determinó directamente con la ONI cuáles son los factores críticos que permitan determinar que la propuesta de diseño es viable dentro de la universidad, validar las condiciones, entorno, contexto, restricciones y requisitos bajo los cuales se deberá desarrollar el proyecto y la posterior propuesta de diseño.

La clasificación de datos relevantes para el proyecto está dada como se muestra en la Tabla III. La información obtenida se muestra en el Anexo 4.

*TABLA III.
VARIABLES Y DATOS*

Variable	Tipo		Fuente	Definición	Utilidad para el proyecto
	Cualitativa	Cuantitativa			
Vehículos en el sistema		Discreta	Oficina de negocios institucionales	Número de vehículos en el sistema en un tiempo determinado	Permite identificar la utilización del sistema
Tiempo de parqueo		Continua	Simulación	Tiempo que le toma a un usuario encontrar una plaza libre para parquear	Permite reconocer el comportamiento de los usuarios y la forma en la que encuentran plazas disponibles
Tiempo de vehículos en sistema		Continua	Oficina de negocios institucionales	Tiempo que pasa un vehículo estacionado (Rotación de vehículos)	Permite identificar la rotación de vehículos en el sistema
Vehículos que ingresan por hora		Continua	Oficina de negocios institucionales	Número de vehículos ingresando por hora en un periodo de tiempo determinado	Permite identificar las tasas de llegadas en diferentes franjas horarias
Percepción de usuarios en el sistema actual	x		Encuesta	Percepción general sobre el sistema actual	Permite reconocer requisitos y resultados esperados por los interesados

Para medir el proyecto, se determinaron diferentes indicadores de desempeño que se pueden apreciar en la tabla IV, dichos indicadores fueron medidos a través de una encuesta realizada a los usuarios del sistema de parqueaderos (Anexo 2), con estos se pretende realizar diferentes comparaciones alineadas con el propósito esperado de la propuesta de diseño que permitan dar claridad sobre el nivel de cumplimiento de objetivos y resultados esperados, dichos objetivos fueron establecidos por el equipo debido a que la ONI no manifestó un nivel deseado de mejora.

TABLA IV.
INDICADORES DE DESEMPEÑO A MEDIR

Variable	Objetivo	Descripción	Indicador	Estado Actual	Meta
Tiempo promedio para encontrar plaza disponible	Permite medir el tiempo que tarda un vehículo en encontrar una plaza disponible	Tiempo entre el arribo del vehículo al parqueadero hasta que encuentra una plaza disponible	Tiempo promedio de espera/disponibilidad: $TMED = \frac{\sum_i (Hora\ parqueo_i - Hora\ entrada_i)}{Total\ de\ vehiculos}$	8,26 min/veh	5 min/Veh
Consumo medio de combustible	Comparar el consumo promedio para contrastar el sistema actual con el propuesto	Combustible consumido en el proceso de encontrar una plaza disponible	Consumo medio de combustible: $CMC = \left(\frac{Consumo}{kilometro}\right) * Velocidad\ media * TMED$	0,0344 gal/Veh* *(Asumiendo un consumo medio de 1/40 Gal/Km y una velocidad media de 10Km/h	0,0208 gal/Veh* *(Asumiendo un consumo medio de 1/40 Gal/Km y una velocidad media de 10Km/h
Nivel de satisfacción de las partes interesadas	Medir la percepción de los interesados con los dos modelos del sistema	Comparar que tanto satisface los requisitos de los interesados el nuevo modelo en términos de percepción	Nivel de satisfacción Stakeholders $NSS = \frac{Personas\ que\ perciben\ el\ servicio\ como\ bueno,\ muy\ bueno\ o\ excelente}{Total\ de\ personas\ encuestadas} * 100$	12,5%	50%

B. Exploración del mercado

La información que se logró obtener (Anexo 4) fue la correspondiente al funcionamiento del parqueadero de la universidad durante todo el año 2019, donde se identificó entradas y salidas de vehículos en las franjas horarias de funcionamiento del sistema. Con esta información es posible clasificar la información por mes, semana, día y hora. También se conoce el número de plazas disponibles y, por lo tanto, es posible medir el nivel de ocupación como se muestra en la Fig. 5.

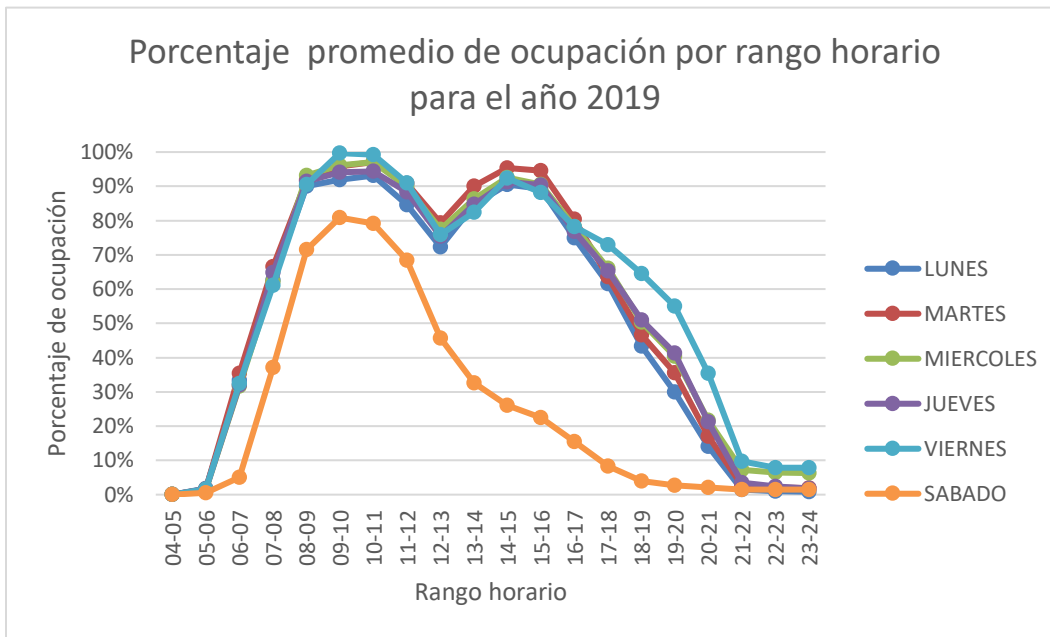


Fig. 5. Porcentaje promedio de ocupación de parqueaderos por rango horario (Anexo 4)

Por lo anterior, se confirma que los martes y viernes tienen un porcentaje de ocupación más alto que los otros días. A continuación, se presentará las entradas promedio o arribos al sistema de parqueadero a lo largo del viernes, en la Fig. 6. Como se puede observar, entre las 6 y 9 am se presentan las mayores entradas, con una leve réplica entre 1 y 3 pm, correspondientes a los horarios de inicio de clases y almuerzo, respectivamente.



Fig. 6. Promedio de entradas a lo largo del viernes (modificado de Anexo 4)

Con la información anterior se realizó un modelo de simulación haciendo uso del software Simio [9] que permite replicar un comportamiento similar al de los usuarios, dicho modelo se presenta en la Fig. 7. De este se obtiene información relevante para estimar el tiempo que tardan las entidades en encontrar plazas disponibles, el modelo se presenta a continuación.

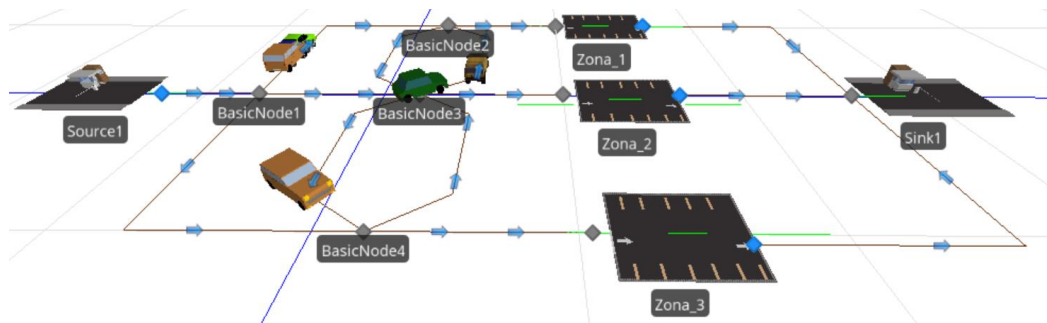


Fig. 7. Modelo de simulación en programa Simio 11 (Anexo 5)

Para esta simulación se tomaron varios supuestos relevantes a la hora de la ejecución, estos supuestos y su influencia se encuentran descritos en la TABLA V.

TABLA V

SUPUESTOS PARA MODELO DE SIMULACIÓN

Supuesto	Descripción	Incidencia
Clasificación de zonas	El parqueadero está dividido en 3 zonas (ver Anexo 2)	Alta
Capacidad de los servidores	En la realidad, la capacidad del sistema usualmente se excede por fuera de lo permitido sin límite, esto genera problemas en el modelo	Media
Regla de ruteo	La ocupación del servidor es inversamente proporcional a la probabilidad de parquear en esa zona	Alta

Este sistema consigue aproximarse bastante a la realidad del modelo de operación actual, donde los automóviles llegan a la portería a ciertas tasas que van variando según la franja horaria del día, posteriormente ingresan y se dirigen a la zona del parqueadero en la que desean estacionarse, en caso de no encontrar disponibilidad en la zona deseada, se regresan por el camino que conecta las diferentes zonas en busca de otra plaza, si no encuentran una plaza disponible en alguna zona, el proceso puede llegar a repetirse, haciendo que los usuarios se mantengan recorriendo las distintas zonas del parqueadero por periodos prolongados, esperando a que otro usuario desocupe un puesto para así ocuparlo rápidamente.

