

Esquemas de implantación de tecnologías inteligentes de transporte en América Latina: estado actual y avances en el ámbito urbano

Esquemas de implantación de tecnologías inteligentes de transporte en América Latina: estado actual y avances en el ámbito urbano

Título:

Esquemas de implantación de tecnologías inteligentes de transporte en América Latina:
estado actual y avances en el ámbito urbano

Depósito Legal: DC2019000303

ISBN: 978-980-422-131-6

Editor: CAF

Vicepresidencia de Infraestructura

Antonio Pinheiro Silveira, Vicepresidente Corporativo

Sandra Conde, Directora de Análisis y Evaluación Técnica de Infraestructura

Autores:

GSD+

Equipo CAF:

Soraya Azán

Milnael Gómez

Daniela Zarichta

Consultores:

Juan Pablo Bocarejo

Julio César Chávez

Equipo Afd Bogotá:

Manon Goutorbe, Encargada de Proyectos de Desarrollo urbano y transporte

Natalia Cárdenas, Responsable de Desarrollo Urbano e Infraestructura

Pierre Jamin, Encargado de Proyectos de Desarrollo urbano y transporte

Equipo Afd París:

Arnaud Dauphin, Jefe de Proyectos de Transporte

Priscille De Coninck, Jefe de Proyectos de Transporte

Jérémie Bonhomme, Coordinador para Perú/Bolivia/Argentina

Dominique De Longevialle, Jefe de Proyectos de Transporte

Diseño gráfico: Estudio Bilder / Buenos Aires

Las ideas y planteamientos contenidos en la presente edición son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no comprometen la posición oficial de CAF.

La versión digital de este libro se encuentra en: scioteca.caf.com

© 2018 Corporación Andina de Fomento Todos los derechos reservados

Índice

1 Introducción	7
2 Características de un SIT	9
3 Metodología	13
4 Perspectivas	17
Perspectiva de servicio	18
Perspectiva operacional	19
Perspectiva tecnológica	20
Perspectiva institucional	21
Perspectiva económica	22
5 Heurísticas	25
Perspectiva de servicio	26
Perspectiva operacional	29
Perspectiva tecnológica	31
Perspectiva institucional	35
Perspectiva económica	45
6 Referencias	47

1 Introducción

Las autoridades de tránsito y transporte, las empresas de transporte, los políticos y tomadores de decisión, buscan implementar sistemas inteligentes de transporte (SIT) para resolver problemas que en muchas ocasiones, no están bien definidos. Son problemas en los que la solución influye en la formulación del problema, pues al conocer lo que es posible hacer, cambia la visión de lo que se quiere hacer.

Cuando los problemas no están bien definidos, una solución que parece adecuada inicialmente, se puede terminar considerando totalmente inapropiada al adquirir más experiencia. Por eso es necesario tener en cuenta el carácter difuso de los problemas que los SIT pretenden resolver y aplicar una metodología que permita progresar desde lo abstracto a lo específico y concreto, tomando decisiones que incorporen factores no medibles como percepciones de valor, seguridad, economía, aceptación política o impacto ambiental, y que se basen en los objetivos de los clientes y usuarios del

sistema. Es particularmente importante realizar un trabajo conceptual y un diseño suficientemente detallado del sistema para que el cliente/patrocinador pueda decidir si va a proceder con su implementación.

Debido a la complejidad de los SIT y los diversos aspectos que se deben considerar al desarrollar tales sistemas, no basta utilizar métodos de ingeniería en esta labor, sino que se requiere aplicar conceptos y herramientas de la arquitectura de sistemas para lograr una implementación y operación exitosas. Estos se caracterizan por ser no-cuantitativos y por basarse en guías derivadas de lecciones aprendidas en la práctica, es decir, heurísticas. Es fundamental entonces conocer las mejores prácticas de implementación de SIT y aplicarlas de forma adecuada, según el contexto local.

El objetivo del estudio es generar recomendaciones prácticas sobre tecnologías y esquemas de operación público-privados de estas, que generen un buen valor agregado a las ciudades de América Latina. Asimismo, se presenta una metodología para el desarrollo de proyectos SIT basada en la elaboración de una arquitectura detallada del sistema y el uso de las siguientes herramientas de diseño: perspectivas y heurísticas identificadas a través del estudio de casos.

También se presenta una guía paso a paso para implementar proyectos SIT con la metodología propuesta.

El resto del documento está organizado en los siguientes capítulos:

- Capítulo 2: Presenta las características principales de un SIT, así como ejemplos de su implementación.
- Capítulo 3: Propone una metodología para la concepción, planeación, diseño e implementación de SIT.
- Capítulo 4: Define varias perspectivas para el diseño de sistemas inteligentes de transporte, cada una de las cuales reúne características y temas comunes. Estas perspectivas guían la construcción de representaciones de un sistema que son complementarias y en conjunto proporcionan una descripción integral del mismo.
- Capítulo 5: Presenta para cada perspectiva, las principales heurísticas identificadas mediante un estudio de casos de implementación exitosa de sistemas inteligentes de transporte.
- Capítulo 6: Lista las referencias bibliográficas utilizadas para elaborar el estudio.

2

Características de un SIT

Los sistemas inteligentes de transporte (SIT) son sistemas complejos que tienen las siguientes características:

- Son sistemas colaborativos, en los cuales no existe un único cliente dueño del sistema, responsable de su desarrollo y operación, sino que requieren la participación voluntaria de múltiples actores para su despliegue y uso.
- Son sistemas distribuidos lógicamente y físicamente, y cuya adquisición, desarrollo y gestión también son distribuidos (entre gobiernos –local, regional, nacional–, empresas públicas, empresas privadas y consumidores).
- Son sistemas multidimensionales y multidisciplinarios.

- Sus objetivos pueden ser inciertos y pueden variar considerablemente durante el ciclo de vida del sistema, de manera que el éxito de un proyecto de SIT no necesariamente depende de alcanzar sus objetivos originales.
- Los usuarios del sistema usualmente son distintos del patrocinador del mismo.
- Se pueden ver influenciados por procesos políticos.

Estas características se evidencian en los casos discutidos en el capítulo 5 del documento. Como ilustración de algunas de ellas, a continuación se describen cinco ejemplos de implementación de SIT en los que se presentaron grandes dificultades por no tener en cuenta todos los aspectos involucrados en este tipo de sistemas.

En la provincia de Gauteng, Sudáfrica, el gobierno implementó un sistema de peajes electrónicos para financiar el proyecto de mejora de las vías en esta región, a pesar de las protestas de varios sectores de la población, algunos miembros del gobierno y el sector privado [1] [2] [3]. Como consecuencia de esta implementación forzosa, la evasión del sistema llegó a ser del 90% en 2014 [4]. Cuando se trata de sistemas que implican la participación voluntaria de múltiples actores, es tan importante el cómo como el qué implementar. Con frecuencia se requieren buenas estrategias de comunicación y gestión del cambio para lograr la aceptación del público de un proyecto de implementación de SIT.

Otro caso interesante de un SIT que fracasó por no definir una estrategia de cambio apropiada es el Sistema Estratégico de Transporte Público (SETP) de Manizales, Colombia. En 2010, aunque los estudios previos indicaban que era necesaria una implementación gradual del sistema [5], este se puso en marcha en su totalidad desde el primer día, incluyendo un sistema automatizado de recaudo. Algunas rutas fueron eliminadas y otras fueron reestructuradas, se aumentó la tarifa y se cambió el modo de pago (de efectivo a tarjeta inteligente) sin hacer la respectiva transición y con una campaña de información insuficiente, provocando que las personas protestaran de forma masiva contra el nuevo sistema y se suspendiera su operación cinco días después de su inauguración [6] [7].

Aunque la tecnología responda a las necesidades y deseos de los usuarios, sin una adecuada planeación que tenga en cuenta factores operacionales y contractuales, entre otros, el SIT puede resultar inútil. Tal es el caso del sistema de recaudo del Trolebús instalado en Quito entre 2007 y 2011 [8] [9]. El sistema usaba tarjetas inteligentes sin contacto (TISC) y fichas (tokens) como medios de pago [10]. Sin embargo, se puso a disposición del público

un número insuficiente de TISC y se presentó un fenómeno de pérdida de fichas en las estaciones de venta y en manos de los usuarios, de manera que se produjo una escasez de medios de pago. El sistema de transporte terminó realizando la operación de recaudo a través de boletos de papel, teniendo como resultado una alta evasión, inconsistencias en el cobro de tarifas diferenciadas e información de recaudo desactualizada y no disponible en línea. El contrato con la empresa operadora del recaudo fue terminado de forma anticipada por incumplimiento del mismo [9] [11] y hasta la fecha no se ha implementado un nuevo sistema automatizado de recaudo.

Asimismo, en Santiago de Chile la implementación de Transantiago (sistema de buses tipo BRT, con recaudo automático a bordo) tuvo problemas de gestión del cambio, planeación e incluso de tecnología. Aunque hoy funciona con normalidad, durante los primeros días el sistema colapsó producto de una puesta en marcha repentina, una red de recarga insuficiente y fallas en la lectura del medio de pago. Adicionalmente, la flota de buses fue insuficiente y las personas se acumularon en paradas y estaciones. En medio del caos, los usuarios terminaron en su mayoría abordando sin pagar y el gobierno de la ciudad tuvo que asumir ese déficit.

En contraste con la sub-oferta del caso anterior, se encuentra el ejemplo de Bogotá. Durante los primeros meses de operación, el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) no recibió la demanda esperada y la ciudad tuvo que cubrir los sobrecostos correspondientes. El sistema generaba ingresos semanales por aproximadamente 400 millones de pesos mientras que los costos eran de alrededor de 1000 millones de pesos [12]. Varios factores contribuyeron a que el sistema no tuviera la acogida esperada: No había suficiente información publicitaria sobre el sistema para incentivar su uso [13]; hubo una baja frecuencia de buses ya que no había mayor incentivo a cubrir la demanda por parte de los operadores de transporte; no se había desplegado una red de recarga y adquisición del medio de pago con cobertura suficiente; y no existía un único medio de pago que permitiera acceder a los diferentes modos de transporte del sistema [14].