En el caso del modelo de simulación presentado en la Fig. 7., las entidades que representan a los usuarios del sistema (vehículos) ingresan a este a una tasa de llegada que va variando cada hora del día moviéndose a una velocidad media de 10 Km/h, las tasas de llegada están basadas en los datos proporcionados por la ONI en el Anexo 4, tabla XVII, una vez dentro del sistema, las entidades se encontrarían en el nodo de decisión 1 (*Basic Node 1*), en el cual se moverán aleatoriamente a cualquiera de los siguientes nodos de decisión (*Basic Node 2, 3 y 4*) siguiendo los caminos correspondientes, los cuales representan distancias de 200 metros para el camino hacia el *Basic Node 2*, 20 metros hacia el *Basic Node 3* y 75 metros hacia el *Basic Node 4*, una vez las entidades arriban a alguno de estos nodos, se encontrarán en la “entrada” de la zona de parqueo correspondiente, en la cual tomarán una decisión basada en la ocupación actual de la zona de parqueo, donde se presentará una probabilidad de elegir dicha zona de parqueo como la zona en la que se va a estacionar el vehículo, la cual será inversamente proporcional a la ocupación

actual de dicha zona, es decir, entre mayor sea la ocupación de la zona de parqueo, menor será la probabilidad de que la entidad en cuestión elija esta zona para estacionarse y en consecuencia, será más probable que se vaya a la “entrada” de otra zona de parqueo aledaña para tomar nuevamente la misma decisión, teniendo así que recorrer los caminos intermedios entre nodos, los cuales tienen distancias de 240 metros entre el *Basic Node 2* y el *Basic Node 3*, y 70 metros entre este y el *Basic Node 4*, reproduciendo así el comportamiento anteriormente mencionado para seleccionar una zona de parqueo. Dentro de la estructura del modelo, se cuenta con tres servidores, los cuales simulan las zonas de parqueo, estos tienen capacidades (plazas) diferentes, contando la zona 1 con 276, 185 para la zona 2 y 120 para la zona 3; una vez la entidad entra al servidor (zona de parqueo) se toma la medición del tiempo que le tomó encontrar una plaza disponible, haciendo la resta entre la hora actual de la simulación y la hora de entrada al sistema. Por último, el tiempo que tarda una entidad dentro la zona de parqueo estando estacionada se genera haciendo uso de la función *Random.Continuous* [9] (similar a una distribución uniforme, pero para datos continuos) presente en Simio 11, basado en la información proporcionada por la ONI en el Anexo 1, Tabla IX, en la que se encuentran resumidos la cantidad de vehículos que se quedaron una cantidad de horas específica dentro del sistema. Una vez terminada la simulación, se obtuvo la medición de la variable de interés, como se ve en la Fig. 8., el tiempo que le toma a una entidad encontrar una plaza disponible para parquear, en dicha figura se observa el mínimo y máximo tiempo que le tomó a una entidad realizar esta tarea, además del tiempo promedio para esta.

Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
TiempoHastaParquear	UserSpecified	TallyValue	Average	0,0720	0,0514	0,1377	0,0010
			Maximum	1,1604	0,4251	2,7541	0,0332

Fig. 8. Resultado del modelo de simulación (Anexo 5)

Analizando los resultados del modelo de simulación se estima que, en promedio, los usuarios pueden tardar máximo 8,26 minutos en encontrar plaza disponible para parquear, existiendo ocasiones muy raras en las que incluso pueden llegar a tardar más de una hora en ejecutar esta acción, ocasiones en las cuales, normalmente, un usuario preferiría abandonar el sistema en vez de seguir buscando una plaza disponible. Adicionalmente, para validar que el comportamiento producido por el modelo de simulación coincidiera con el real de los datos, se realizó un gráfico de ocupación del sistema, dicho gráfico se puede observar a continuación en la Fig. 9.

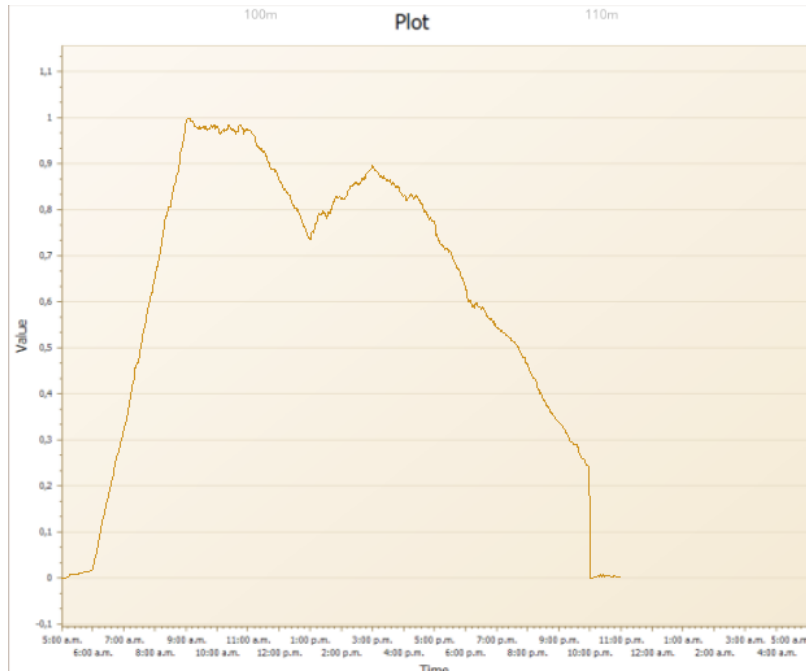


Fig. 9. Ocupación del sistema simulado (Anexo 5)

Adicionalmente, se realizó una encuesta a los usuarios del sistema de parqueaderos al inicio de la investigación, donde se evaluó la percepción de los usuarios frente al sistema actual haciendo uso de Google Forms (Fig. 10), dicha encuesta fue realizada en la semana entre el 22 y 27 de febrero de 2020.

Percepción sobre el parqueadero central de la Universidad Javeriana Cali

El objetivo de esta encuesta es recolectar información de los usuarios del parqueadero de Lago en la Javeriana, con fines académicos orientada a generar una propuesta de mejora viable, real y efectiva

*Obligatorio

En el parqueadero central, ¿Tiene usted una zona preferida para parquear? *

si

no

En caso que la respuesta anterior sea afirmativa, por favor indique la zona

Zona 1

Fig. 10. Formato de primera encuesta de percepción (Anexo 2)

Gracias a esta encuesta fue posible obtener información relevante sobre la forma en la que los usuarios perciben y usan el parqueadero, esta información se encuentra resumida a continuación en los siguientes gráficos, donde, por ejemplo, se puede observar en la Fig. 11. que un 75% de los usuarios tiende a ignorar los avisos de ausencia de plazas disponibles en los momentos en que el sistema se encuentra copado, por lo que entran y se comportan de la manera anteriormente descrita en el modelo de simulación. Lo cual permite validar el supuesto de la sobreocupación del parqueadero, donde, en ocasiones, los autos se estacionan en las aceras u otros espacios no adecuados para este fin.

Cuando esta el letrero que dice "en este momento ya no hay parqueaderos disponibles..." usted

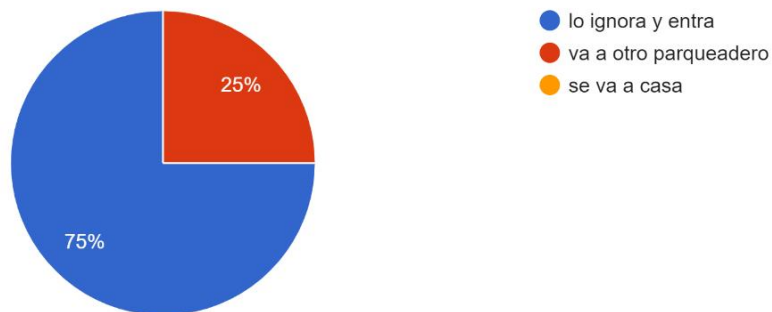


Fig. 11. Resultados de primera encuesta de percepción (Anexo 2)

Adicionalmente, como se puede observar en la Fig. 12., se evidencia que aun cuando los propietarios de automóviles tienen pico y placo, asisten a la universidad en otro vehículo, en mayor grado, otro auto, propio o de otro dueño haciendo uso de "cupos" o Carpooling.

Cuando tiene pico y placa, usted:
8 respuestas

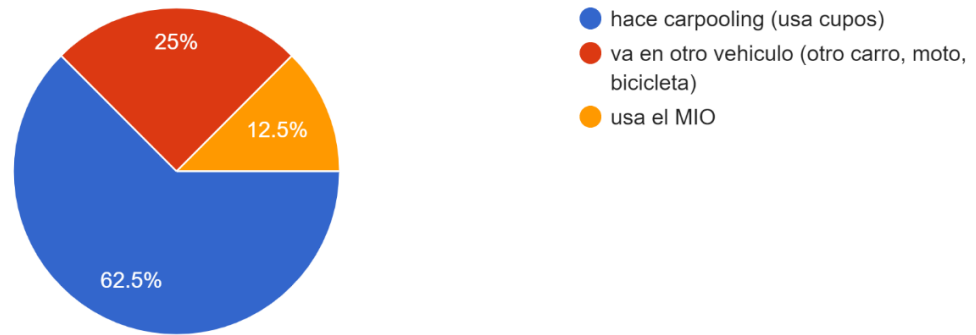
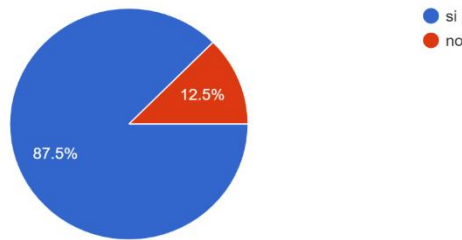


Fig. 12. Resultados de primera encuesta de percepción (Anexo 2)

Por último, en la Fig. 13. se evidencia que los usuarios de este sistema presentan preferencias por algunas zonas específicas, aun cuando estas no están debidamente delimitadas, sino que se determinan por cuestiones culturales y de costumbre.

En el parqueadero central, ¿Tiene usted una zona preferida para parquear?
8 respuestas



la zona de preferencia es
7 respuestas

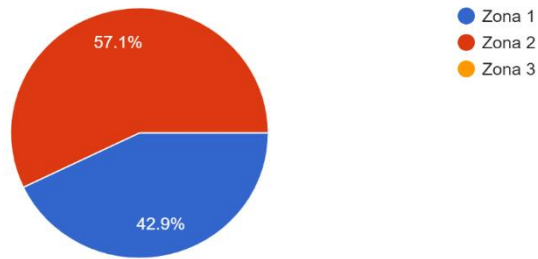


Fig. 13. Resultados de primera encuesta de percepción (Anexo 2)

Seguidamente, para describir de una manera detallada el sistema actual, se decidió elaborar un diagrama SIPOC (Fig.14), en el que se describe y estudia el proceso de gestión realizado dentro del sistema de parqueadero.

DIAGRAMA SIPOC



Fig. 14. Diagrama SIPOC de sistema actual

Con el análisis realizado gracias a la información de la Fig. 15. y Fig. 16. Se determinó que la oportunidad de mejora existe en el caso de la Universidad, pero también es importante mencionar que es una oportunidad que se podría adaptar a otras compañías que manejen sistemas de parqueaderos, aunque las condiciones y restricciones no sean iguales, normalmente no se opta por implementar sistemas más eficientes. Además, los modelos que se comenzaron a desarrollar a partir de la cuarta revolución industrial están aún en desarrollo y no se han implementado correctamente [10].

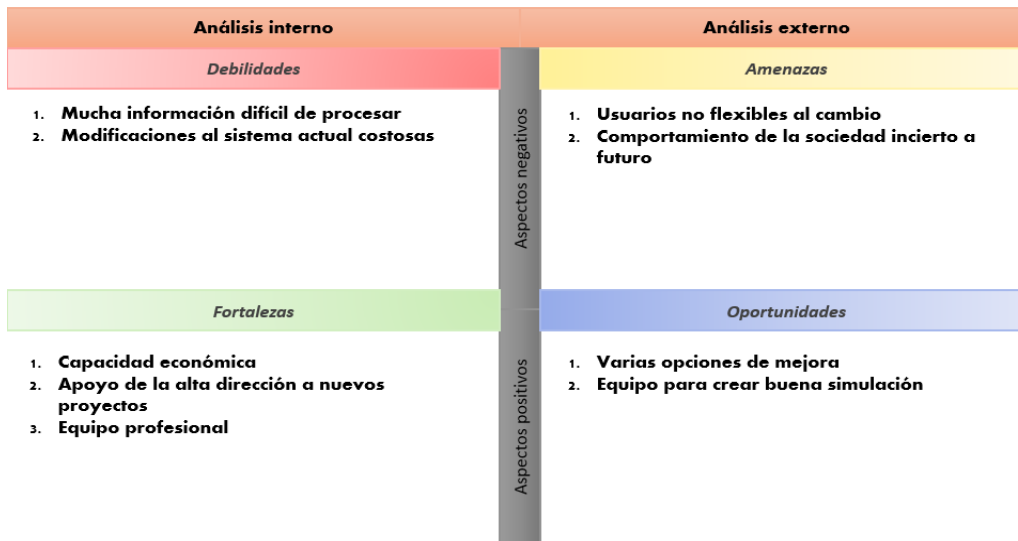


Fig. 15. Matriz DOFA

Estrategias		
	Debilidades	Amenazas
Oportunidades	<p>O2D2: Evaluar diferentes alternativas de mejora por medio de simulación evitando costos de implementación para realizar pruebas</p> <p>O1D1: Generar propuestas de un nuevo formato de recolección de datos y replantear supuestos</p>	<p>O2A1: Plantear un modelo de simulación basado en los datos actuales y pronosticas el comportamiento del sistema</p> <p>O1A1: Generar campañas de concientización que permitan dar a entender el nuevo modelo de operación</p>
Fortalezas	<p>F3D1: Realizar un estudio orientado a un manejo de datos mas eficiente</p> <p>F1D2: Si las propuestas de modelo son altamente favorables, es posible conseguir el apoyo total de la universidad</p>	<p>F2A1: Es posible crear nuevas campañas de concientización y aceptación de nuevas propuestas, es de alto interés para la universidad</p> <p>F3A2: Crear estudio conjunto con diferentes profesionales que este en la capacidad de predecir aproximadamente el comportamiento del sistema a futuro</p>

Fig. 16. Matriz de estrategias

1) Puntos de mejora

El sistema actual es muy susceptible al error humano y además corregir estos puede ser una tarea bastante compleja, lo que fuerza al modelo a asumir u omitir ciertos datos que pueden generar variaciones significativas en los reportes. Principalmente, el método de asumir cero la ocupación cada día es un factor puede generar un sesgo grande y es un punto a tener en cuenta.

2) Puntos críticos

La capacidad del sistema y la gran inversión que se ha realizado hacen que el presupuesto disponible no sea tan grande como se podría esperar. Por otro lado, la cultura de usuarios de este parqueadero puede ser una cuestión difícil de manejar debido a la inconformidad que se viene presentando hace años y que se reforzó con el cobro de parqueaderos en 2016.

Por otro lado, el tiempo es una cuestión para tener en cuenta dado que la propuesta debe estar terminada finalizando 2020. Esto hace que el estudio deba ser rápido pero eficiente con el fin de cumplir las expectativas de las partes interesadas

3) Ventaja competitiva

Se cuenta con la total disposición de la universidad para brindar datos e información relevante para contribuir al estudio, facilitando así la obtención de información para construir un modelo de simulación adecuado.

IV. ANALIZAR

A. Análisis de Oportunidad

De acuerdo con la información recolectada a lo largo del proyecto, se determinó que existen diferentes factores críticos para garantizar que la oportunidad de mejora sea debidamente abordada. Por su parte, se tienen variables relacionadas con la satisfacción de los usuarios y el funcionamiento del sistema, variables con las que se respondería la pregunta: “¿Qué tan eficiente es el sistema actual para cumplir su objetivo?”. Analizando el sistema actual, es posible evidenciar que este se limita a prestar un servicio que, en su desarrollo, ha tenido intentos fallidos de mejora, lo cual ha afectado directamente la percepción de los usuarios sobre el mismo, generando rechazo por parte de la comunidad javeriana, esto se evidencia claramente en la encuesta realizada a los usuarios de la etapa Definir (Anexo 2) y como se puede ver en la Fig. 17.

Su percepción del servicio de parqueaderos es
8 respuestas

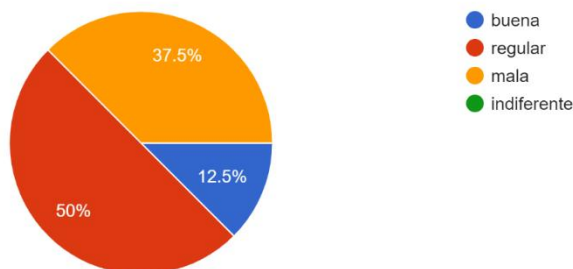


Fig. 17. Percepción de los usuarios sobre el estado actual del sistema (Anexo 2)

Por otra parte, se presentan también variables más implícitas como lo son: el uso adecuado de las zonas y como afecta esto a los vehículos que entran al sistema, puesto que, ya se ha determinado que la capacidad del sistema puede ser sobrepasada debido a que cuando el parqueadero está aparentemente lleno los usuarios no hacen uso adecuado de este sistema, ignoran las señalizaciones y parquean en lugares no adecuados para tal fin. Es así como, por consecuencia de esto, los vehículos pueden presentar rayones, pueden generarse disputas entre conductores, malentendidos y demás problemas que dañan no solo los vehículos, sino la confianza que los usuarios pueden depositar en la empresa que opera los parqueaderos.

Con respecto a la oportunidad, se consideran factores externos que difícilmente se pueden controlar. Por ejemplo, se considera inviable alquilar más zonas de parqueo debido a que se incurre en un costo elevado por la zona de Cali en donde se encuentra situada la universidad, e incluso si la universidad se dispone a tal caso, no hay muchas opciones cerca de la misma, lo que resulta en que la inversión podría tener resultados imperceptibles. Aunque la universidad disponga de recursos y personal, no se ha logrado generar una propuesta efectiva de mejora para los parqueaderos, quizá porque no se ha dado la relevancia suficiente a esta problemática en los últimos años, por diferentes eventos u otros factores similares, que relegan la importancia de los parqueaderos a segundo plano, esto por asuntos internos de la universidad, puesto que, al ser una institución educativa, su prioridad no es precisamente la gestión de parqueaderos.

La clasificación de datos relevantes para el proyecto está dada como se muestra en la tabla VI. La información obtenida se muestra en el Anexo 4.

TABLA VI.

CONTROLADORES CORRELACIONADOS CON LOS REQUISITOS DEL CLIENTE

Nombre	Tipo de variable	Influencia	Cambio esperado	Desarrollo en la propuesta
Rendimiento del modelo propuesto	CTS	Afecta directamente la percepción de los usuarios sobre el sistema	Cuando el sistema deje de presentar fallas importantes en su desempeño diario, los usuarios dejarán de ver el sistema como no amigable	Mejorar el rendimiento del sistema garantizando a los usuarios plazas disponibles y la forma de encontrarlas

Costo de implementación	<i>CTS, CTC</i>	El modelo que se presente como cambio necesario debe estar dentro del margen de inversión de la universidad e incluso, disminuir costos en la medida de lo posible	El nuevo sistema debe estar ligado con el equilibrio entre sistema eficiente y costos aceptables, este factor es crucial para la viabilidad del proyecto	Revisión constante de los costos asociados al modelo propuesto
Uso de recursos	<i>CTS, CTC</i>	Si bien el nuevo modelo de funcionamiento del sistema debe de ser eficiente, este no puede traer consigo costos ligados con el consumo de recursos extralimitando la capacidad actual de la universidad incluso requiriendo inversiones grandes en personal y equipos nuevos	Se espera que el nuevo modelo del sistema mantenga el equilibrio entre eficiencia y consumo de recursos para no incurrir en costos elevados y así, su ejecución sea viable dentro de los parámetros del sistema	Pronosticar uso de recursos con variaciones bajas respecto al sistema actual
Mejoras visibles	<i>CTQ</i>	El factor inmediato visible tanto para usuarios como para empleados es el uso de los andenes como puestos para parquear (en horarios de alta demanda)	Disminuir o eliminar los casos en que se presenten estos abusos de la capacidad del sistema para que, a su vez, se disminuya los incidentes dentro del parqueadero (rayones, empujones, etc.)	Determinar las causas asociadas para tomar medidas y proponerlas en los nuevos puestos
Tiempo requerido para encontrar parqueadero	<i>CTQ</i>	Si bien no es tan perceptible en primeras instancias para los usuarios, a la hora de analizar los datos, dan cuenta que es un factor de gran variación y que se afecta tanto de factores internos (eficiencia y eficacia del sistema) como externos (horas pico,	Mejorar el control sobre el tiempo requerido, permitiendo manejar un estándar o al menos, disminuir este de manera considerable en los momentos donde es más crítico este tiempo, por ejemplo, cuando el sistema se encuentra	Determinar con variaciones sobre el sistema simulado, el mejor cambio posible aceptable para disminuir el tiempo requerido para encontrar parqueadero

		clima, especiales)	fechas	por más de la mitad de su capacidad de uso	
--	--	-----------------------	--------	---	--

Todas estas variables afectan directamente el rendimiento sobre la propuesta que se planteará. Con estas se puede determinar en qué medida se cumplen las expectativas de las partes interesadas y más propiamente, sugieren el cómo se aborda la oportunidad identificada para mejorar la situación actual con una propuesta eficiente y viable dentro las especificaciones y limitaciones en el caso de estudio para la Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Si bien el caso de estudio se presenta dentro de la universidad, según la propuesta que se realice y el modelo de simulación, se encuentra dentro de las posibilidades del equipo de trabajo modificar o replantear análisis similares para adaptarlo a otros casos, siendo sistemas similares, incluso con características diferentes, como por ejemplo tratándose del caso de un parqueadero subterráneo. La naturaleza de fácil adaptación al cambio radica en la destreza en el método de análisis y planteamiento de modelos de simulación fieles al sistema real actual que permita, determinar las variaciones que pueden ser de mayor influencia y que a su vez permita comparar diferentes propuestas dentro de un ambiente simulado.

Es importante recalcar que durante el desarrollo del proyecto se sigue de cerca las nuevas propuestas que se generan por diferentes compañías en el mundo, considerando casos similares. Con esta experiencia y la tecnología relacionada con la cuarta revolución industrial, se puede aprovechar de mejor manera la información y medios que están al alcance de la mayoría, pero que no son bien comprendidos por una gran parte de la población actualmente.

Por otro lado, se observa que, para Latinoamérica, estas propuestas “que dan valor agregado al sistema de servicio de parqueadero” no han evolucionado como en otras partes del mundo. En estados unidos existen diferentes compañías relacionadas con Canopy Airport Parking [11] centradas en dar valor a los usuarios que estén abordando o llegando de vuelos. La compañía más reconocida es Propark [12] la cual tienen reconocimientos especialmente por la sostenibilidad de sus parqueaderos, velando por un bajo consumo energético y usando paneles solares para cubrir del sol los autos y utilizar la energía obtenida para su mismo funcionamiento. Estas son ideas que se han desarrollado por más de una década y se han implementado de manera correcta. Sin embargo, el contexto en Latinoamérica es totalmente diferente, por el hecho de que no se tienen plataformas o sistemas con un impacto realmente significativo, sino que se opta por sistemas comunes como lo son las luces para parquear en los centros comerciales.