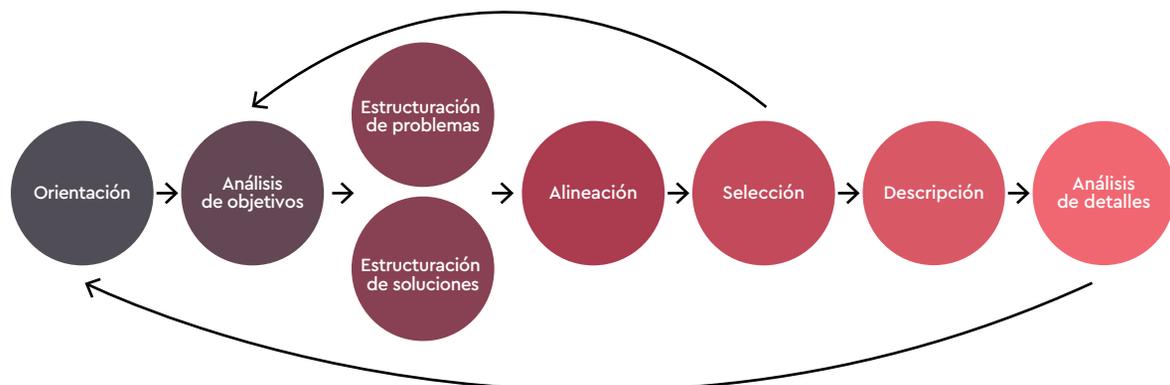
Los anteriores ejemplos demuestran la necesidad de considerar varios aspectos además del tecnológico para lograr la implementación y operación exitosa de un SIT. La tecnología es solo una herramienta para suplir necesidades y no constituye un fin en sí misma. La implementación de un SIT debe ir acompañada de una estrategia que permita la aceptación del público y de los generadores de políticas. En muchos casos, se requiere además que el sistema sea atractivo para el sector privado. Es necesario entonces tener en cuenta aspectos sociales, económicos, técnicos, culturales, políticos y legales al concebir, planear, diseñar, implementar y operar un SIT.

3 Metodología

La metodología utilizada en el presente estudio, se describe en El Arte de la Arquitectura de Sistemas, elaborado por Mark W. Maier y Eberhardt Rechtin [15]. Esta metodología se ilustra en la Figura 1.

Figura 1
Metodología para la concepción, planeación y diseño de un SIT

Fuente: Elaboración propia con base en el modelo de proceso de arquitectura de (Maier & Rechtin, 2009)



La primera actividad consiste en la orientación; es decir, entender de dónde se parte y a dónde se quiere llegar. Esto incluye identificar las características que impulsan el proyecto SIT, determinar cuáles son los principales actores interesados, y entender las relaciones entre el diseñador del sistema, sus patrocinadores y sus usuarios. En la actividad de orientación, se propone un alcance para el proyecto y se planea el desarrollo del mismo. Para ello, Maier y Rehtin recomiendan contestar las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es el sistema de interés? ¿Qué sistema considera el cliente que se debe desarrollar?
2. ¿Cuál es el alcance del sistema de interés? ¿Es un sistema bien definido con un único propósito, un sistema complejo multipropósito o una colección de múltiples sistemas?
3. ¿Cuál es el nivel tecnológico requerido? ¿Se trata de un sistema que se puede implementar con tecnologías maduras, se requiere tecnología de última generación, o aún no existe la tecnología requerida para implementar el sistema?
4. ¿Qué restricciones estrictas existen? (por ejemplo, una fecha de entrada en operación, un límite en el costo) ¿Realmente son restricciones estrictas o son solo supuestos?
5. ¿Qué recursos están disponibles para realizar el proyecto? ¿Es posible obtener más? En caso afirmativo, ¿cómo?
6. Cuando el diseño termine, ¿qué se hará con los productos del mismo? ¿Se utilizarán para comenzar un proceso de compra de un sistema, para contratar su diseño detallado, implementación y operación, para guiar actividades de investigación y desarrollo, para satisfacer un requisito burocrático, o para algún otro propósito?
7. ¿Son consistentes entre sí los objetivos del sistema de interés, el esfuerzo de diseño y la documentación a elaborar?
8. ¿Qué motiva la iniciativa de construir el sistema de interés? ¿Son las necesidades del patrocinador, una tecnología nueva que promete crear valor, o algún otro asunto?

La siguiente actividad es el análisis de los objetivos que el SIT pretende alcanzar. Se trata de determinar por qué el sistema tiene valor. En esta actividad se comienza por entender la estrategia del cliente o patrocinador del sistema. ¿Por qué quiere el sistema (o cree que lo quiere)? Se trata de profundizar en los motivos del patrocinador. Luego se consideran las

necesidades de todos los demás actores que pueden influir significativamente en la eventual construcción, despliegue y operación del sistema.

Después del análisis de objetivos, se desarrolla una estructuración de problemas, organizando las preferencias de los principales actores interesados, sin tener en cuenta inconsistencias entre las preferencias de unos y otros. Se busca evaluar alternativas dentro del sistema de valor de cada actor, de manera independiente. Las inconsistencias se resolverán en una etapa posterior. Mientras que en el análisis de objetivos se aceptan todas las ideas de los actores, aunque sean ambiguas o inviables, la estructuración de problemas busca convertir las preocupaciones de los actores en modelos más rigurosos. Para lograrlo, puede ser necesario producir descripciones de múltiples problemas que difieren un poco en sus alcances y que se deberán resolver de manera separada.

Mientras se estructuran los problemas, también se sintetizan las soluciones. Es conveniente realizar esta actividad en paralelo con la actividad anterior porque al exponer al patrocinador del sistema las diversas alternativas de solución, es probable que cambien sus creencias acerca de la naturaleza del problema. En la actividad de estructuración de soluciones se producen modelos del sistema de interés.

En la actividad de alineación, se integra la descripción de los problemas y de las soluciones, y se evalúa el valor de las parejas resultantes. Esta actividad es una preparación para la selección de soluciones.

En la actividad de selección no necesariamente se elige una única opción. Es posible repetir las actividades descritas varias veces antes de llegar a una configuración de solución preferida. A veces es deseable tener en cuenta múltiples soluciones posibles e incluso múltiples descripciones de problemas a lo largo del análisis. No se deben tomar decisiones antes de tiempo. En esta actividad también es posible decidir abandonar el proyecto del todo.

Si se decide continuar con el proyecto, se iteran las actividades anteriores hasta llegar a una configuración de solución. Luego es necesario documentar las decisiones tomadas. Esto se hace en la actividad de descripción. Aunque las decisiones se pueden documentar a medida que se vayan tomando, en esta actividad la descripción se perfecciona y se garantiza que esté completa.

Finalmente, durante el proceso es posible que se identifique información faltante que sea fundamental para la toma de decisiones. En ese caso, se recomienda realizar supuestos y continuar con el análisis, retomando los temas inciertos en la actividad de análisis de detalles. En dicha actividad se

estudian los temas pendientes y con los resultados se vuelve a iterar el ciclo completo, como se indica en la Figura 1.

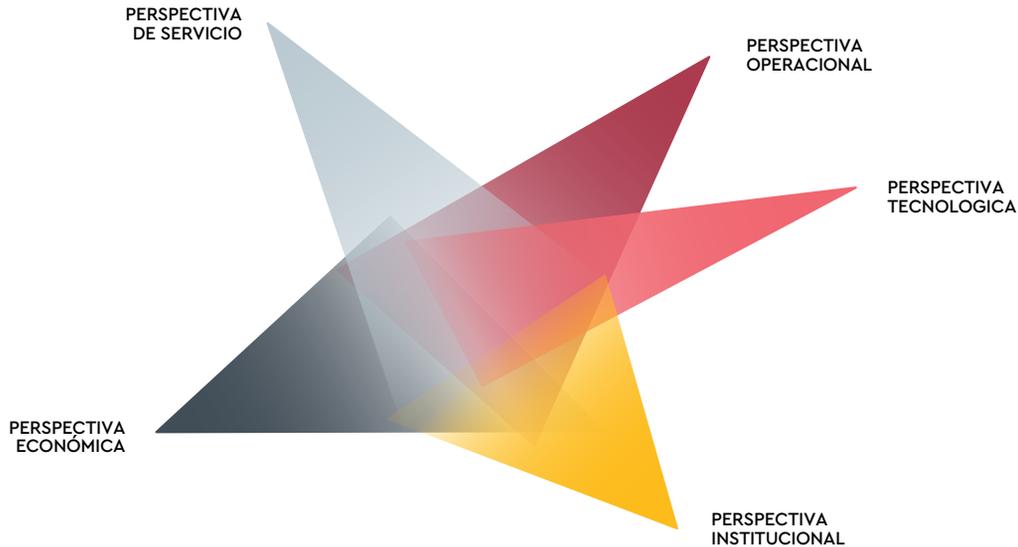
En todas las actividades de esta metodología, especialmente en la estructuración de problemas y la estructuración de soluciones, se deben construir modelos que faciliten la comunicación con el cliente, el usuario, el eventual constructor del sistema y otros actores de interés. Se recomienda que cada modelo se construya enfocándose en una perspectiva particular del sistema. En el próximo capítulo se definen las perspectivas que el equipo consultor propone utilizar para el diseño de sistemas inteligentes de transporte.

El producto de la metodología anterior es la arquitectura del SIT, la cual incluye un conjunto de modelos con el nivel de detalle requerido para permitir una implementación exitosa. Dadas las perspectivas definidas en el capítulo 3 y las heurísticas propuestas en el capítulo 4, al completar la arquitectura del sistema, el patrocinador del mismo tendrá herramientas suficientes para seleccionar una forma adecuada de contratar su diseño detallado, implementación, operación y mantenimiento.

4 Perspectivas

La metodología descrita en el capítulo anterior permite organizar las actividades necesarias para elaborar la arquitectura de un SIT. En cada una de estas actividades se deben tener en cuenta varios puntos de vista del sistema con el fin de capturar toda la complejidad del mismo. A continuación se proponen cinco perspectivas que se complementan para caracterizar de manera integral un SIT, como se ilustra en la Figura 2.

Figura 2
Perspectivas para el diseño de un SIT
Fuente: Elaboración propia



Perspectiva de servicio

Se refiere a la experiencia del usuario al interactuar con el sistema y permite identificar cómo estas interacciones responden a sus necesidades. Esta perspectiva debe ser el punto de partida para el diseño de sistemas SIT (Ver heurística modelo de servicio). Desde esta perspectiva deben identificarse los diferentes tipos de usuarios del sistema, sus necesidades y la experiencia que cada uno de estos tiene al interactuar con el sistema. También debe establecerse cuantitativamente cómo se medirá la calidad del servicio del sistema.

Aunque no todos los usuarios del sistema tienen las mismas características, es posible agrupar en segmentos aquellos con preferencias similares. Por ejemplo, cuando se trata de sistemas electrónicos de recaudo es común hablar de estudiantes, personas de tercera edad y usuarios con discapacidad física. Otro caso es el de peajes electrónicos, es posible hablar de usuarios frecuentes en vehículos particulares o vehículos de transporte público y vehículos de carga.

Cada segmento de usuarios tiene sus propias necesidades y su propia percepción del sistema, es por esto que es importante no dejar de lado

ninguno de ellos. Para ello es necesario trabajar directamente con cada segmento para conocer sus necesidades específicas. Una vez identificadas las necesidades de cada segmento, debe definirse cuáles son complementarias con el fin de priorizar y seleccionar las necesidades que serán resueltas por el SIT.

A partir de las necesidades seleccionadas se debe desarrollar una lista de requerimientos funcionales y dividir el SIT en subsistemas que implementen pequeños grupos de requerimientos. Esto permite abordar el sistema con una complejidad menor. La definición de cada subsistema debe contemplar todos los posibles escenarios a los que se van a enfrentar los usuarios.