En el entorno sobre el que se desarrolla el trabajo, si bien se han planteado propuestas, no han tenido un impacto significativo en el mercado, por diferentes motivos que pueden ser ajenos al nivel de cumplimiento, sino más bien al marketing y los intereses y prioridades de la población en general. Se determina así que la oportunidad está presente, aunque se debe abordar de manera efectiva para ser aceptados por parqueaderos en general sin importar las variaciones claras entre uno u otro.

B. Revisión de literatura

Teniendo en cuenta que la problemática de los parqueaderos afecta a muchos otros tipos de establecimientos diferentes a las universidades, se han revisado diferentes artículos y estudios relacionados con este tema, con el fin de conocer variadas alternativas abordadas por otros autores a la hora de tratar este problema, permitiendo así establecer puntos de comparación entre diferentes alternativas y su correspondiente efectividad. Por ejemplo, mediante sensores instalados en cada espacio de estacionamiento individual, los cuales permiten reconocer la presencia de un vehículo[13], en esta investigación de Bachani, Qureshi y Shaikh presentan dos tipos de sensores que se pueden utilizar para esta problemática: Resistores dependientes de luz (LDR por sus siglas en inglés) y sensores Infrarrojos (IR por sus siglas en inglés). Los primeros consisten en sensores que se calibran con la intensidad de luz solar, los cuales detectan la presencia de un vehículo en el estacionamiento debido a que este genera sombra y reduce significativamente la cantidad de luz recibida por el sensor. Los segundos, funcionan emitiendo una señal de eco que en presencia de un vehículo será reflejada de vuelta hacia el sensor, indicando que el lugar está ocupado. La utilización de uno o de otro como alternativa podría evaluarse según precisión y costos, para así determinar cuál se ajusta mejor a la situación y a las necesidades actuales.

Otros autores como Kotb, Shen, Huang, expresan que para la solución de problemas de parqueo se desarrollan sistemas

de transporte inteligente (ITS). Las ITS [14] son aplicaciones avanzadas aplicadas al transporte y la infraestructura para intercambiar información entre marcos para mejorar la productividad, la seguridad y el desempeño ambiental. Entre los sistemas más destacados para los autores están los Sistemas de Información y Guía de Estacionamiento (PGI) y los sistemas de Reservas de Estacionamiento (PRS). En este sentido, los sistemas de PGI utilizan sensores, controladores y transmisores en carretera o fuera de carretera para proporcionar a los conductores información sobre la disponibilidad de estacionamiento, además de información sobre precios y navegación en algunos casos. Los sistemas de PGI son una gran mejora con respecto al estacionamiento convencional, sin embargo, este tipo de sistemas tiende a aumentar la competencia de los conductores sobre los espacios de estacionamiento monitoreados, es decir, al haber muchos interesados en una sola plaza de parqueo en una hora pico, estos intentarán a toda costa ocupar este espacio de la manera más rápida posible, por lo tanto, este comportamiento de competencia puede aumentar los problemas de estacionamiento. Sobre la base de los sistemas PGI, las reservas (sistemas PRS) son posibles para garantizar plazas de aparcamiento para los conductores y evitar la competencia en las plazas de aparcamiento [14].

Por otra parte, Chen propone desarrollar un tipo de aplicación que proporciona servicios de información interactivos en tiempo real [15] Este proyecto se enfocó en el uso de Zigbee, una red inalámbrica caracterizada por su baja complejidad, bajo costo y consumo dado que hace uso de conectividad inalámbrica de baja velocidad de datos [16] además, tiene como añadido la capacidad de que cada nodo pueda auto direccionarse y conectarse a otros nodos según sea necesario.

Desde otro punto de vista, la Universidad Politécnica Salesiana en Guayaquil, Ecuador, planteó un proyecto similar con el fin de tratar la problemática de los parqueaderos; este consiste en el uso de sensores ultrasónicos que, conectados a un circuito electrónico, proporcionan información a través de internet a los usuarios sobre la disponibilidad de estacionamientos en un sector del parqueadero. De esta forma se logra que los conductores puedan tomar una decisión oportuna antes de ir al lugar y reduzcan tiempo en la búsqueda de un lugar libre, teniendo en cuenta que esto toma en promedio 7,8 minutos en el centro de las ciudades principales, generando malgasto de tiempo y combustible, tanto para el usuario que está buscando parqueadero como para los que están en cola, generando a su vez dióxido de carbono [17]. La solución es importante para los usuarios, dado que podrán colaborar con la disminución del tráfico, reducir el consumo de combustible y emisiones de gases por parte de los vehículos, además de que se hace un mejor uso de los lugares disponibles.

Por último, Atif, Ding y Jeusfeld proponen un un modelo basado en internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) y la computación en la nube [18] De acuerdo con su propuesta los sensores se disponen en un sistema de parqueadero se comunican en tiempo real con un servidor y establecen estadísticas de desempeño, ofreciendo a los usuarios información detallada de las plazas de parqueo cercanas. Denotando de este modo una nueva oportunidad de mercado que es denominada como “sensing as service”, estableciendo así un entorno en el que los dueños de diferentes parqueaderos pueden registrar sus lugares en un “directorio en la nube” al cual acceden los usuarios cuando necesitan uno de estos espacios, finalmente, los autores reducen el hecho de encontrar una plaza de parqueo disponible como un problema de búsqueda colaborativa en el cual los usuarios necesitan encontrar una plaza disponible sin “tropezar” con otros usuarios en el camino, este tipo de problemas pueden ser resueltos mediante algoritmos de búsqueda que pueden ser de mucho interés para este proyecto.

Según la información recolectada, desde la investigación en materia, se cuenta con información suficiente que permita validar diferentes propuestas adaptadas a una aplicación propia según sus requerimientos. Podemos utilizar la información de casos históricos sobre cómo se ha implementado el IoT en los parqueaderos inteligentes, para así obtener información relevante que pueda sustentar un nuevo modelo de operación, mejorando la eficiencia de este y mejorando la experiencia del usuario.

C. Exploración de ideas y selección de alternativa

A lo largo del desarrollo del proyecto, el equipo se ha cuestionado y planteado diferentes alternativas, ligadas principalmente con la obtención de información rápida para encontrar una plaza, y comenzar a tratarlo, pues de este parten los diferentes problemas y acontecimientos que ya se han mencionado anteriormente. Por medio de discusiones del equipo junto con el tutor del proyecto se consolidaron las propuestas presentadas a continuación.

1) Sistema de información con sensores

Se plantea la posibilidad de implementar un sistema de información partiendo de los avances tecnológicos del *IoT*, donde se tienen sistemas de dispositivos informáticos interrelacionados con máquinas, medios digitales, personas y demás, con identificadores únicos que permiten el paso de información por plataformas o sistemas integrados. Se pretende que sensores de proximidad como los de tipo inductivo [19], los cuales pueden registrar cuando un objeto de metal se acerca a ellos sean usados en esta alternativa, el funcionamiento de este tipo de sensor se muestra en la Figura 18.

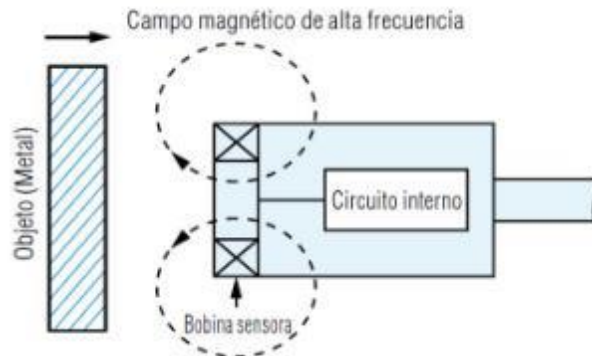


Fig. 18. Modelo de sensor de proximidad de tipo inductivo [20]

Este tipo de sensores evita confusiones de información con otros cuerpos no metálicos, como pueden ser: Animales, hojas, personas, basura u otros cuerpos que no sean vehículos. Adicionalmente, estos dispositivos permiten dar un ID para cada plaza así, la información de ocupación puede ser transmitida a una nube de información por medio de internet, esta plataforma recolectaría datos históricos y a su vez, presentaría de forma entendible para los operarios, cuantas plazas de parqueo hay disponibles y en qué zona se encuentran, así podrían indicar a los usuarios que llegan al sistema a donde pueden ir. De datos históricos se puede obtener más claramente información sobre el tiempo promedio que tarda un usuario en encontrar plaza, la estadía de un auto en el sistema, el nivel de ocupación, entre otros, estableciendo así zonas de mayor frecuencia y rotación, personalizando más el servicio prestado a los usuarios en función del tiempo que planean pasar dentro del sistema.

Este método sería ideal en términos de recolección de información, la eficiencia y velocidad de obtención de esta muy probablemente se elevaría favorablemente. Una vez diseñado el producto, se podría modificar la plataforma según otros modelos de parqueadero y sus requerimientos. Sin embargo, es importante mencionar que la inversión inicial en los sensores, sus respectivos circuitos y el desarrollo de software en interfaz para los operarios puede llegar a ser considerablemente costosa en términos monetarios y de tiempo.

2) Sistema de información por zonas

Con el fin de evitar problemas de sobrecostos de los sensores, se seguiría la idea actual que tiene la empresa que opera los parqueaderos de dividir los estos espacios en zonas, ya sea conservando las zonas que actualmente se consideran en el sistema, como se puede ver en la Fig. 19, o dividiendo el sistema en zonas aún más específicas. Con esto se pretende llevar un conteo de plazas total por cada una de estas zonas, así, cuando un usuario llegue al sistema, un operario de este puede indicarle a que zona ir, con esta acción descuenta una plaza del total disponible según la zona que se asignó, así se podría tener un control más preciso de la ocupación y la capacidad tanto para los operarios como el histórico para los directivos. Este modelo ya existe en otros sistemas, sin embargo, su efectividad depende altamente de dos factores principales, el sistema de información y la cultura de los usuarios. Otra variación de esta propuesta podría ser: Disponer carteles electrónicos que indicasen la cantidad de plazas disponibles de cada una de las zonas, carteles que serían actualizados constantemente por los operarios del parqueadero que, a su vez, compararían cada cierto tiempo la información mostrada en los carteles con la situación real de las zonas de parqueo, esto con el fin de brindar mayor fidelidad a la información mostrada en los carteles.