Desarrollar la experiencia del usuario consiste en definir cómo cada escenario de cada subsistema resuelve las necesidades de los usuarios. Esta definición debe ser el punto de partida para la elaboración de procesos (ver 4.2 Perspectiva operacional).

Finalmente, debe definirse la forma para medir el cumplimiento de los requerimientos funcionales establecidos. Es preferible que esta medición sea cuantitativa ya que es más fácil y claro si el sistema está cumpliendo su objetivo.

Desde la perspectiva de servicio es fundamental que se ejecuten las siguientes tareas:

- Identificar las necesidades de cada tipo de usuario que deben ser atendidas por el SIT.
- Identificar las funciones específicas que debe incorporar el proyecto SIT para satisfacer las necesidades de cada tipo de usuario.
- Validar las funciones específicas con cada tipo de usuario, para garantizar la alineación entre las necesidades y las funciones para satisfacerlas.
- Describir detalladamente las funciones validadas para el cumplimiento de las necesidades de cada tipo de usuario.
- Identificar y definir todas las interfaces con el usuario.

Perspectiva operacional

Contempla los procesos operacionales que se deben realizar para suministrar adecuadamente los servicios identificados en la perspectiva de

servicio. Para cada proceso operacional identificado se debe especificar: i) el responsable del proceso, ii) los actores involucrados en el proceso, iii) las entradas y salidas del proceso, y iv) la descripción detallada del proceso partiendo de sus entradas y finalizando con sus salidas.

Los siguientes aspectos operacionales de un SIT deben definirse con especial cuidado porque afectan considerablemente el cumplimiento de los niveles de servicio del sistema:

- Es necesario diseñar e implementar programas para divulgar los beneficios del sistema; así como, para proporcionar capacitación a los usuarios sobre el uso. Los canales de difusión y comunicación deberán definirse considerando las características del sistema y el perfil de los usuarios.
- Gestión de la configuración es el proceso mediante el cual los cambios, solución de defectos y las actualizaciones al sistema son atendidos y documentados. El objetivo de este proceso es poder identificar claramente los cambios que afecten la operación, mantener la trazabilidad de los requerimientos y contar con una base de conocimiento disponible que permita hacer frente a cambios de personal. En relación con este elemento se debe garantizar:
 - Documento maestro o inventario de los componentes o documentos bajo control
 - Proceso de gestión de la configuración, que identifique actividades y responsables
 - Herramientas para tener trazabilidad de los cambios

Perspectiva tecnológica

Se refiere a la tecnología necesaria para suministrar los servicios a los usuarios y ejecutar los procesos operacionales. La perspectiva debe incorporar la caracterización de los componentes que integran la arquitectura tecnológica y las interfaces entre componentes. La perspectiva también debe incorporar la descripción de requerimientos funcionales y no funcionales de la plataforma tecnológica.

En relación con la tecnología, los aspectos principales de un SIT que deben considerar quienes formulan políticas sobre los sistemas son los siguientes:

- El uso de estándares técnicos favorece la flexibilidad y escalabilidad del sistema (ver 4.3.1 Implementar estándares internacionales)

- Definición y selección de la plataforma tecnológica. Algunas de las recomendaciones dentro de estas actividades incluyen:
 - Posponer la selección de la tecnología a utilizar hasta tener los requerimientos funcionales y no funcionales, tratando de que la brecha entre la fecha de selección y el momento de la implementación sea el mínimo posible. Lo anterior, considerando los constantes avances tecnológicos y el posible cambio en las tendencias de mercado.
 - Facilitar el diseño e implementación de sistemas complejos mediante el fraccionamiento del alcance del sistema en subsistemas.
 - Identificar dentro de la tecnología en operación (si existe) elementos que puedan ser incorporados al nuevo sistema, esto debe permitir satisfacer los requerimientos del sistema y evitar incurrir en costos adicionales.
 - Definir los requerimientos de seguridad del sistema.
- Integración con otros sistemas inteligentes de transporte
- Propiedad de los datos y acceso a ellos

Perspectiva institucional

Define la forma en que se distribuyen las tareas entre entidades gubernamentales y privadas para llevar a cabo la concepción, diseño, implementación, operación y financiamiento del sistema.

La gestión de interesados en el sistema (*stakeholders*) consiste en la identificación de los actores que realizarán el diseño, implementación, operación, financiamiento, uso, que tendrán interacción o se verán afectados por el sistema. Para estos actores deben definirse los roles y responsabilidades; así como una clasificación según su naturaleza como entidades gubernamentales o privadas. El esfuerzo requerido para realizar la identificación y caracterización de los actores es directamente proporcional al número de actores y sus interacciones. Debe garantizarse en la identificación de interesados:

- Propender porque todos los actores relevantes sean identificados al inicio del proyecto, puesto que la incorporación tardía de requerimientos o restricciones de los actores tendrá impactos directos en el tiempo y costo de la implementación y la operación del sistema.
- Definir mecanismos que permitan a los actores definir sus requerimientos junto a un procedimiento para realizar la validación de los mismos y establecer una metodología para la jerarquización o priorización de las necesidades de los diferentes actores.

La gestión de adquisiciones involucra la selección de la estrategia y del modelo de contratación de los sistemas SIT en función de la fase en que se encuentren los diseños o requerimientos del sistema (conceptual o detallado), la complejidad del sistema, los tiempos requeridos de implementación, como se desea realizar la asignación de riesgos, la capacidad de la entidad contratante, la interdependencia con otros sistemas, entre otros. Para ello debe tenerse en cuenta:

- Una definición previa de cómo se desea realizar la asignación de riesgos entre las partes involucradas en el contrato. La selección adecuada del modelo de contratación permite asignar los riesgos y tareas a los actores eficientemente. La asignación eficiente debe permitir que las tareas sean realizadas por el actor más idóneo.
- El modelo de contratación debe ser seleccionado teniendo en cuenta la capacidad de la entidad contratante, la complejidad del sistema y los tiempos requeridos de implementación.
- Por otra parte, es relevante incorporar en los contratos de los actores niveles de servicio que sean fácilmente medibles. Esto facilita la fiscalización de la operación de los actores y la generación de multas oportunamente.

También debe tenerse en cuenta dentro de esta perspectiva el desarrollo de acuerdos de colaboración interinstitucional para implementar SIT interoperables a nivel local, regional y nacional.

Perspectiva económica

Esta perspectiva aborda el proyecto SIT desde el análisis socioeconómico, el análisis financiero y análisis comercial. Dado que los SIT son sistemas sociales, que involucran personas e interacciones entre estas para su funcionamiento, es pertinente diseñar el sistema teniendo en cuenta las repercusiones que trae la implementación del sistema en la sociedad. Específicamente esta perspectiva debe responder las preguntas de los cuatro quién: ¿Quién se beneficia?, ¿Quién paga?, ¿Quién provee? y ¿Quién pierde?

Un análisis económico del SIT debe develar los ganadores con su implementación y qué ganan, en términos no monetarios. Parte de este análisis es desarrollado en conjunto con la perspectiva de servicio, ya que el sistema debe estar orientado a que sean los usuarios del sistema quienes se beneficien.

La respuesta a la segunda pregunta corresponde a la definición del financiamiento del proyecto en la etapa de operación. La decisión de si quien paga

es el usuario final u alguna entidad, debe incorporar el dimensionamiento del SIT en Capex y Opex, teniendo en cuenta los requerimientos identificados en las otras perspectivas. Determinar el costo del proyecto es un insumo para determinar la forma en que será pagado. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el verdadero valor de un servicio está determinado por lo que sus usuarios estén dispuestos a pagar por él. Por lo tanto, el costo del proyecto más un porcentaje de utilidad no es necesariamente el precio que se deba pagar. Este porcentaje debe ser bien estudiado.

La perspectiva económica también incluye los principios del financiamiento y remuneración de los diferentes actores del sistema. Tanto la remuneración de los proveedores de servicios como la remuneración de los proveedores de la plataforma tecnológica. La remuneración a los actores puede incluir factores de calidad. Los factores de calidad representan un incentivo para el cumplimiento contractual de los actores de los sistemas de SIT.

Finalmente, un SIT no puede satisfacer todas las necesidades de todos los tipos de usuarios y es por esto que debe tenerse en cuenta que habrá un conjunto de personas que no perciban un beneficio del sistema. Es fundamental determinar un balance entre los sacrificios que hacen tanto perdedores como ganadores para hacer posible el sistema.

Desde la perspectiva de económica es fundamental tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Contar con pleno conocimiento de la legislación local en materia de fondeo de proyectos SIT.
- Identificar múltiples fuentes de financiamiento y generar fondos de contingencias para costos inesperados.
- Hacer análisis de sensibilidad y estimaciones sobre las variables con incertidumbre (ver heurística de sensibilidad y estimaciones precisas).
- Construir fórmulas de remuneración a los actores que incorporen el cumplimiento de los niveles de servicio incorporados en sus contratos.

El análisis desde las perspectivas, es un proceso iterativo en el que cada perspectiva retroalimenta y genera restricciones sobre las demás. Por ejemplo, en la perspectiva de servicio se identifican en primera instancia un conjunto de servicios de cara al usuario. Posteriormente, esos servicios se ven reflejados en las características de la plataforma tecnológica y por ende en los costos de inversión y de operación del sistema. De no obtener los resultados financieros deseados, se genera una nueva iteración en el análisis.

5 Heurísticas

En este capítulo se describen un conjunto de heurísticas que fomentan el éxito en el diseño, implementación, contratación y operación de proyectos SIT. Estas heurísticas capturan las mejores prácticas de desarrollo de SIT asociadas a cada una de las cinco perspectivas definidas en el capítulo anterior. Para cada heurística se presenta una descripción y al menos un caso de estudio que la ejemplifica.

Perspectiva de servicio

Enfocar el servicio al usuario final del sistema

Descripción

El punto de partida de la estructuración y el diseño de SIT debe ser la definición del modelo del servicio. Un SIT centrado en el modelo de servicio debe:

- **Satisfacer las necesidades específicas de los usuarios pertenecientes a cada segmento.** El modelo de servicio debe tener en cuenta que no todos los usuarios tienen las mismas características y necesidades. Es necesario que el sistema contemple las características del mayor número de segmentos de usuarios posible, de modo que esto favorezca su masificación. Adicionalmente, es importante tener en cuenta que la implementación de un sistema no siempre trae beneficios a toda la población involucrada. El sistema debe tener medidas complementarias que contrarresten o mitiguen las consecuencias negativas para ese pequeño porcentaje de personas.
- **Simplificar la experiencia del usuario.** El sistema debe ser lo más simple posible para el usuario. Lo anterior favorece la aceptación del sistema por la ciudadanía y satisface el principal objetivo de los proyectos SIT que es mejorar la calidad de vida de los usuarios.
- **Brindar la mayor cantidad de información al usuario.** Debe suministrarse información a los usuarios de manera oportuna y constante, antes y durante el funcionamiento del sistema; lo primero con el fin de presentar a los usuarios la operación, los procedimientos más comunes y los beneficios del sistema; y lo segundo para mantener a las personas actualizadas. Por ejemplo, es importante brindar información oportunamente al usuario cuando el sistema va a tener una transición. Los sistemas inteligentes de transporte deben tener diferentes canales de información que permitan a cualquier usuario resolver sus dudas de manera ágil.

Caso de estudio

Implementación del proyecto SIT de Washoe County, Nevada.

En 2007, la Comisión Regional de Transporte (RTC, del inglés *Regional Transportation Commission*) de Washoe County implementó un proyecto SIT con funcionalidades como localización automática de vehículos,

prioridad de tránsito en semáforos y conteo automático de pasajeros. En 2010, la RTC realizó un estudio para evaluar el proceso de implementación del proyecto donde se revisó, entre otros aspectos, el contexto social y demográfico del condado, el proceso de implementación detallado, desde su planeación hasta su construcción y despliegue, y una descripción de los sistemas, su funcionamiento y el impacto que tuvo en la región. En este estudio, dentro de las lecciones aprendidas, se resaltó que uno de los factores que se deben tener en cuenta cuando se contrata un SIT es la revisión de los requerimientos técnicos antes de ser publicados. Dicha revisión debe hacerse con los futuros usuarios del sistema, técnicos y no técnicos, ya que su información es sumamente valiosa y debe reflejarse en los requerimientos del sistema antes de ser publicados para contratación. En el SIT de Washoe County, los usuarios eran funcionarios al interior de RTC, y fueron estas personas las que refinaron los requerimientos de acuerdo con su experiencia y necesidades. Adicionalmente, esta revisión permitió que los usuarios del sistema conocieran de antemano en qué consistía el proyecto y cómo los beneficiaría. Por último, se menciona que la tarea de definición de requerimientos consume bastante tiempo y por lo tanto debe evitarse cometer errores para no tener retrasos en la implementación del proyecto [16] [17].

Desarrollar un diseño detallado previo a la contratación del proyecto

Descripción

Debe desarrollarse un diseño del sistema con el suficiente nivel de detalle para permitir una estimación precisa de los costos y la alineación de las soluciones propuestas con los requerimientos funcionales del sistema. La elaboración del diseño previo a la labor de contratación permite:

- **Estimar el esquema de financiamiento.** El diseño detallado tiene todas las piezas necesarias para hacer una primera estimación del modelo financiero del proyecto. Por lo tanto, también es posible plantear alternativas sobre el modelo comercial y el financiamiento del proyecto.
- **Contratar el sistema con una noción de su costo.** Para las entidades gestoras de proyectos SIT es conveniente establecer un rango para los costos del sistema a implementar con los requerimientos técnicos exigidos y la remuneración necesaria.
- **Refinar y ajustar las características del sistema antes y durante su construcción.** El diseño detallado de un proyecto SIT permite desarrollar discusiones con los actores involucrados en el proyecto y descubrir mejoras o restricciones que deban ser tenidas en cuenta en una siguiente

iteración. Asimismo, la estimación de costos también es una retroalimentación importante para adaptar servicios, procesos o infraestructura que no sean sostenibles en el tiempo.

- **Prever restricciones mucho antes de tener que encontrarse con ellas.** Un ejemplo de estas restricciones es la falta de legislación para un nuevo sistema, o una legislación existente que vaya en contravía del sistema propuesto. Cambiar una ley es un proceso extenso y complejo. Si se desarrolla el diseño previo, es posible anticiparse a este tipo de situaciones y tener el marco legal listo para que el sistema entre en operación sin retrasos.
- **Definir las etapas y el plazo de implementación.** Es posible estimar la duración del proyecto y los hitos en el proceso de implementación con base en las características que serían desarrolladas de acuerdo con el diseño detallado. Es posible que estas etapas y su duración cambien conforme avanza el proceso de diseño, pero permite hacer una planeación a corto y mediano plazo.

El diseño detallado o "diseño de bajo nivel", es una descripción de los servicios del sistema suministrados a los usuarios. Para la definición de funcionalidades pueden ser usados desde diagramas de flujo y escenarios, hasta casos de uso, dependiendo de la complejidad del sistema. En este primer paso debe tenerse en cuenta también la heurística: "Enfóquese en el servicio al usuario final del sistema". Una vez que se hayan identificado las funciones del sistema, deben ser definidos los procesos operacionales necesarios para que dichas funciones sean llevadas a cabo. Finalmente, deben ser definidos los requerimientos técnicos de la infraestructura tecnológica para que esta cumpla con los servicios y procesos definidos, sin seleccionar equipos o marcas específicos que afecten la pluralidad de oferentes y la flexibilidad de la solución.

Caso de estudio

Sistema de cobros por congestión en el centro de Londres

Previo a la implementación del sistema de cobros por congestión en la ciudad de Londres (2003), se hicieron varios estudios para determinar la viabilidad del proyecto (desde los años 60) [18]. Dos importantes y rigurosos estudios se realizaron recientemente. El primero fue desarrollado en 1995 [19], dentro del cual se analizó el impacto social, urbano y económico producido por la implantación de cobros por congestión. En sus resultados más relevantes, se concluyó que económicamente el proyecto era viable para la ciudad, reduciría los tiempos de viaje y los niveles de emisión de

CO y CO₂ al interior de la zona de cobro, pero no existía en su momento tecnología que permitiera la adecuada fiscalización del sistema. El estudio proponía la implementación de dispositivos a bordo de los vehículos, lo que implicaba también mayores costos.

En el segundo estudio, desarrollado en 2000 [20], se analizaron varias alternativas de implementación de los cobros por congestión, una de las cuales era la utilización de cámaras y reconocimiento de caracteres (ALPR) para el cobro, que sería la alternativa finalmente escogida por el gobierno de la ciudad. En este estudio también se evidenció que el tráfico dentro de la zona de cobro disminuiría. Esta vez los costos del sistema eran menores que los presentados en 1995 [21]. Políticamente, el proyecto se diseñó para ser implementado antes del término del periodo del alcalde que sería elegido ese mismo año, lo cual influyó en la selección de la tecnología [20].

Perspectiva operacional

Respete la autonomía de procesos internos de los actores como sea posible

Descripción

Un sistema interoperable debe garantizar la integración de entidades. La integración a nivel de gestión es más efectiva que la integración a nivel de operaciones. Esto permite:

- **Continuar la ejecución de procesos de manera familiar en cada entidad.** La integración a nivel de procesos puede ser compleja ya que la forma en que cada entidad desarrolla sus operaciones diarias puede variar significativamente del resto. Además, requiere una coordinación más detallada entre personas encargadas de desarrollar procesos específicos [22].
- **Reducir el tiempo de implementación del sistema.** Cuantos menos procesos nuevos deban adoptar los actores del sistema interoperable, menos tiempo de aprendizaje requerirán. Asimismo, cuantos más procesos se conserven, mayor es la experiencia que es aprovechada.
- **Mayor aceptación del cambio.** Las entidades existentes van a cooperar más si no se ven forzadas a modificar radicalmente su metodología de trabajo para la integración del sistema. Esto es especialmente importante para los procesos relacionados a manejo de valores y rendición de cuentas. Tampoco se quiere decir que se sacrifique la transparencia del sistema,

los procesos deben ser ejecutados oportunamente y las salidas de cada proceso deben ser los mismos sin importar el actor. Si se requiere un cambio importante en los procesos que vienen realizando los futuros actores del sistema, este cambio debe ser gradual y acompañado de capacitación.

- **Aprovechar mejor los recursos humanos y financieros.** La integración de procesos de negocio a nivel de gestión permite optimizar el personal y los recursos de cada entidad. Puede que sean necesarios cambios, pero deben ser a nivel institucional y no a nivel de procesos.

Los procesos estandarizados e interoperables deben quedar consignados en un manual de operaciones, que será la guía a la que se deben referir los operarios del sistema diariamente. Deben incluir las operaciones propias del sistema, pero también procedimientos de mantenimiento, de solución de problemas y contactos de soporte. Adicionalmente, para que la autonomía otorgada a las entidades funcione deben quedar claros los indicadores de servicio, la forma en que serán medidos y los niveles esperados.

Observar cada entidad como un subconjunto de operaciones facilita la actividad de integración. Es más fácil desarrollar interfaces simples que conecten subsistemas con mediana complejidad y que ya están implementados, que procurar que todas las entidades desarrollen un único proceso en un sistema demasiado complejo. Adicionalmente, las nuevas entidades que deban ser creadas para el funcionamiento del sistema, así como las futuras que sean necesarias, sí deben implementar completamente el manual de operaciones.

Caso de estudio

Sistema regional para archivo de datos (RADS, del inglés Regional Archived Data System) de Aztech.

AZTech es una asociación regional para la gestión del tráfico en el área metropolitana de Phoenix, Arizona. Como parte del programa AZTech se implementó el RADS. RADS es un sistema que consolida información de SIT de la región, la almacena en un servidor centralizado y la hace disponible para consulta de los interesados a través de una interfaz web [23]. El sistema permite recopilar y consultar información del estado del tráfico, incidentes, cierres de vías, emergencias reportadas al 911 de Phoenix, entre otros, en tiempo real, y usa esta información para predecir tiempos de viaje.

El éxito del sistema fue pasar de simples archivos de agencias a un gran archivo general para información de tráfico a través de la cooperación de autoridades locales, regionales y estatales. La solución permitió a las agencias

compartir su información sin comprometer sus redes individuales. Durante la implementación del RADS, las agencias participantes expusieron sus requerimientos para ser tenidos en cuenta en el desarrollo de las operaciones y firmaron un acuerdo de colaboración. Posteriormente, desarrollaron los requerimientos para tratar los aspectos funcionales, operacionales y de seguridad. Finalmente, las agencias tuvieron que ajustar sus propios sistemas únicamente para completar la interfaz con el RADS [24].

Perspectiva tecnológica

Implementar estándares internacionales

Descripción

La implementación de estándares internacionales en proyectos SIT fomenta la flexibilidad, escalabilidad e integración del sistema. La implementación permite:

- **Favorecer la interoperabilidad técnica y comercial de la solución.** La interoperabilidad es un factor fundamental en materia de SIT. La interoperabilidad técnica por su parte, garantiza compatibilidad tecnológica de los sistemas SIT, esto significa que las soluciones provistas por múltiples proveedores pueden operar técnicamente cumpliendo con las funcionalidades operacionales y de servicio necesarias. La interoperabilidad comercial, garantiza la existencia de acuerdos interinstitucionales para el intercambio de dineros e información que permiten la operación conjunta de múltiples instituciones. Tanto la interoperabilidad técnica como la interoperabilidad comercial son necesarias para tener un sistema globalmente interoperable. Los estándares deben desarrollar y garantizar ambos tipos de interoperabilidad, para cada aplicación SIT.
- **Fomentar la pluralidad y competencia de proveedores.** Con la existencia de un conjunto de estándares robustos, los proveedores inician el proceso de construcción de tecnologías que cumplan con dichos estándares. Además, buscan agregar funcionalidades y características adicionales que les permitan ofrecer un factor diferenciador de los demás proveedores. La existencia de múltiples proveedores suministrando tecnologías que cumplan con estándares incentiva la competencia. La competencia permite la reducción de los costos de adquisición y renovación de los sistemas SIT. Finalmente, limita el poder del proveedor sobre el sistema, ya que sus equipos deben ser interoperables y el ente gestor no está obligado a la renovación de la tecnología con un único proveedor.