Fig. 19. Zonas de parqueo definidas por la empresa que opera los parqueaderos en la universidad [21]

Por su parte, digitalizar la información es claramente un problema que actualmente se tiene en este caso, aun cuando las suposiciones propias que se toma, como el asumir cero la ocupación al comienzo de cada día debería disminuir los problemas, por el contrario, genera más confusión al analizar los datos a largo plazo; la cultura de los usuarios también debe de considerarse pues indicar una zona con plazas disponibles no garantiza que el usuario haga caso de la indicación, que pueda encontrar la plaza o que respete ciertas normas, esto también ya se ha visto cuando se normalizó en el sistema que los autos puedan parquear en los andenes sin reprochar esta acción que atenta con la integridad de los vehículos.

3) Clasificación y gestión de zonas por frecuencia y rotación

Como se describió anteriormente, una parte importante de los usuarios que entran al sistema tienden a quedarse más de 3 horas en el parqueadero, esto porque son profesores de planta y tienen largos horarios dentro de la universidad, estudiantes con clases en horas de la mañana y la tarde que prefieren quedarse en la universidad para estudiar en su tiempo libre o colaboradores de la universidad, quienes tienen una jornada laboral completa. Teniendo en cuenta esta parte de la población se ha considerado asignar zonas según el tiempo de uso que se dará a las plazas. Existe un parqueadero que, si bien está un poco retirado de la universidad, tiene una capacidad significativa, estamos hablando del parqueadero Cataya, se podría asignar estas plazas a personas que vayan a estar en la universidad por más de 4 horas, pues considerando que su rotación es baja, esto disminuiría el movimiento dentro de los parqueaderos y podría dar más claridad a los operarios sobre el uso del sistema, permitiendo disminuir la variación. Esto podría dividir a los usuarios en dos segmentos importantes: Los de alta rotación (quienes se quedan menos de 4 horas en los parqueaderos) y los de baja rotación (quienes tardan más de 4 horas en dejar el parqueadero). Si bien el control de uso de la capacidad sería más efectivo, es necesario replantear los supuestos que se manejan en el modelo de simulación actual que ya se han mencionado antes.

Por otro lado, esta propuesta también requeriría de implementar un nuevo sistema de recolección de datos para que la información histórica sea más clara y que sea posible comparar la variación en las variables de interés para verificar la efectividad de la implementación, haciendo necesario volver a tomar y procesar información histórica del sistema.

4) sistema de reserva de plazas

Combinando el sistema de sensores de la propuesta uno, se plantea integrar un modelo de información para operarios y usuarios, que permitan conocer en tiempo real el nivel de ocupación exacto de las plazas totales del parqueadero. Presentando esta información en una aplicación nueva o integrando esta en la aplicación actual de la Javeriana, los usuarios estarían en la capacidad de reservar una plaza en particular para llegar a ocuparla en cuanto lleguen al sistema, es decir, que los usuarios puedan visualizar la ocupación desde que están saliendo de casa y que en transcurso de viaje puedan reservar el espacio por un tiempo no mayor a 15 minutos, con el objetivo de que no sea ocupada su plaza por otro auto. Esta estrategia presenta ciertos desafíos difíciles de sortear, en primer lugar, se tiene que los operarios deberán vigilar de cerca la correcta ocupación de plazas en cuanto llegan los usuarios al sistema, pues nada garantiza que por conveniencia, falta de tiempo u otro factor, el conductor finalmente llegue a su plaza y en su lugar ocupe otra, este problema se relaciona más a logística y quizá requiera que se contrate más personal que haga las veces de observador en las zonas de parqueaderos. Además, la cultura nuevamente es un problema, pues no se garantiza que los usuarios aprendan correctamente el uso según diferencias de conocimiento, disposición, edad u otro factor que pueda llevar a un uso inadecuado o incluso, ignorar esta nueva modalidad implementada en el parqueadero.

Una vez expuestas las alternativas que se consideran en el proyecto, se procedió a establecer los siguientes criterios:

Costo de implementación: son los posibles costos que acarrearía desarrollar la alternativa en cuestión (obtención de materiales, desarrollo de software e interfaz, publicidad o compañías de concientización, etc.)

Viabilidad de la propuesta: Complejidad de implementación lo propuesta en el contexto de la universidad. La dificultad que podría conllevar desarrollar alguna de la propuesta a la universidad o cambios a la infraestructura de los parqueaderos, además de los permisos necesarios para implementar estas propuestas son tenidos en cuenta en este criterio.

Tiempo de desarrollo: Tiempo que conlleva desarrollar cada propuesta, teniendo en cuenta los estudios necesarios para cada una de ellas y los posibles permisos que deberían tramitarse en caso de ser necesarios.

Impacto en la cultura de los usuarios: la forma en que la alternativa afectaría la manera de parquear que tienen los usuarios de los parqueaderos, es decir, la forma de elegir la plaza a ocupar o los factores que tienen en cuenta al usar cada espacio de parqueo.

Resistencia al cambio de los usuarios: Resistencia que podrían presentar los usuarios para acogerse a los nuevos modelos de operación de los parqueaderos. (Hacer caso omiso de las indicaciones dadas por los operarios o el sistema).

Una vez realizado el respectivo análisis que se presenta en el Anexo 7, haciendo uso de un proceso de análisis jerárquico y una matriz de preferencias [22][23], se obtuvo como resultado que la mejor alternativa a tomar bajo los criterios establecidos anteriormente es: Alternativa 3. Clasificación y gestión de zonas por frecuencia y rotación, sin embargo, la alternativa 4. Sistema de información por zonas obtuvo un puntaje muy similar, por lo que podría considerarse la alternativa 3 como principal y, de ser posible, implementar algunas partes de la alternativa 4, generando una unión parcial entre ambas. Como solución a esto, teniendo en cuenta que una de las principales herramientas de este proyecto es la simulación de eventos discretos, se podría evaluar la efectividad de diferentes combinaciones de alternativas haciendo las respectivas variaciones al modelo planteado, esto con el objetivo de determinar que combinación sería más viable y beneficiosa para el sistema.

D. Objetivos

1) Objetivo general

Diseñar un nuevo modelo de operación para el sistema de parqueaderos de la Pontificia Universidad Javeriana Cali haciendo uso de herramientas de ingeniería industrial que permita disminuir el tiempo de parqueo de los usuarios, mejorando así la percepción que estos tienen de este sistema.

2) objetivos específicos

- Construir un modelo de simulación que permita estudiar el sistema de parqueo y evaluar los efectos de las mejoras propuestas.
- Determinar el nivel de satisfacción de cada variable de interés con el modelo de mejora planteado.
- Evaluar la factibilidad de la implementación del nuevo modelo basado en criterios reales que satisfagan los intereses de las diferentes partes interesadas.
- Validar con el modelo de simulación el impacto de la propuesta de mejora en el sistema y realizar un sondeo de percepción a priori en los usuarios con los resultados obtenidos de dicha simulación.

E. Plan de trabajo (PdT)

En la tabla VII se encuentra descrito el plan de trabajo que desarrollará el equipo para este proyecto, se ha establecido fechas tentativas de entrega debido a la incertidumbre ocasionada por la coyuntura actual del Covid-19.

TABLA VII.
PLAN DE TRABAJO

Objetivo	Área IISE	Herramientas de Ingeniería Industrial	Actividad	Entregable (alcance)	Fecha entrega
Diseñar diferentes modelos de simulación que permitan evaluar los efectos de las mejoras propuestas.	2. <i>Operations Research and Analysis</i>	E. <i>Network Flows and Optimization</i>	Investigar una regla de ruteo que permita reproducir el comportamiento de los usuarios bajo las condiciones propuestas	Regla de asignación	26/06/2020
	2. <i>Operations Research and Analysis</i>	M.2. <i>Continuous and discrete time models</i>	Diseñar un modelo de simulación que permita evaluar el comportamiento de las reglas de asignación propuestas	Modelo de simulación	30/07/2020
Determinar el nivel de satisfacción de cada variable de interés con el modelo de mejora planteado.	11. <i>Information Engineering</i>	K.1. <i>Systems development methodology toward information systems</i>	Analizar los resultados obtenidos del modelo de simulación	Análisis de resultados del modelo de simulación	20/08/2020
Evaluar la factibilidad de la implementación del nuevo modelo basado en criterios reales	3. <i>Engineering Economic Analysis</i>	H.3. <i>Benefit- cost analysis</i>	Analizar la relación costo-beneficio de la implementación del diseño propuesto	Análisis de factibilidad	17/09/2020

que satisfagan los intereses de las diferentes partes interesadas.	9. <i>Engineering Management</i>	I.7. <i>Customer satisfaction</i>	Analizar la percepción de los usuarios sobre el nuevo modelo de operación	Encuesta de satisfacción de usuarios	8/10/2020
Determinar la validez del modelo de operación diseñado a través de diferentes métodos de validación.	12.2 <i>Systems Design & Engineering</i>	F. <i>Verifying and Validating Requirements</i>	Validar el modelo de simulación y sus resultados a través de diferentes métodos	Validación de modelo de operación propuesto	22/10/2020
	12.2 <i>Systems Design & Engineering</i>	J. 12. <i>Documentation</i>	Documentar y presentar resultados obtenidos del diseño del sistema	Documento final del modelo de operación para el parqueadero	12/11/2020

V.DISEÑAR

A. Desarrollo del diseño de la solución

Para el diseño la propuesta que se seleccionó en la etapa de analizar, la cual fue “Clasificación y gestión de zonas por frecuencia y rotación”, se estableció la siguiente propuesta de modelo de operación: Las zonas de parqueo seguirán designadas de igual manera, dividiendo así el parqueadero en tres zonas (Lago, Palmas y Central), las cuales deben ser claramente delimitadas con letreros e indicadores como se ve en la Fig. 20., ubicadas a la entrada de cada zona, además de indicaciones de cómo llegar a cada una de ellas desde la entrada del parqueadero.



Fig. 20. Ejemplo de señalización de zonas de parqueo

Para llevar el control de las plazas disponibles en cada zona de parqueo se debe designar a un operario por zona, el cual estará encargado de revisar constantemente la cantidad de plazas disponibles en su zona para reportarlas periódicamente a otro operario, el cual encontrará en la entrada del parqueadero informándole a cada usuario en que zona del parqueadero se le recomendaría estacionar su vehículo basado en si hace parte de la comunidad educativa, un colaborador o un visitante; para diferenciar fácilmente el tipo de usuario que está ingresando al parqueadero, se propone un rediseño de las calcomanías usadas actualmente, las cuales se pueden ver en la Fig. 21., cambiándolas por un nuevo diseño que permita diferenciar fácilmente entre la comunidad educativa y los colaboradores, manteniendo la funcionalidad de diferenciar el día de pico y placa gracias al color, como se ve en la Fig. 22., se propone un diseño en el que una forma específica será para colaborador y otra para la comunidad educativa, manteniendo el código de colores existente, así el operario podrá diferenciar fácilmente qué tipo de usuario se encuentra ingresando al parqueadero, para así recomendarle una zona de parqueo específica, concretamente, a los colaboradores se les recomendará las zonas de Central y Palmas, dando mayor prioridad a la zona de central, mientras que a la comunidad educativa se le recomendará las zonas de Lago, Palmas y en situaciones enteramente necesarias la zona de Central, recomendando siempre la zona con mayor cantidad de plazas disponibles al momento de entrar, esto con el objetivo de asegurar que el usuario encontrará

rápidamente una plaza disponible con ayuda del operario correspondiente de cada zona y la recomendación del operario de la entrada. Cabe resaltar que el operario que se encuentra en la entrada del parqueadero impedirá a los usuarios entrar al sistema si no hay plazas disponibles, por lo que no será posible para los usuarios entrar cuando el sistema se encuentre saturado.



Fig. 21. Diseño actual de calcomanías actuales del sistema de parqueadero [24]



Fig. 22. Diseño propuesto de calcomanías

B. Validación del diseño propuesto

Para la validación del diseño propuesto, como ya se enunció anteriormente, debido a la coyuntura actual del Covid-19, no es posible implementar una prueba piloto y tomar datos reales para realizar una validación, por lo que se propone un nuevo modelo de simulación basado en el construido para la etapa medir, realizando las modificaciones pertinentes para evaluar el impacto del modelo de operación propuesto en los KPI's previamente definidos, en la Fig. 23. se evidencia la nueva distribución de dicho modelo. En este caso se ha decidido diferenciar entre comunidad educativa (Profesores y estudiantes, representados por los vehículos verdes y azules), quienes representan aproximadamente el 75% de la población y los colaboradores (representados por los vehículos amarillos), quienes representan el 25% restante de la población en horarios de 5:00 a 8:00 am, según información proporcionada por la ONI. Para este modelo no se consideró visitantes, proveedores u otros tipos de usuarios debido a que representan un porcentaje muy pequeño en comparación con los dos grupos anteriormente mencionados.

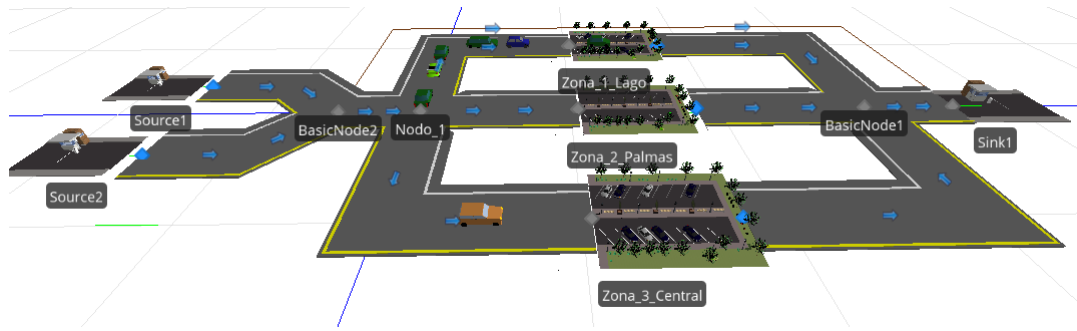


Fig. 23. Modelo de simulación de alternativa propuesta (Anexo 9)

Para este nuevo modelo de simulación, dado que se tienen dos tipos de entidades que representan porcentajes distintos de la población en distintos lapsos de tiempo, se dividieron las tasas de llegada originales en los horarios de 5:00 a 8:00 am, pues es en este horario que se producen las llegadas de colaboradores a las instalaciones de la universidad, adicionalmente, los tiempos de procesamiento de la zona 3 fueron modificados, generando tiempos de entre 14 y 8 horas cuando son usados por colaboradores y con los mismos tiempos de permanencia establecidos en el modelo original cuando son usados por la comunidad educativa, como se mencionó anteriormente, los colaboradores son dirigidos únicamente a las zonas 2 y 3, dando mayor prioridad a la zona 3, para esto, una vez la entidad es generada y entra al sistema, se le dirige automáticamente a la zona 3 siempre que esta tenga capacidad disponible, en caso contrario, será dirigida a la zona 2; por su parte, la comunidad educativa puede ser dirigida a cualquiera de las tres zonas disponibles, sin embargo, serán dirigidos siempre a la zona de mayor capacidad disponible, teniendo mayor prioridad la zona 1. En caso de que el sistema se encuentre saturado, es decir, los tres servidores (zonas de parqueo) se encuentren copados en su capacidad, no se permitirá el ingreso de nuevas entidades al sistema, por lo que serán dirigidas directamente fuera del sistema. Por último, se calcula el KPI de tiempo hasta parquear de la misma manera que en el modelo original, restando la hora de llegada al sistema de la entidad a la hora actual de la simulación en el momento en que una entidad ingresa a un servidor.

Tras correr 500 réplicas del modelo de simulación actual y el propuesto (Anexo 9) se obtuvo resultados para el KPI de “Tiempo promedio para encontrar plaza disponible”, el resumen detallado de los resultados obtenidos tras correr dicha simulación puede ser consultado en el Anexo 13, adicionalmente, como se ve en la Fig. 24., se obtuvo un tiempo medio hasta parquear de 0,0236 horas, lo cual equivale a 1,4179 minutos, presentando un máximo tiempo de 0,025 horas, es decir, 1,501 minutos; consiguiendo así una reducción de hasta un 81,83% respecto al original, es decir, con el nuevo modelo de operación se espera lograr una amplia reducción de tiempos de parqueo, debido a que el modo de asignación de zonas de parqueo hace más directa esta tarea, consiguiendo así tiempos más estables y bajos en comparación con la situación actual. Debido a la reducción del tiempo hasta parquear, se presenta también una reducción en el KPI de consumo medio de combustible, pues se encuentran directamente relacionados como se puede ver en la Tabla IV y cuyos resultados se resumen en la Tabla VIII.

Scenario Comparison Report

Modelo Alternativa

Run Date: 11/5/20 15:09

Model (Evaluation Only)

Model - TallyValue - Average

Scenario	Data Source	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Modelo Propuesto	TiempoHastaParquear	0,02363	0,00003	0,02275	0,02502
Modelo Actual	TiempoHastaParquear	0,07199	0,00097	0,05141	0,13771

Fig. 24. Resultados del modelo de simulación para la variable de tiempo hasta parquear

TABLA VIII.

RESUMEN DE RESULTADOS DE KPI'S EN LA SIMULACIÓN

Variable	Estado Actual	Meta	Resultado de simulación	Reducción
Tiempo promedio para encontrar plaza disponible	8,26 min/Veh	5 min/Veh	1,50 min/Veh	81,83%
Consumo medio de combustible	0,0344 galones de combustible*	0,0208 galones de combustible*	0,0063 galones	81,83%

*Asumiendo un consumo medio de 1/40 Gal/Km y una velocidad media de 10Km/h

Finalmente, la medición del KPI “Nivel de satisfacción de las partes interesadas” se llevó a cabo mediante una encuesta realizada a los usuarios del sistema de parqueaderos, dicha encuesta y sus resultados se encuentran descritos a mayor profundidad en la etapa VI Verificar y pueden ser encontrados en el Anexo 11.

VI. VERIFICAR

A. Medición de los impactos

Para la medición de impactos es importante mencionar que las diferentes recomendaciones y propuestas planteadas no requieren de inversiones en reestructuración de los parqueaderos a gran escala o adquisición de equipos especializados. Para describir los aspectos fundamentales del impacto del proyecto se trae a consideración el impacto financiero relacionado con la implementación, el sentido social e impacto ambiental relacionado al contexto del proyecto.

Impacto financiero

Para este apartado, se debe considerar el proyecto como una inversión con el fin de mejorar el servicio brindado. Además con este se espera un impacto directo al uso adecuado del espacio determinado para los parqueaderos y sobre cómo los usuarios hacen uso de este. Como consecuencia, no se considera que se vayan a generar ingresos perceptibles en términos monetarios, pues tampoco es el objetivo. Los costos generados a partir de la implementación de la idea están diferenciados en costos fijos y costos variables, donde los costos fijos contemplan un gasto generado mensualmente para mantener la plataforma activa, lo anterior se resumen en las Fig. 25 y 26.

Costos variables (por mes) por implementación

Concepto	Costo unitario	Unidades	Total	Motivo	Fuente
Salario mínimo Colombia 2020	\$ 877.803,00	4	\$ 3.511.212,00	Sueldo para cada operario	https://symplifica.com/salario-minimo-2020
Suscripción mensual a Adalo	\$ 173.300,00	1	\$ 173.300,00	Plataforma de aplicación (50USD en 3.466COP)	https://www.adalo.com/pricing
Total por mes			\$ 3.684.512,00		

Fig. 25. Costos variables por implementación (Anexo 10)

No se está considerando reasignar tareas a operarios ya activos en el sistema actual, sino que se asume contratar operarios nuevos, por lo que el costo real podría ser menor.

Costos fijos por implementación

Concepto	Costo unitario	Unidades	Total	Motivo	Fuente
Señal	\$ 800.000,00	3	\$ 2.400.000,00	Señales requeridas, para entrada y por zona	https://www.facebook.com/Megatien.davirtual/photos/a.278345345520849/3817615528260462/
Telefonos inteligentes	\$ 419.900,00	4	\$ 1.679.600,00	Para operario por zona y para entrada	https://www.facebook.com/Megatien.davirtual/photos/a.278345345520849/3817615528260462/

Fig. 26. Costos fijos por implementación (Anexo 10)

Para este apartado, se consideró implementar señalizaciones dentro del parqueadero que ayuden a los usuarios a distinguir las zonas específicas, debido a que, como ya se ha mencionado, estas zonas no están delimitadas en el modelo actual. Se considera el costo específico de los teléfonos inteligentes debido a que se implementaría una plataforma, la cual estaría diseñada para estos dispositivos con el objetivo de facilitar la gestión de las zonas, sin embargo, este apartado es opcional debido a que los operarios podrían contar con dispositivos funcionales para el uso de esta aplicación, es decir, podrían instalar dicho aplicativo en sus propios dispositivos, lo cual evitaría el costo de adquisición de equipos nuevos.

También se tiene en cuenta que los *stickers* que diferencian a los usuarios entre comunidad educativa y colaboradores ya se encuentra considerados dentro del sistema actual y no representan una nueva inversión.

Impacto social

Debido a la situación actual de la pandemia por el COVID-19, resulta imposible ejecutar una prueba piloto del modelo diseñado. En línea con lo anterior se decidió hacer uso del modelo de simulación antes mencionado y realizar una encuesta que permita estimar como sería recibido el proyecto por la comunidad académica, mostrando a los usuarios los resultados de dicho modelo y preguntándoles como percibirían el sistema en caso de ser implementada la propuesta de modelo de operación. Para estimar el tamaño de muestra de esta encuesta, se hizo uso de la ecuación 1, la cual permite calcular un tamaño de muestra para variables cualitativas, adicionalmente, se usó la ecuación 2 para realizar la corrección de población finita al tamaño de muestra calculado con la ecuación 1.