- **Favorecer la reducción del tiempo y costo de implementación.** La existencia de tecnologías ya diseñadas y homologadas por estándares internacionales, favorece la disponibilidad y el tiempo de adquisición de las mismas. Además, como se menciona anteriormente, fomenta la competitividad y la reducción en costos de adquisición y renovación de equipos.
- **Favorecer los niveles de privacidad de la información de acuerdo con las políticas públicas de cada país.** La construcción de estándares se realiza en el marco de las políticas públicas de cada país, es por esto que los requerimientos de seguridad del país se ven reflejados en los estándares construidos y por ende en las tecnologías adquiridas. Esto se extrapola para componentes de cara al usuario, como por ejemplo la inclusión de segmentos especiales en las soluciones SIT y las implicaciones que esto genera en las plataformas tecnológicas.
- **Mitigar la obsolescencia prematura de la plataforma tecnológica.** Los sistemas SIT representan costos de inversión significativos para las ciudades. Es por esto que el tiempo de vida de los equipos es un factor decisivo para su adquisición. El adquirir equipos que cumplen con estándares internacionales permite a los proveedores garantizar que los equipos permanezcan operativos y funcionales durante su tiempo de vida.

Reducir los costos de ciclo de vida. El mantenimiento de la plataforma tecnológica de los equipos representa un componente importante en los costos del ciclo de vida de los sistemas SIT. Tener certeza del cumplimiento de estándares de la plataforma tecnológica, permite que los operadores de la tecnología sean capaces de operar sus sistemas sin tener la necesidad de aprender un conjunto diferente de parámetros de funcionamiento para cada componente del mismo tipo de la arquitectura tecnológica, reduciendo los costos de entrenamiento y mantenimiento [25].

La selección de estándares internacionales debe realizarse teniendo en cuenta los objetivos de política pública, las tecnologías existentes y los requerimientos funcionales y no funcionales de la plataforma tecnológica a implementar.

Caso de estudio

Estandarización e interoperabilidad a nivel nacional mediante la implantación de estándares para la gestión del tráfico urbana en el Reino Unido

Los objetivos del proyecto fueron: i) desarrollar especificaciones y estándares para las autoridades viales y proveedores del sistema, para garantizar la interoperabilidad entre los sistemas de gestión de la red, y ii) desarrollar una

base de datos común para que los datos se compartan entre diferentes sistemas. El alcance de la plataforma tecnológica del proyecto incorpora sistemas semafóricos urbanos, sistemas de información al usuario en tiempo real, señales de mensaje variable, cámaras de reconocimiento automático de matrículas, CCTV¹ y detección de tráfico. La adopción de estándares permitió: i) mejorar la capacidad de gestión de la red, reduciendo la congestión vehicular; ii) reducir los costos de comunicación por uso compartido de canales; iii) mejorar la eficiencia de los sistemas existentes, a través del uso por parte de múltiples instituciones de la información centralizada; iv) abrir la competencia entre proveedores y v) eliminar la atadura a un único proveedor.

Implementar programas piloto

Descripción

La implementación de programas piloto permite presentar resultados rápidos al público a la vez que retroalimenta el proceso de diseño. Por ejemplo:

- **Los gobiernos pueden hacer más visibles los resultados preliminares.** En ocasiones los proyectos requieren ser implementados en un periodo de tiempo reducido debido a decisiones políticas. Sin embargo, al implementar un piloto no es necesario desplegar el sistema en su totalidad, por el contrario es posible revelar al público avances del proyecto a la vez que el diseño e implementación siguen su curso normal.
- **Permite a los usuarios conocer el sistema antes de que entre en operación.** Por un lado, los usuarios pueden comprender en qué consiste el proyecto de manera progresiva y hacer menos traumático el cambio de tecnología, si es el caso. Adicionalmente, el hecho de que los usuarios experimenten con el programa piloto permite a la entidad gestora identificar el grado de dificultad de su uso, así como el nivel de aceptación del público y recibir sugerencias basadas en la experiencia del usuario.
- **El diseño del sistema puede ajustarse con base en los resultados del piloto.** La información que provee la puesta en marcha de un piloto es valiosa. Permite mejorar procesos deficientes, descartar procesos inútiles, mejorar la experiencia del usuario y definir el modelo de negocio.
- **Se ve el sistema funcionando a un costo mucho menor comparado con el costo del sistema completo.** Esperar hasta la implementación final del sistema para saber si cumple con las expectativas es un alto riesgo,

1. CCTV (Closed Circuit Television) tecnología de video-vigilancia diseñada para supervisar una diversidad de ambientes y actividades.

especialmente desde el punto de vista financiero. Vale la pena hacer una pequeña inversión en un programa piloto (que podría ser utilizado en la implementación definitiva) para determinar si el sistema satisface las necesidades de los usuarios.

- Es importante que el programa piloto esté orientado a los usuarios con mayor influencia con el fin de garantizar que la información resultante sea confiable. Adicionalmente, es conveniente probar la mayor cantidad de funcionalidades del sistema, aunque éstas se encuentren aún incompletas, para tener una retroalimentación del sistema completo, ya que la información parcializada puede ilustrar escenarios irreales.

Caso de estudio

Programa piloto para el pago con tecnología NFC² en el sistema de transporte de Londres.

En segundo semestre de 2014, la autoridad de transporte de Londres, *Transport for London (TfL)*, implementó dos nuevos medios de pago para ingresar al sistema de transporte de la ciudad (que incluye la red nacional de trenes en Londres, el metro de la ciudad y la red de buses) el pago a través de tarjetas débito y crédito³ y a través de teléfonos móviles con tecnología NFC [26].

En el caso de la tecnología NFC, *TfL* lanzó un programa piloto en 2007 en conjunto con operadores de telefonía y entidades financieras. Los resultados de la pruebas mostraron que a las personas les interesaba el uso de esta tecnología como medio de pago y que era viable su implementación [27]. Por otro lado, la prueba permitió ver dificultades de acuerdos entre operadores de telefonía y fabricantes de celulares, aspecto fundamental para llevar a cabo el proyecto. Adicionalmente, *TfL* se llevó buena parte del crédito del innovador proyecto, ya que Londres fue la primera ciudad en Reino Unido en implementar una prueba a gran escala de este tipo de tecnologías como medio de pago en transporte [28] [29]. Toda esta información fue valiosa para *TfL* y fue la que permitió hacer ajustes al sistema para su implementación.

Finalmente, el caso de Londres no es el único en este tipo de tecnologías. Ciudades como Frankfurt, San Francisco y la Autoridad ferroviaria de Alemania, también implementaron programas pilotos para poner a prueba la tecnología NFC como medio de pago en medios de transporte [27].

2. NFC (Near Field Communication) es una tecnología de comunicación inalámbrica, de corto alcance y alta frecuencia que permite el intercambio de datos entre dispositivos

3. El uso de tarjetas débito y crédito para ingresar al transporte comenzó en 2012 con su implementación en los buses, pero fue hasta 2014 que se implementó en los sistemas de trenes, metro, tren ligero.

Perspectiva institucional

Tener conocimiento técnico al interior de las entidades gestoras

Descripción

Las entidades gestoras de los proyectos SIT deben tener el conocimiento técnico suficiente para llevar a cabo este tipo de proyectos. Esto permite:

- **Evaluar las propuestas de solución con criterios técnicos.** La evaluación con criterios técnicos de la mano de una metodología multi-criterio para la evaluación de propuestas, que incorpore criterios cuantitativos y cualitativos, permite una evaluación rigurosa y objetiva de las propuestas de solución. (Ver heurística de evaluación de proponentes).
- **Exigir al implementador construir una solución que responda al contexto específico de implementación.** Pese a que las soluciones SIT de diferentes ciudades comparten características comunes, los sistemas deben cumplir con los requerimientos específicos de cada contexto de implementación. Para esto se necesita el conocimiento preciso y claro de los requerimientos del problema, así como la experticia en la materia. No se trata de replicar soluciones implementadas en otros contextos. Se trata de entender a profundidad las necesidades específicas y entender el problema de la mano de la arquitectura de sistemas. Esto con el fin de posteriormente identificar las soluciones tecnológicas que mejor se ajustan a cada situación.
- **Identificar las limitaciones tecnológicas, operacionales y de servicio de la arquitectura del sistema.** Cuando se cuenta con el conocimiento técnico se pueden identificar las limitaciones de las soluciones propuestas e identificar las implicaciones que esto genera en el modelo de servicio y operacional del sistema SIT.
- **Identificar y exigir funcionalidades adicionales al implementador del sistema SIT.** Contar con conocimiento técnico permite identificar funcionalidades adicionales requeridas para cumplir con el modelo de servicio a cabalidad. La identificación de estas funcionalidades se puede traducir en requerimientos de implementación adicionales para el implementador del sistema.
- **Fomentar un trabajo colaborativo mediante la participación activa y la retroalimentación entre el ente gestor y el implementador.** El trabajo colaborativo permite el levantamiento de retroalimentación bilateral

entre gestor – implementador. Este trabajo colaborativo se debe realizar desde el inicio de la estructuración de los proyectos, esto permite la oportuna corrección y re-direccionamiento del curso de evolución del mismo. Asimismo, este proceso favorece la obtención de soluciones SIT que cumplan con los modelos de servicios y operacionales predefinidos.

Para la ejecución de la heurística se debe: i) estudiar/identificar la capacidad técnica y experiencia específica de la entidad contratante para el proyecto SIT a implementar, ii) identificar los requerimientos adicionales en recursos humanos o contrataciones de servicios para suministrar retroalimentación de calidad al implementador, iii) realizar las adquisiciones de personal o contrataciones de servicios necesarias, y iv) iniciar el proceso de retroalimentación con el implementador.

Caso de estudio

Estructuración del Sistema Estratégico de Transporte Público SETP de la ciudad de Pasto en Colombia

La ciudad de Pasto contrató la estructuración del SETP con la firma de consultoría Mobilé, la cual aportó un equipo estructurador integral en los temas legales, financieros, técnicos y tecnológicos para desarrollar los estudios y los documentos que permitieran licitar los diferentes componentes del SETP. Adicionalmente, el Ente Gestor contrató un equipo de asesores que revisaron activamente la estructuración en todos estos aspectos. Por su parte, los transportadores de la ciudad, por invitación del Ente Gestor, también contrataron un estudio técnico [30]. La existencia de tres entidades diferentes con el conocimiento técnico para la estructuración de SETP, permitió la participación y retroalimentación activa, además de la validación de resultados por parte del Ente Gestor. Esto trajo como resultado, mayor credibilidad de los actores involucrados en los resultados del estudio y la construcción de una estructuración más alineada con los requerimientos de la ciudad.

Seleccionar estratégicamente el modelo de contratación

Descripción

El modelo de contratación debe tener en cuenta la capacidad de la entidad contratante, la complejidad del sistema y los tiempos requeridos para la implementación del proyecto. Para una selección adecuada del modelo contractual se debe previamente:

- **Asignar riesgos eficientemente.** Asignar los riesgos del sistema al actor que mejor pueda gestionarlos favorece la selección adecuada del modelo contractual. Por ejemplo, cuando el ente gestor cuenta con poca experiencia y capacidad técnica, muy probablemente la mejor decisión no es optar por un modelo de contratación de compra de bienes y servicios personalizados. En este modelo la entidad contratante debe asumir el riesgo de diseño, integración y operación del sistema. En este orden de ideas, se debe tener claridad de la capacidad y experiencia técnica del ente gestor para definir la asignación de los riesgos, que junto con el análisis de otros factores como el tiempo de ejecución, la complejidad y financiamiento del sistema, permiten la selección del modelo contractual.
- **Asignar tareas de diseño, contratación, implementación y operación al actor más idóneo para ejecutarlas.** Previa a la selección del modelo contractual se debe hacer la identificación detallada de las tareas asociadas al diseño, contratación, implementación y operación del SIT. Una vez identificadas las tareas se debe identificar el actor más idóneo para ejecutarlas. Esta asignación sirve como parámetro para la selección del modelo contractual. Adicionalmente, previa a la selección del modelo contractual, se debe tener completa claridad de los objetivos del proyecto (desarrollo de la concepción del problema). La realización de solicitudes de propuestas, sin tener claridad en los objetivos, para proyectos SIT es más común de lo esperado. En Australia, por ejemplo, para proyectos de infraestructura pública asciende al 37% [31].

El ejercicio de asignación de riesgos y tareas riguroso, teniendo en cuenta la capacidad técnica y la experiencia de la entidad contratante, los tiempos de implementación, la complejidad y el financiamiento del sistema es fundamental. Esto favorece la selección adecuada del modelo de contratación. La selección acertada del modelo aumenta significativamente las probabilidades de éxito en la implementación y operación del sistema.

Con el objetivo de suministrar herramientas para la ejecución de la heurística, la siguiente tabla presenta los diferentes modelos de contratación clasificados desde diferentes enfoques: i) distribución de trabajo, ii) asignación de costos y utilidades, y iii) adjudicación de contratos. La tabla incorpora aspectos para la selección del modelo contractual. Adicionalmente, incluye las ventajas y desventajas de cada modelo. Estos dos elementos para que permitan identificar al contratante, que tan alineado está el modelo con sus capacidades y necesidades.

Tabla 1.
Crterios para la seleccin de un modelo de contratacin:
Modelos por distribucin de trabajo

MODELOS POR DISTRIBUCIN DE TRABAJO		
MODELO DE CONTRATACIN	ASPECTOS PARA LA SELECCIN DEL MODELO DE CONTRATACIN	VENTAJAS Y DESVENTAJAS MS RELEVANTES PARA LA SELECCIN
Compra de bienes y servicios personalizados	<p>Experiencia y capacidad tcnica del contratante en el diseo, integracin, operacin y mantenimiento del sistema^{2/}.</p> <p>Especialmente til:</p> <p>Para reduccin de costos y disminucin de tiempos de implementacin.</p>	<p>Ventajas</p> <p>Las tecnologas implementadas ya han sido previamente evaluadas y probadas.</p> <p>Disminucin de los tiempos de contratacin e implementacin.</p> <p>Desventajas</p> <p>Riesgo de que la entidad contratante no cuente con la experiencia o el conocimiento necesarios para definir los requerimientos del sistema.</p> <p>Las soluciones pueden no ofrecer todas las funcionalidades deseadas, o pueden ofrecer funcionalidades no relevantes.</p>
Administrador de sistemas	<p>Experiencia y capacidad tcnica del contratante en el suministro, implementacin, operacin y mantenimiento.</p> <p>La entidad contratante no requiere experiencia y capacidad tcnica en la definicin de especificaciones del sistema, ni para la coordinacin de la implementacin.</p> <p>Especialmente til:</p> <p>Cuando no existe un contratista con la capacidad para implementar todo el sistema o no hay pluralidad de oferentes.</p> <p>Para sistemas complejos y nuevas tecnologas, que no pueden ser suministradas por un solo proveedor, se pueden acoplar fcilmente con el apoyo de mltiples contratos de implementacin.</p>	<p>Ventajas</p> <p>El diseo es desarrollado por un tercero con la experiencia y capacidad tcnica necesaria para minimizar errores en el diseo.</p> <p>Puede reducir el costo de los equipos ya que al dividir el suministro de equipos en varios contratos con menos exigencias para los contratistas va a haber mayor competencia.</p> <p>Desventajas</p> <p>Los tiempos de contratacin e implementacin del sistema pueden ser ms largos ya que se necesitan suscribir distintos contratos.</p> <p>Requiere de una alta dedicacin y capacidad de la entidad contratante para desarrollar y supervisar todos los procesos de contratacin requeridos.</p>
Integrador de sistemas	<p>Experiencia y capacidad tcnica del contratante en la operacin y el mantenimiento.</p> <p>Especialmente til:</p> <p>Cuando se quieren transferir los riesgos y tareas de diseo, suministro e implementacin a nico tercero.</p> <p>Para reducir tiempos en los procesos de contratacin. Un nico contrato para el diseo, suministro e implementacin.</p>	<p>Ventajas</p> <p>Para sistemas complejos, existen muchos factores desconocidos al principio. En este modelo de contratacin, se minimiza la barrera entre las fases de diseo e implementacin, lo que facilita el desarrollo del proyecto.</p> <p>Desventajas</p> <p>Dificultad para garantizar pluralidad de oferentes con la experiencia, capacidad tcnica y financiera en el diseo, suministro e implementacin.</p>

MODELOS POR DISTRIBUCIÓN DE TRABAJO

MODELO DE CONTRATACIÓN	ASPECTOS PARA LA SELECCIÓN DEL MODELO DE CONTRATACIÓN	VENTAJAS Y DESVENTAJAS MÁS RELEVANTES PARA LA SELECCIÓN
<p>Diseño e implementación en dos fases</p>	<p>Experiencia y capacidad técnica del contratante en la operación y el mantenimiento.</p> <p>Especialmente útil:</p> <p>Cuando se quieren transferir los riesgos y tareas de diseño, suministro e implementación a dos entidades diferentes.</p>	<p>Ventajas</p> <p>La entidad contratante es dueña de los diseños detallados.</p> <p>En el caso que durante la fase de diseño se desarrolle o adopte un estándar o norma técnica, es posible garantizar la interoperabilidad del sistema.</p> <p>Al contar con unos diseños detallados antes de contratar la implementación la incertidumbre del adjudicatario es menor, lo que permite obtener propuestas más económicas.</p> <p>Desventajas</p> <p>El proceso de contratación e implementación del sistema puede tomar más tiempo ya que se requieren dos procesos de contratación.</p> <p>La entidad contratante debe tener un buen sistema de gestión de proyectos, para que el diseño y la implementación se hagan de acuerdo con sus necesidades.</p>
<p>Diseño, implementación, operación y mantenimiento</p>	<p>Experiencia no obligatoria en el diseño, implementación, operación y mantenimiento por parte de la entidad contratante.</p> <p>Especialmente útil:</p> <p>Cuando se requieren transferir los riesgos y tareas de diseño, operación y mantenimiento a un solo contratista.</p> <p>Para reducir el tiempo en el proceso de contratación un solo contrato para el diseño, implementación y operación.</p> <p>Cuando se requiere dar mayor flexibilidad al sector privado en la operación.</p>	<p>Ventajas</p> <p>La entidad no requiere tener personal especializado capacitado para operar el sistema.</p> <p>Desventajas</p> <p>El contratante termina dependiendo del contratista o concesionario para la expansión y modificación el sistema.</p>

a. De no contar con la capacidad y experiencia técnica, puede optar por la tercerización de las tareas

Tabla 2.
Crterios para la seleccin de un modelo de contratacin:
Modelos por asignacin de costos y utilidades

MODELOS POR ASIGNACIN DE COSTOS Y UTILIDADES		
MODELO DE CONTRATACIN	ASPECTOS PARA LA SELECCIN DEL MODELO DE CONTRATACIN	VENTAJAS Y DESVENTAJAS MS RELEVANTES PARA LA SELECCIN
Precio Fijo	<p>Especialmente til:</p> <p>Cuando las entidades contratantes no tienen la experiencia necesaria para la supervisin del proyecto.</p> <p>Cuando no tienen la capacidad para realizar algunas tareas y optan por tercerizarlas.</p> <p>Cuando se tiene certeza del alcance del proyecto.</p>	<p>Ventajas</p> <p>El riesgo econmico no es asumido por la entidad contratante.</p> <p>Desventajas</p> <p>Costos adicionales por el hecho de que el contratista asume el riesgo econmico.</p> <p>Se pierde flexibilidad en el proyecto. El alcance inicial del proyecto puede cambiar.</p>
Costos reembolsables	<p>Especialmente til:</p> <p>Cuando el alcance del proyecto no es completamente claro.</p> <p>Cuando es conveniente utilidad fija para el contratista</p>	<p>Ventajas</p> <p>Permite flexibilidad en el desarrollo del proyecto.</p> <p>Se paga solamente por el trabajo ejecutado realmente.</p> <p>La utilidad del contratista es la misma independientemente del alcance.</p> <p>Desventajas</p> <p>El contratante asume el riesgo econmico por un posible aumento de trabajo y costos asociados.</p>
Tiempo y Materiales	<p>Especialmente til:</p> <p>Cuando la entidad contratante tiene el personal necesario para desarrollar el proyecto y solo requiere apoyo para algunos aspectos especficos, de alcance limitado y el alcance del proyecto no es completamente claro.</p>	<p>Ventajas</p> <p>Permite flexibilidad en el desarrollo del proyecto.</p> <p>Se paga solamente por el trabajo ejecutado realmente.</p> <p>Desventajas</p> <p>La utilidad pagada al contratista vara, con cambios en el alcance y la duracin del proyecto.</p>
Incentivos	<p>Especialmente til:</p> <p>Cuando existe una incertidumbre asociada a los resultados esperados del contratista. Por lo general por carencia de estudios para determinar beneficios por la implementacin.</p>	<p>Ventajas</p> <p>El pago sólo se hace efectivo si se cumplen con los objetivos requeridos.</p> <p>Puede ser complementario a los contratos tipo precio fijo, costos reembolsables, y tiempo y materiales.</p> <p>Desventajas</p> <p>Tiempo adicional en la definicin de indicadores de evaluacin.</p> <p>Indicadores de evaluacin del contratista mal definidos.</p>