Para el cálculo del tamaño de muestra, p representa la relación de casos favorables del experimento, la cual se calculó haciendo uso de la ecuación 3, en la que se dividió 581, que es la cantidad de plazas totales del parqueadero (es decir que todo el sistema se encuentra lleno) sobre el total de usuarios que hacen uso del sistema en un día normal, el cual se obtuvo de la simulación, la cual arrojó un promedio de 1532 usuarios al día, obteniendo como resultado un 37,92%; Z representa el nivel de confianza obtenido con una distribución normal, que para este estudio se tomó como 90% debido a limitaciones de tiempo y cantidad de usuarios que respondieran la encuesta, obteniendo así un valor Z de 1,64. Finalmente, el valor ε representa el error máximo que se desea considerar en el estudio, el cual fue tomado como el 10% debido a las limitaciones de tiempo y usuarios que se esperaba respondieran la encuesta, por lo que se decidió admitir un error máximo de este porcentaje.

$$n_0 = \frac{(Z)^2(p * (1 - p))}{(\varepsilon)^2}$$

Ecuación 1.

$$n = \frac{n_0}{1 + \left(\frac{n_0}{N}\right)}$$

Ecuación 2.

$$p = \frac{X}{n}$$

Ecuación 3.

Tras aplicar las ecuaciones 1 y 3, se realizó la corrección de población finita, haciendo uso de la ecuación 2, por lo que se obtuvo un tamaño de muestra para la encuesta de 61 personas. Una vez obtenido el tamaño de la muestra, se procedió a aplicar la encuesta a los diferentes usuarios del sistema, obteniendo 62 resultados, con lo que se cubre el tamaño de muestra requerido. Así, los resultados de la encuesta realizada representan información relevante para este estudio, estos se encuentran en el *Anexo 10*, a continuación, se detallan dichos resultados.

Como se observa en la Fig. 27, se preguntó a los usuarios si, en caso de continuarse con una modalidad combinada, estos seguirían haciendo uso del sistema de parqueaderos, con el objetivo de determinar una disminución en la demanda. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se espera que el 74,2% de los usuarios habituales continúen haciendo uso del sistema, por lo que se produciría una reducción del 25,8% en la demanda, lo cual no produciría un efecto considerable en el tiempo de parqueo según los resultados del modelo de simulación, es decir, se presentaría una gran reducción respecto al estado actual del sistema indiferentemente de si la demanda se reduce o se mantiene.

Si el siguiente semestre o posteriores fueran con modalidad combinada y usted tuviera que ir a la universidad ¿Cual de las siguientes opciones representa mejor su situación?

62 respuestas

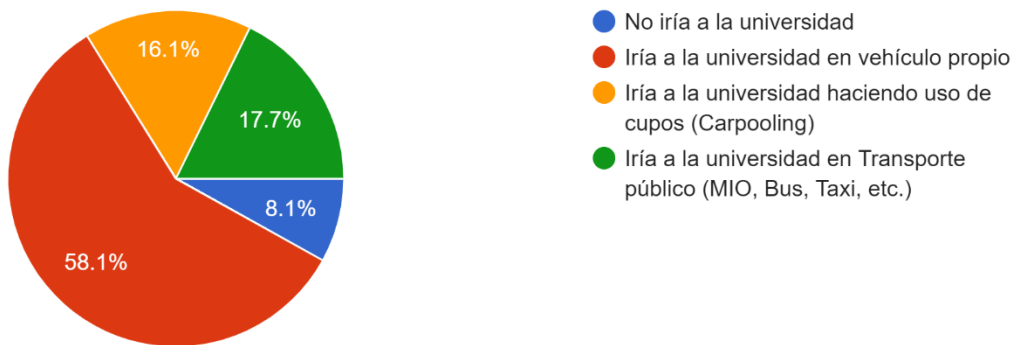


Fig. 27. Resultados encuesta final, demanda (anexo 11)

Como se observa, a pesar de esta posible disminución en la demanda, los cambios esperados para el modelo propuesto no serían realmente significativos en los resultados esperados. Por ende, el tiempo hasta parquear sigue disminuyendo considerablemente en comparación al estado actual del sistema.

Por su parte, se evidencia que el 90,3% de los usuarios acaten las indicaciones de los operarios asignados a cada zona, teniendo en cuenta sus respuestas en la encuesta, las cuales se ven resumidas en la Fig. 28.

Si al ingresar al parqueadero un operario le indicara específicamente la zona (Central, Palmas o Lago) en la que se encuentran más plazas disponibles usted considera que:

62 respuestas

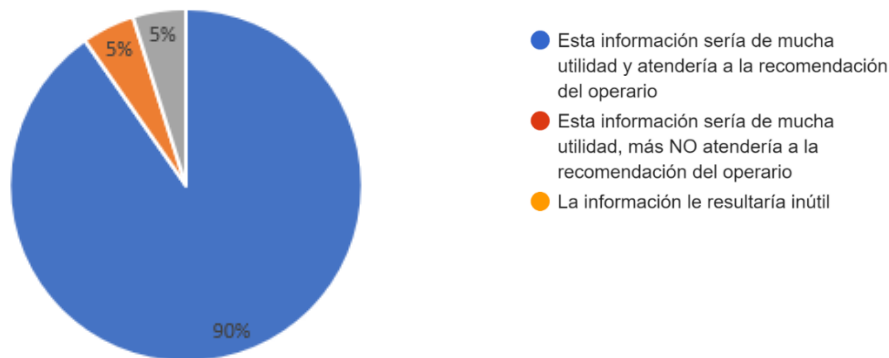


Fig. 28. Resultados encuesta final, atención usuarios (anexo 11)

Como se observa en la Fig. 29. Se estima que el 72,6% de los usuarios consideran que la inclusión de señales dentro del parqueadero podría ser de ayuda.

Si dentro del Parqueadero se incluyeran señales (como se ve en la imagen) para indicar la división y ubicación de zonas de parqueo usted cree que esto

62 respuestas

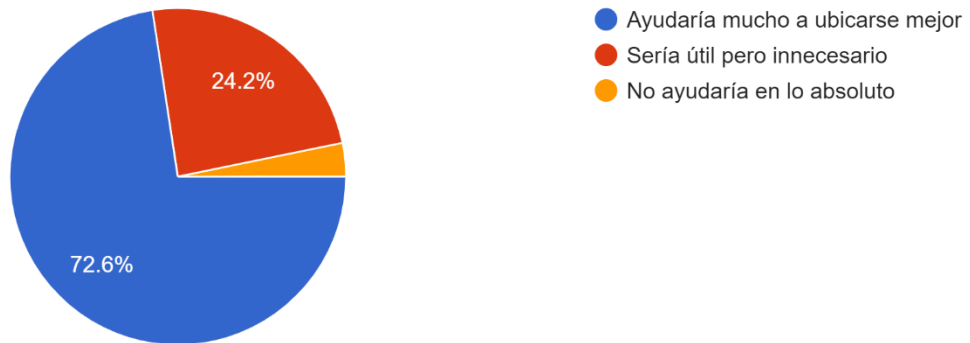


Fig. 29. Resultados encuesta final, señalización (anexo 11)

Así mismo, en la Fig. 30. Se puede evidenciar que se estima que la totalidad de los usuarios estén dispuestos a atender la orientación respecto hacia donde deberían ir según el modelo planteado.

Si una vez en la zona de parqueo usted encontrara un operario que le recomienda una plaza de parqueo cercana usted

62 respuestas

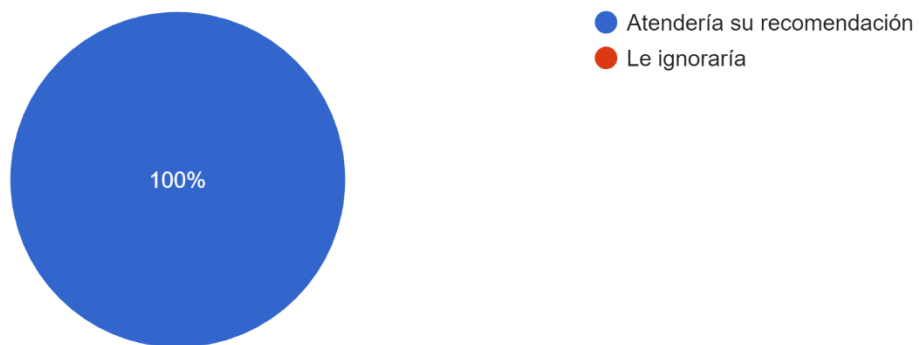


Fig. 30. Resultados encuesta final, señalización (anexo 11)

Como se ve representado en la Fig. 31. En términos generales, la satisfacción de los clientes aumentaría, aunque por la naturaleza de la encuesta no es posible afirmar que se cumpla en totalidad debido a que son supuestos, sin embargo, es válido afirmar que la aceptación aumentaría.

Si se implementan las condiciones anteriormente mencionadas, usted cree que el servicio de Parqueadero sería:

62 respuestas

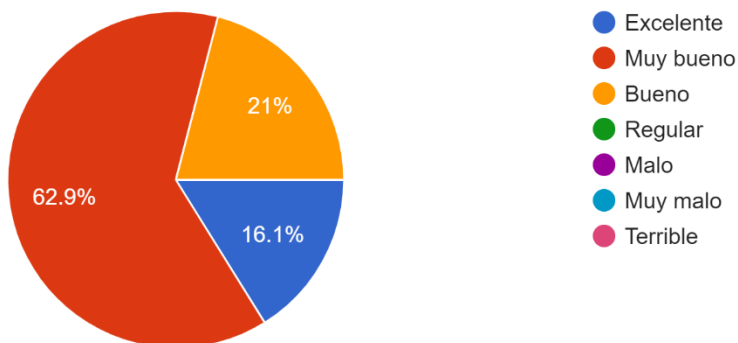


Fig. 31. Resultados encuesta final, percepción (anexo 11)

Impacto ambiental

Con ayuda del modelo de simulación se pudo estimar que, en promedio, el tiempo de parqueo podría reducirse hasta en un 81% lo que implica que cada usuario podría ahorrar hasta 2.72 galones de combustible al año.

B. Estandarización de la solución

Para que el proyecto sea implementado adecuadamente, se hace necesario diseñar, implementar y estandarizar diferentes procedimientos inherentes a la correcta ejecución del proyecto planteado. La ejecución se da de la siguiente manera:

Pontificia Universidad Javeriana			
PROCEDIMIENTO OPERACIONAL ESTANDAR (POE)			
PRESTACIÓN DE SERVICIOS			
Código: PUJP01	Versión: 1	Emisión	Pág.: 1 de 1
Objetivo: Brindar a los usuarios una rápida atención e información clara sobre donde podría parquear			
Indicadores:			
Eficacia (satisfacción del cliente) - Comodidad y seguridad del viaje. Eficiencia (tiempo de parqueo) - Tiempo tomado para encontrar plaza. Consumo de combustible (rendimiento)			
ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	DOCUMENTOS	RESPONSABLES

Arribo de usuarios	Llegada de usuarios a la taquilla	Sticker en zona visible	
Clasificación usuario	Se identifica que tipo de usuario acaba de llegar al sistema y se asigna una zona en la plataforma	Registro en aplicación	Operario en zona de ingreso
Recepción de información de arribo	La plataforma registra la llegada de un usuario al sistema y notifica al operario correspondiente de un usuario aproximándose a su zona	Información en aplicación	Operario en zona de parqueadero
Orientación en zona de parqueadero	El operario identifica al usuario que llega y le indica donde podría parquear	Información en la aplicación	Operario en zona de parqueadero
Registro de salida	El operario identifica la salida de un vehículo de su zona y lo registra en la aplicación	Información en la aplicación	Operario en zona de parqueadero
Elaboro:		Revisó y aprobó:	
Cargo:		Cargo:	

Fig. 32. POE Prestación de servicio (anexo 12)

Se plantea también la necesidad de considerar capacitaciones correspondientes a los operarios para el uso adecuado de la plataforma.

Conclusiones

Se logró establecer un modelo de simulación que reproduce adecuadamente el comportamiento del sistema de parqueaderos y se validó su funcionamiento a través de pruebas estadísticas, las cuales arrojaron que el comportamiento producido por el modelo se asemeja de manera consistente a la realidad. Este modelo fue de mucha utilidad para evaluar el resultado de la propuesta de mejora dentro del sistemas sin necesidad de implementar un prueba piloto debido a las limitaciones de la situación actual.

Se espera que la propuesta de mejora impacte el sistema actual reduciendo tanto del tiempo de parqueo como el consumo de combustible en un 81,83%, incluso si la demanda se ve reducida por la coyuntura actual, lo cual representaría una gran mejora respecto al estado actual del sistema, es decir, que en caso de implementarse el modelo propuesto se podría llegar a reducir dicho tiempo y consumo drásticamente, mejorando así el desempeño del sistema.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a través de la encuesta realizada se espera que los cambios propuestos para el nuevo modelo de operación del sistema de parqueaderos sean ampliamente aceptados por los usuarios, quienes demostraron encontrarse mayormente dispuestos a acoger dicho modelo, pues consideran que los cambios propuestos agregan valor y mejoran el desempeño del sistema.

Finalmente, cabe la posibilidad que el proyecto genere ingresos de manera indirecta debido a que el impacto directo está representado en una mejora del sistema, esto podría aumentar el uso del parqueadero debido a la confianza generada en los usuarios y la mejora de percepción que tienen estos sobre el sistema, lo cual se vería reflejado como un aumento de los usuarios que pagan

la suscripción mensual o semestral para uso del sistema de parqueadero, con el fin de que el sistema pueda garantizar una zona de parque adecuada y disponible en todo momento, este aumento de suscriptores podrían generar aumento de los ingresos actuales.

Recomendaciones

Es importante mencionar que la reducción de costos sería objetiva y mejor para garantizar la implementación del proyecto. Reasignar tareas a operarios ya contratados que cuenten con un teléfono inteligente podría reducir los costos generados por la implementación. Además, de ser posible, se podría contactar con otra oficina dentro de la universidad como el Centro de Servicios Informáticos (CSI) con el objetivo de conseguir el apoyo necesario para la programación y diseño de la aplicación web, con esto se podría llegar vincular directamente a los usuarios desde plataformas propias de la universidad y podría garantizarse un control y seguimiento de actividades más efectivo.

Con la coyuntura actual del COVID-19 a nivel mundial, es complicado predecir con certeza cuándo sería un buen momento para comenzar pruebas piloto de este proyecto. Sin embargo, la implementación podría considerarse con antelación para que los usuarios se puedan familiarizar más fácilmente con este cambio del sistema y así reducir el tiempo de asentamiento de este. De esta forma podría Garantizarse la aceptación y uso adecuado del nuevo sistema de una manera más sencilla, si se planifica implementar el modelo propuesto durante el retorno a la normalidad post pandemia.

Para proyectos futuros que consideren retomar el tema de los parqueaderos y proponer diferentes alternativas, se recomienda realizar los estudios debidos cuando el sistema esté funcionando en normalidad por un tiempo de al menos un mes, pues se desconoce qué factores cambien totalmente o se mantengan en el comportamiento de las personas como individuos y en sociedad tras la vuelta a la normalidad, esto podría ser caso de estudio para otras áreas del conocimiento.

VII.GLOSARIO

CTS: Critical to satisfaction (Crítico para la satisfacción), controlador relacionado con los requisitos del cliente orientados a la satisfacción respecto al proyecto.

CTQ: Critical to quality (Crítico para la calidad) controlador relacionado con los requisitos del cliente orientados a la calidad percibida respecto al proyecto.

CTC: Critical to cost (Crítico para el costo) controlador relacionado con los requisitos del cliente orientados a los costos generados a partir del proyecto planteado.

ONI: Oficina de Negocios Institucionales de la Pontificia Universidad Javeriana Cali.

CSI: Centro de Servicios Informáticos, oficina de la Pontificia Universidad Javeriana Cali

VIII.REFERENCIAS

- [1] “Autoridades de tránsito están en alerta por aumento de carros y motos que se movilizan en Cali.” <https://noticias.caracoltv.com/valle/autoridades-de-transito-estan-en-alerta-por-aumento-de-carros-y-motos-que-se-movilizan-en-cali> (accessed Aug. 25, 2020).
- [2] “Campus Universitario | Pontificia Universidad Javeriana, Cali.” <https://www2.javerianacali.edu.co/campus-universitario#gsc.tab=0> (accessed Nov. 08, 2020).
- [3] “Cali fue la segunda ciudad donde más carros se vendieron en Colombia en 2019.” <https://www.elpais.com.co/economia/cali-fue-la-segunda-ciudad-donde-mas-carros-se-vendieron-en-colombia-en-2019.html> (accessed Jan. 12, 2020).
- [4] “Cambio en la ubicación del parqueadero de cobro de Javeriana Cali | Pontificia Universidad Javeriana, Cali.” <https://www2.javerianacali.edu.co/noticias/cambio-en-la-ubicacion-del-parqueadero-de-cobro-de-javeriana-cali#gsc.tab=0> (accessed Nov. 08, 2020).
- [5] “Propuesta de rediseño para el sistema de parqueaderos de la Pontificia Universidad Javeriana Cali.”

- <http://vitela.javerianacali.edu.co/handle/11522/10026> (accessed Aug. 26, 2020).
- [6] “Con Generación E el Gobierno reemplazará a Ser Pilo Paga - Educación - Vida - ELTIEMPO.COM.” <https://www.eltiempo.com/vida/educacion/con-generacion-e-el-gobierno-reemplazara-a-ser-pilo-paga-284242> (accessed Jan. 16, 2020).
- [7] “Gestión de servicios institucionales y recursos financieros - Inicio.” https://javerianacaliedu.sharepoint.com/sites/Sgc/CGyPC/CG_A5_GSRFin/SitePages/Inicio.aspx (accessed May 01, 2020).
- [8] “Simio 11.” https://www.simio.com/resources/release-notes/notes/version_11_summary.php (accessed May 01, 2020).
- [9] J. S. Smith, D. T. Sturrock, and W. D. Kelton, “Simio and Simulation: Modeling, Analysis, Applications Fourth Edition.” Accessed: May 02, 2020. [Online]. Available: www.simio.com.
- [10] “DISEÑO DE UN MODELO DE CICLO PARQUEADERO INTELIGENTE SOPORTADO EN TECNOLOGÍA RFID/NFC Y APLICACIÓN MÓVIL SOBRE ANDROID PARA LA SEDE DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.” <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5903/1/CruzadoJimenezJoseCarlos2017.pdf> (accessed May 03, 2020).
- [11] “DIA Parking | Canopy Airport Parking.” <https://canopyairportparking.com/> (accessed Jun. 05, 2020).
- [12] “Parking Management Company - Parking Services | Propark Mobility.” <https://www.propark.com/> (accessed Jun. 05, 2020).
- [13] U. Q. and F. S. M. Bachani, “Performance Analysis of Proximity and Light Sensors for Smart Parking,” *Perform. Anal. Prox. Light Sensors Smart Park.*, pp. 385–392, 2016.
- [14] and Y. H. A. O. Kotb, Y. C. Shen, “Smart Parking Guidance, Monitoring and Reservations: A Review,” *IEEE Intell. Transp. Syst. Mag.*, vol. 9, pp. 6–16, 2017.
- [15] C. P. H. and T. T. Chen, “An exploration study for intelligent U-parking system- Case study within HWC campus,” *2010 Int. Conf. Mach. Learn. Cybern. ICMLC 2010*, vol. 5, pp. 2538–2542, 2010.
- [16] T. D. et Al, “Wireless ZigBee Networks for Real-Time Location Systems Introduction,” *J. Exp. Psychol. Gen.*, vol. 136, pp. 23–42, 2007.
- [17] Y. G. and C. G. Cassandras, “A new ‘Smart Parking’ System Infrastructure and Implementation,” *Procedia-Social Behav. Sci.*, vol. 54, pp. 1278–1287, 2012.
- [18] “Internet of Things Approach to Cloud-based Smart Car Parking - ScienceDirect.” <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916321603?pes=vor> (accessed Jun. 06, 2020).
- [19] “What is IoT (Internet of Things) and How Does it Work?” <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT> (accessed Jun. 05, 2020).
- [20] “¿Qué es un sensor de proximidad inductivo? | Fundamentos del sensor: Guía de sensores para fábricas clasificados por principios | KEYENCE.” <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/proximity/info/> (accessed Jun. 05, 2020).
- [21] Google, “Pontificia Universidad Javeriana Cali on Google Maps,” 2020, [Online]. Available: <https://www.google.com/maps/place/Pontificia+Universidad+Javeriana+Cali/@3.3486094,-76.5320085,245m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8e30a1938af71d63:0x636fe0863cf7e12!8m2!3d3.3487239!4d-76.5316285>.
- [22] A. Figueroa, “Análisis Jerárquico total AHP,” 2020.
- [23] A. Figueroa, “Matriz preferencias selección de alternativas,” 2020.
- [24] “[Estudiantes] ¡Llegaron las calcomanías! | Pontificia Universidad Javeriana, Cali.” <https://www2.javerianacali.edu.co/noticias/estudiantes-llegaron-las-calcomanias#gsc.tab=0> (accessed Nov. 08, 2020).

IX.ANEXOS

TABLA IX.
TABLA DE ANEXOS

No. Anexo	Nombre	Desarrollo (propio o terceros)	Tipo de Archivo (PDF, HTLM, Excel, Word...)
1	Anexo # 1 PD1 2020112	Terceros	Excel
2	Anexo # 2 PD1 2020112	Propio	Excel
3	Anexo # 3 PD1 2020112	Terceros	Excel
4	Anexo # 4 PD1 2020112	Propio	Excel
5	Anexo # 5 PD1 2020112	Propio	Simio
6	Anexo # 5 PD1 2020112	Propio	Excel
7	Anexo # 7 PD1 2020112	Propio	Excel
8	Anexo # 8 PD1 2020112	Propio	MS Project
9	Anexo # 9 PD2 2020112	Propio	Simio
10	Anexo # 10 PD2 2020112	Propio	Excel
11	Anexo # 11 PD2 2020112	Propio	Excel
12	Anexo # 12 PD2 2020112	Propio	Excel
13	Anexo # 13 PD2 2020112	Propio	Excel