Tabla 3.
Criterios para la selección de un modelo de contratación:
Modelos por adjudicación de contratos

Fuente: Elaboración propia

MODELOS POR ADJUDICACIÓN DEL CONTRATOS		
MODELO DE CONTRATACIÓN	ASPECTOS PARA LA SELECCIÓN DEL MODELO DE CONTRATACIÓN	VENTAJAS Y DESVENTAJAS MÁS RELEVANTES PARA LA SELECCIÓN
Evaluación de proponentes en una fase: subasta inversa	<p>Especialmente útil:</p> <p>Cuando el producto o servicio a contratar está claramente definido por el contratante.</p> <p>Para proyectos en los que no se involucra un alto grado de innovación.</p>	<p>Ventajas</p> <p>Es un método simple y claro.</p> <p>Es común que se presenten pluralidad de oferentes.</p> <p>Desventajas</p> <p>El que el factor determinante para la selección sea el precio:</p> <p>Puede llevar al oferente a reducir costos y afectar la calidad de la solución.</p> <p>Puede que el contrato no sea adjudicado al oferente más calificado.</p>
Evaluación de proponentes en una fase: subasta inversa	<p>Especialmente útil:</p> <p>Para sistemas en los que es relevante incorporar en la selección criterios adicionales al precio, como calidad, experiencia y capacidad.</p> <p>Para sistemas complejos o con un nivel de innovación importante.</p>	<p>Ventajas</p> <p>Es un método flexible</p> <p>Incorpora criterios adicionales al precio, favoreciendo la idoneidad integral del contratista.</p> <p>Desventajas</p> <p>Los costos y el tiempo de los procesos de contratación aumentan dada la complejidad de la evaluación de las propuestas.</p> <p>Requiere de un panel de expertos para la evaluación de propuestas.</p>
Evaluación de proponentes en una fase: Contratación directa	<p>Especialmente útil:</p> <p>Cuando existe evidencia clara de que solo un contratista tiene la experiencia y capacidad técnica.</p>	<p>Ventajas</p> <p>Ahorro de tiempo en la contratación.</p> <p>La administración del proceso de contratación es más fácil.</p> <p>Desventajas</p> <p>Se pierde el principio de competencia.</p> <p>La oferta económica puede estar sobrevalorada.</p> <p>Riesgo de selección de contratista no idóneo.</p>
Evaluación de proponentes en dos fases	<p>Especialmente útil:</p> <p>Cuando la entidad contratante no está en la capacidad de definir los requerimientos del sistema o de financiar el proyecto.</p>	<p>Ventajas</p> <p>La primera fase permite garantizar que los proveedores/ contratistas que se presenten a la licitación tengan la experiencia y capacidad técnica.</p> <p>En la segunda fase, en el dialogo competitivo se pueden aclarar las necesidades de la entidad contratante y definir soluciones apropiadas e innovadoras, antes de la contratación.</p> <p>Incentiva la competencia entre proponentes.</p> <p>Desventajas</p> <p>El proceso de contratación requiere más tiempo y costos.</p> <p>Riesgo de que los resultados del dialogo competitivo fracase y no permita definir los términos de referencia adecuadamente.</p>

Caso de estudio

Expansión del centro de gestión de transporte de autopistas urbanas en Michigan Estados Unidos

El caso de Michigan en Estados Unidos, es un buen ejemplo de implementación de un centro de gestión de transporte. Se optó por el modelo de contratación integrador de sistemas a precio fijo, ya que la entidad contratante no contaba con la capacidad técnica y experiencia en el diseño e implementación. Sin embargo, el alcance del proyecto estaba claramente definido, pues se trataba de una expansión del centro de gestión existente. La entidad contratante tampoco tenía la suficiente experiencia ni capacidad técnica para operar, por tal razón decidió contratar entrenamiento, documentación y capacitación con el mismo implementador, esto garantizó una transición sin interrupción en la prestación del servicio. Finalmente, este modelo permitió reducir tiempos en la contratación, ya que sólo se realizó un único contrato.

La propuesta técnica debe ser estudiada objetiva y rigurosamente y tener alto valor en la evaluación de proponentes

Descripción

La evaluación objetiva y rigurosa de la propuesta técnica debe ser un factor determinante para la selección del contratista. Esto favorece:

- **La idoneidad del contratista.** La evaluación cuantitativa y cualitativa de la propuesta técnica permite identificar el enfoque que cada uno de los proponentes ha dado al proyecto y si la visión de la entidad gestora se ve reflejada en las propuestas. Para este tipo de evaluación se requiere de un panel de expertos que conozcan a profundidad los requerimientos del contexto de implementación.
- **La calidad de la solución y el cumplimiento de los requerimientos del sistema.** La entidad gestora puede verificar que efectivamente cada proponente ha estudiado las necesidades expuestas previamente y que refleja el entendimiento del problema en la solución propuesta.
- **La mitigación del riesgo de incumplimiento.** Así como la evaluación de la propuesta técnica promueve el desarrollo de mejores soluciones, también es importante que la entidad gestora identifique en ella la viabilidad de las mismas en términos financieros, técnicos y de tiempos.

→ En general, resulta conveniente no usar el precio como único factor de decisión, o por lo menos tenerlo en cuenta con una ponderación baja. La evaluación de la propuesta técnica puede ser tan compleja como la entidad gestora lo desee y las estrategias planteadas en dicho informe pueden ser de gran utilidad para diseñar sus propias estrategias.

Caso de estudio

Sistema de evaluación de diálogo competitivo

Dependiendo de la complejidad del proyecto algunas estrategias de evaluación de proponentes pueden ser más efectivas que otras. Sin embargo, cuando el proyecto es innovador y/o particularmente complejos, y por lo tanto los objetivos no están tan claramente definidos, el proceso de diálogo competitivo ha demostrado ser muy efectivo para la contratación de proyectos de sistemas inteligentes de transporte. En esta estrategia de contratación el proceso se divide en dos fases. En primer lugar, la entidad precalifica los potenciales proponentes con base en su capacidad técnica y financiera para desarrollar el proyecto. Luego, los proponentes seleccionados en la primera fase son llamados al proceso de diálogo competitivo, el cual consiste en una serie de reuniones para definir los términos de referencia sobre los que se va a seleccionar el contratista. Finalmente, los proponentes desarrollan una propuesta técnica y económica que cumpla con los términos de referencia construidos durante el proceso, y se selecciona el contratista con base en la evaluación de las mismas a través de alguna estrategia de evaluación de propuestas.

Por ejemplo, el sistema de cobros por congestión de Londres fue adjudicado a través de esta estrategia. El sistema de cobros por congestión de Londres fue uno de los primeros sistemas de este tipo en ser implementados. El proceso de diálogo competitivo permitió llegar a una solución refinada por los aportes de los proponentes, que a su vez resolvieron sus dudas sobre los requerimientos hechos por la entidad contratante [32] [33].

Publicar información sobre experiencias en SIT

Descripción

La publicación de información de diseño, contratación, implementación y evaluación permite mejorar las metodologías de ejecución de proyectos SIT. Garantizar la disponibilidad de la información permite:

- **Fomentar la construcción colectiva del conocimiento en materia de Diseño, Construcción y Despliegue (D+C+D) de SIT.** Contar con un conjunto de experiencias compartidas permite la retroalimentación entre entes gestores. La retroalimentación sirve de base para definir guías para el diseño, construcción y despliegue que incorporan la experiencia de diferentes ciudades. Estas guías permiten recortar la curva de aprendizaje en la implementación, al identificar las mejores y peores prácticas en materia de SIT. Adicionalmente, todo esto facilita la construcción de metodologías de diseño, construcción, implementación y operación de SIT eficientemente. La construcción eficiente de metodologías se ve traducida en la reducción de costos y tiempos del proyecto.

Para la ejecución de la heurística es recomendable la inclusión de la siguiente información:

- Clasificación de la publicación
 - Aplicación(es) de transporte a la que pertenece el proyecto
- Descripción del proyecto ITS
 - Problemas o necesidades que generaron el requerimiento de implementación del proyecto
 - Objetivos cuantitativos y/o cualitativos del proyecto
 - Servicios de transporte involucrados (BRT, Tren, Metro, etc.)
 - Nombre(s) de la(s) organización(es) implementadora(s), y naturaleza de la(s) organización(es) (pública o privada)
 - Descripción de los servicios o sistema, incluyendo sus principales funcionalidades
 - Tecnologías principales implementadas en el proyecto
 - Principales estándares utilizados para implementar el proyecto
- Descripción de la arquitectura de implementación
 - Principales actores involucrados directamente en la operación del servicio o el sistema
 - Modelo Institucional: actores encargados de la gestión, operación y financiamiento del sistema
 - Tipo de financiamiento: inversión pública, privada o público-privada
 - Costos: de inversión y operacionales
- Evaluación de resultados cuantitativos y cualitativos
 - Desempeño técnico: indicadores técnicos de desempeño
 - Innovación de la implementación en términos de tecnología, de modelo institucional, de funcionalidades, de financiamiento, etc.

- Impactos en seguridad, eficiencia, socioeconómicos, ambientales, etc.
- Desempeño financiero: indicadores de desempeño financiero
- Desempeño en la aceptación de los servicios/sistemas

→ Retroalimentación del caso

- Factores de éxito. Elementos / actores / procesos que impactaron significativamente la implementación para que se lograra el éxito.
- Obstáculos. Elementos / actores / procesos que impactaron negativamente el desarrollo de la implementación.

Caso de estudio

Guía de implementación SIT del departamento de transporte de Estados Unidos

La División de California del Departamento de Transporte de Estados Unidos construyó un portal WEB con información guía para la implementación de SIT. El portal incorpora una colección de casos de estudio, una metodología de implementación por fases, una lista de verificación para las actividades de cada fase, una lista de verificación de actividades transversales a las fases, entre otros elementos de utilidad [34].

Caja de herramientas para SIT del Banco Mundial

La caja de herramientas para implementación de SIT del Banco Mundial incorpora, i) casos de estudio, ii) guía de planificación, diseño e implementación de SIT, iii) guía de funcionalidades ITS a nivel estratégico, táctico, de servicio y de estadísticas, iv) guía de aplicaciones SIT incorporando, gestión de operaciones, ayudas al conductor y sistemas de pago electrónico, entre otros elementos [35].

Perspectiva económica

Hacer análisis de sensibilidad y estimaciones precisas

Descripción

La estructuración financiera debe incluir un análisis de sensibilidad para las variables aleatorias contempladas en el modelo. Adicionalmente, el modelo debe incorporar en el proceso de definición del plazo de proyección, el

tiempo de vida útil de los equipos del SIT. El incorporar estos aspectos en el modelo financiero permite:

- **Incorporar la incertidumbre y aleatoriedad en el análisis de resultados:** la ejecución del análisis de sensibilidad permite entender cómo varían los resultados, por el aumento y/o disminución de los valores en las variables de entrada. Este ejercicio es de particular importancia para las variables que incorporan alta incertidumbre.
- **Reducir los riesgos de sub y sobre estimación de los ingresos:** la estimación precisa de la demanda proyectada de los sistemas SIT, junto con un análisis de escenarios es recomendable. Este ejercicio permite que los tomadores de decisión identifiquen cuales son las condiciones financieras en cada escenario. Adicionalmente, el análisis de escenarios sirve como input para la evaluación de ampliaciones y reducciones en las funcionalidades.
- **Justificar la adquisición y reposición de equipos:** cuando la definición del plazo de proyección se realiza teniendo en cuenta el tiempo de vida útil de los equipos, se evalúa la viabilidad de la adquisición y recompra de equipos. Esto con el fin de utilizar los equipos, todo o el mayor tiempo su vida útil.

La metodología de alto nivel para la construcción de modelos financieros para SIT se sugiere que sea: i) definición de supuestos, ii) estimación del CAPEX, iii) estimación del OPEX, iv) construcción del CAPEX proyectado, v) construcción del OPEX proyectado, vi) construcción del flujo de caja, vii) análisis de sensibilidad, viii) construcción de escenarios y, ix) análisis de escenarios.

Caso de estudio

Estructuración técnica, financiera y legal del sistema de recaudo electrónico para el tren eléctrico urbano de Guadalajara

Para la estructuración financiera del sistema integrado de recaudo electrónico del Tren de Guadalajara se construyeron escenarios para la demanda del sistema de transporte. La estimación de la demanda tenía una complejidad adicional a raíz de la futura implementación de la tercera línea del sistema. Los escenarios construidos fueron tres: pesimista, intermedio y optimista. El escenario pesimista se podía implementar con los recursos disponibles garantizando la rentabilidad del operador de recaudo. No hubo necesidad de reducir o ampliar las funcionalidades del sistema. El análisis de escenarios sirvió de input para llegar a dicha conclusión. Por otra parte, los tiempos de proyección del modelo se seleccionaron con el fin de utilizar los equipos durante su tiempo de vida útil. Esto permitió reducir el impacto de la recompra de equipos en la rentabilidad del proyecto.

6

Referencias

[1] BusinessTech, «E-tolls on the verge of collapsing: report,» 11 Octubre 2015. [En línea]. Available: <http://businesstech.co.za/news/government/100856/e-tolls-on-the-verge-of-collapsing-report/>. [Último acceso: Enero 2016].

[2] BusinessTech, «5 reasons why e-tolls failed in South Africa,» 3 Diciembre 2015. [En línea]. Available: <http://businesstech.co.za/news/general/106137/5-reasons-why-e-tolls-failed-in-south-africa/>. [Último acceso: Enero 2016].

[3] SANRAL, «Gauteng Freeway Improvement Project,» 1 Julio 2009. [En línea]. Available: http://www.nra.co.za/live/content.php?Session_ID=e17b2ec1851b7804a2b1206a662d967f&Item_ID=260. [Último acceso: Enero 2016].

- [4] «Sanral owed 90% of e-toll fees | ITWeb,» 3 Abril 2014. [En línea]. Available: http://www.itweb.co.za/index.php?option=com_content&view=article&id=72451. [Último acceso: Enero 2016].
- [5] La Patria, «Cuestionario respondido por José Fernando Botero, exconsultor de Manizales, en temas de,» *La Patria*, 2013.
- [6] lapatria.com, «"El Sistema Estratégico de Transporte Público de Manizales tiene problemas de gobernanza" | La Patria,» 22 Julio 2012. [En línea]. Available: <http://www.lapatria.com/en-domingo/el-sistema-estrategico-de-transporte-publico-de-manizales-tiene-problemas-de-gobernanza>. [Último acceso: Enero 2016].
- [7] Manizales, «Juez tumbó nuevo sistema de transporte de Manizales – Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 – eltiempo.com,» 4 Marzo 2010. [En línea]. Available: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-7342469> . [Último acceso: Enero 2016].
- [8] Redacción Quito, «El sistema de recaudación en las paradas del Trolebús no funciona | El Comercio,» 21 Diciembre 2009. [En línea]. Available: <http://www.elcomercio.com/actualidad/sistema-recaudacion-paradas-del-trolebus.html>. [Último acceso: Enero 2016].
- [9] Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros de Quito , «Más control en la recaudación del Trolebús,» 25 Julio 2011. [En línea]. Available: http://www.noticiasquito.gob.ec/Noticias/news_user_view/mas_control_en_la_recaudacion_del_trolebus--3996 . [Último acceso: Enero 2016].
- [10] La Hora, «Pasajeros confundidos con sistema de recaudación,» 24 Febrero 2008. [En línea]. Available: http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/685837/-1/Pasajeros_confundidos_con_sistema_de_recaudaci%C3%B3n.html#.Vo_nYxUrLIV . [Último acceso: Enero 2016].
- [11] Redacción Quito, «'El trole sí está en capacidad de llevar más pasajeros, pero hay que mejorar',» 2 Marzo 2010. [En línea]. Available: <http://www.elcomercio.com/actualidad/quito/trole-capacidad-llevar-mas-pasajeros.html>. [Último acceso: Enero 2016].
- [12] Redacción Bogotá, «Sistema Integrado le hace perder a Bogotá mil millones semanales,» 8 Noviembre 2012. [En línea]. Available: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12365533>. [Último acceso: Enero 2016].
- [13] Redacción Bogotá, «Piden iniciar campaña sobre el SITP,» 23 Marzo 2012. [En línea]. Available: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-5304734>. [Último acceso: Enero 2016].

[14] Bogotá, «Los cinco problemas que debe superar el SITP para ser exitoso,» 22 Octubre 2014. [En línea]. Available: <http://www.eltiempo.com/bogota/sitp-en-bogota-los-cinco-problemas-que-debe-mejorar/14722638>. [Último acceso: Enero 2016].

[15] M. Maier y E. Rechtin, *The Art of Systems Architecting* 3rd Edition, Boca Raton, FL: CRC Press, 2009.

[16] T. Wu, «Develop requirements using widely accepted standards, preferably the open source compatible ones if available, and review those requirements immediately before requesting proposals from contractors.,» Mayo 2010. [En línea]. Available: <http://www.itslessons.its.dot.gov/ITS/benecost.nsf/ID/2811CA057AC30EF78525796E000CB81E?OpenDocument&Query=Home>. [Último acceso: Enero 2016].

[17] T. Wu, «Regional Transportation Commission of Washoe County Intelligent Transportation System Implementation Evaluation Study,» 2010.

[18] New York City Global Partners, «Best Practice: Congestion Charging Program,» The City of New York, New York City, 2012.

[19] MVA, «The London Congestion Charging Research Programme Final Report,» 1995.

[20] Government Office for London, «Review of Charging Options for London Report,» [En línea]. Available: <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100528142817/http://www.gos.gov.uk/gol/161402/267325/440302/>. [Último acceso: Enero 2016].

[21] Greater London Authority, «DETAILED ASSESSMENT LONDON CONGESTION CHARGING,» [En línea].

[22] Kimley-Horn and Associates, Inc. in association with PB Consult, «Focus on the integration of business processes at the institutional or programmatic level rather than at the operations level.,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.itslessons.its.dot.gov/ITS/benecost.nsf/ID/501C6D868DE96A5285257BB300550E91?OpenDocument&Query=Home> . [Último acceso: Enero 2016].

[23] Regional Intelligent Transportation Systems Partnership, «AZTech – Moving Forward Together,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.aztech.org/trafmgmt/dataarchiving.aspx>. [Último acceso: Enero 2016].

[24] Kimley-Horn and Associates, Inc. In association with PB Consult, Integrating Business Processes to Improve Travel Time Reliability, Washington, D.C.: Transportation Research Board of the National Academies, 2011.

[25] U.S. Department of Transportation, «Intelligent Transportation Systems (ITS) Standards Program Strategic Plan for 2011–2014,» Abril 2011. [En línea]. Available: http://www.its.dot.gov/standards_strategic_plan/stds_strat_plan.pdf.

[26] J. Rigg, «How to start making contactless card and NFC payments on the Tube,» 16 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.engadget.com/2014/09/16/contactless-card-nfc-payments-london-tube/>. [Último acceso: Enero 2016].

[27] NFC Forum, Inc., NFC in Public Transport, 2011.

[28] B. Dobson, NFC in Transport for London, London, 2008.

[29] J. Titcomb, «How London's transport crunch forged a contactless revolution,» 20 Julio 2015. [En línea]. Available: <http://www.telegraph.co.uk/technology/11747819/How-Londons-transport-crunch-forged-a-contactless-revolution.html>. [Último acceso: Enero 2016].

[30] GSD Plus S.A.S, «Estudio para la incorporación de ITS en los Sistemas Estratégicos de Transporte Público (SETP) de las ciudades de Armenia, Pasto, Popayán y Santa Marta,» Bogotá, 2015.

[31] Deloitte, «Economic benefits of better procurement practices,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.consultaaustralia.com.au/docs/default-source/infrastructure/better-procurement/dae---consult-australia-final-report-050215---96-pages.pdf>.

[32] S. Green, «Congestion Charging and Traffic Enforcement,» *Transport for London*.

[33] G. Topham, «Congestion charges around the world,» 8 Diciembre 2011. [En línea]. Available: <http://www.theguardian.com/world/2011/dec/08/congestion-charges-around-the-world>. [Último acceso: Enero 2016].

[34] U.S Department of Transportation, «Systems Engineering Guidebook for ITS,» 2009. [En línea]. Available: <http://www.fhwa.dot.gov/cadiv/segb/index.cfm>.

[35] The World Bank, «World Bank Toolkit on Intelligent Transport Systems for Urban Transport,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.ssatp.org/sites/ssatp/files/publications/Toolkits/ITS%20Toolkit%20content/index.html>.

[36] U.S. Department of Transportation, «Intelligent Transportation Systems benefits, costs, deployment and lessons learned,» 2008. [En línea]. Available: <http://ntl.bts.gov/lib/30000/30400/30466/14412.pdf>.

[37] M. Picone, S. Busanelli, M. Amoretti, F. Zanichelli y G. Ferrari, *Advanced Technologies for Intelligent Transportation Systems*, Springer International Publishing, 2015.

[38] «Welcome | ITS TOOLKIT | 2DECIDE,» [En línea]. Available: <http://www.its-toolkit.eu/2decide//node/44>. [Último acceso: 30 Junio 2015].

[39] The World Bank, «The World Bank | Intelligent Transport Systems – Home,» The World Bank Group, 2011. [En línea]. Available: <http://www.ssatp.org/sites/ssatp/files/publications/Toolkits/ITS%20Toolkit%20content/index.html>. [Último acceso: 30 Junio 2015].

[40] J. Runde Krogstad, «Tracking the Challenges of E-ticketing: An analysis,» de *Young Researchers Seminar 2013*, Lyon, Francia, 2013.

[41] Federal Highway Administration, «Metropolitan Transportation Management, A case Study Improving Safety and Air Quality While,» Washington, DC, 1999.

