

Gestión de gobierno orientado a la innovación para ciudades inteligentes: iso 56002 en el desarrollo del sistema inteligente de transporte

Innovation-oriented government management for smart cities: iso 56002 in the development of the intelligent transportation system

Mercedes Delgado Fernández ^{I*}  <https://orcid.org/0000-0003-2556-1712>

Alejandro José Cabrera Sarmiento ^{II}  <https://orcid.org/0000-0003-4129-911X>

^I Escuela Superior de Cuadros del Estado y del Gobierno, La Habana, Cuba.

✉ mercedes@esceg.cu

^{II} Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE), La Habana, Cuba.

✉ alex@automatica.cujae.cu

*Autor para dirigir correspondencia: mercedes@esceg.cu

Clasificación JEL: H11, H44, R41

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10285132>

Recibido: 05/03/2023

Aceptado: 11/07/2023

Resumen

El artículo tiene como objetivo mostrar cómo el enfoque de la gestión del gobierno orientado a la innovación es aplicable en la concepción de las ciudades inteligentes y en particular para la implementación del Sistema Inteligente del Transporte (SIT), basado en un marco conceptual, metodológico y normativo. Se profundiza en la ISO 56002 referida al sistema de gestión de la innovación, con la descripción de los procesos operacionales de la gestión de la innovación. Las operaciones del ciclo de gestión de la innovación se aplican a un caso real, referido al proyecto Sistema Inteligente de Transporte (SIT), ejecutado por profesores de la Facultad de Ingeniería Automática y Biomédica de la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE) en colaboración con otras instituciones.

GESTIÓN DE GOBIERNO ORIENTADO A LA INNOVACIÓN PARA CIUDADES INTELIGENTES: ISO 56002 EN EL DESARROLLO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE TRANSPORTE

Palabras clave: gestión de gobierno, gestión de la innovación, ISO 56002, ciudades inteligentes, sistema inteligente de transporte.

Abstract

The article aims to show how the innovation-oriented government management approach is applicable in the conception of smart cities and in particular for the implementation of the Intelligent Transportation System (SIT), based on a conceptual, methodological and normative. The ISO 56002 refers to the innovation management system, with the description of the operational processes of innovation management. The operations of the innovation management cycle are applied to a real case, referring to the Intelligent Transportation System (SIT) project, executed by professors from the Faculty of Automatic and Biomedical Engineering of the Technological University of Havana (CUJAE) in collaboration with other institutions.

Keywords: government management, innovation management, ISO 56002, smart cities, intelligent transportation system.

Introducción

El nuevo paradigma de innovación demanda de las organizaciones estrategias con propósitos más amplios, mejor colaboración con las partes interesadas de un ecosistema, como es el caso de comunidades inteligentes como modelo de innovación con una visión integral.¹ Como tendencia surgen los sistemas de eco-innovación con implicaciones positivas para el diseño e implementación de nuevas políticas e instrumentos para lograr el desarrollo sostenible.²

Los clústeres y otras aglomeraciones pueden estimular e incentivar el aprendizaje y la innovación,³ lo que se ha generalizado a las regiones y sociedades en las que ocurren² y en la actualidad la transformación digital favorece la combinación de la innovación abierta con los objetivos de desarrollo sostenible^{4,5} con impactos de las innovaciones disruptivas en el incremento de la competitividad.^{6,7} y la satisfacción del ciudadano con el sistema urbano estratificado⁸ y otras aplicaciones.⁹

La clasificación de proyectos de ciudades inteligentes en forma de cubo, se basa en las combinaciones de alternativas, siendo las más frecuentes los distritos inteligentes, los basados en plataformas, en el transporte y servicios públicos inteligentes.¹⁰ En las ciudades del futuro se ofrecen servicios nuevos e “inteligentes” facilitando la cooperación entre empresas y gobiernos y la innovación abierta,^{11,12} con la cuádruple hélice de la innovación¹³ y en un proceso holístico.^{14,15}

Un estudio de 12 soluciones inteligentes para la energía, la movilidad y la infraestructura usan plataformas de Internet de las Cosas (IoT, por las siglas en inglés de *Internet of Things*) que interconectan objetos físicos y virtuales (sensores, dispositivos y personas)¹⁶ permitiéndoles transmitir y recibir

GESTIÓN DE GOBIERNO ORIENTADO A LA INNOVACIÓN PARA CIUDADES INTELIGENTES: ISO 56002 EN EL DESARROLLO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE TRANSPORTE

datos.^{17,18} Los proyectos de ciudades inteligentes y sostenibles, basados en plataformas digitales promueven las interrelaciones de las partes interesadas, en aras de cocrear para la ciudadanía,¹⁹ que aportan ideas para resolverlas y ayudan a hacerlas viables^{20,21} y se destacan por su utilidad y capacidad para generar nuevas iniciativas con alto impacto en la sociedad.²²

En Cuba, el modelo de gestión de gobierno orientado a la innovación²³ incluye entre sus componentes al ciclo de gestión de la calidad y de gestión de la Investigación, Desarrollo e innovación (I+D+I) soportados en las normas ISO 9001²⁴ e ISO 56002,²⁵ respectivamente, así como la creación de valor.^{23,25} La ISO 56002 promueve la innovación dentro de las organizaciones, emplean un enfoque de sistemas para gestionar la innovación, producen beneficios dentro y fuera de la organización y promueve una cultura de innovación sostenible.²⁶ El artículo aborda la aplicación de los procesos operacionales de la norma ISO 56002 para el desarrollo del Sistema Inteligente del Transporte (SIT) como componente esencial de las ciudades inteligentes.

Materiales y método

La innovación se define como la capacidad que tienen las organizaciones de transformar ideas en valor, como una entidad nueva o modificada que realiza o redistribuye el valor.²⁵ Innovar se entiende como el proceso de convertir ideas en productos, procesos o servicios nuevos o mejorados en la práctica social^{27,28} para cumplir los objetivos previstos.²⁹

La innovación puede ser de productos, servicios, procesos y organizacional.^{27,30} El enfoque de la innovación deberá transitar de una orientación de los procesos al productor,^{31,32} a la del ciudadano,³³ orientada a servicios³⁴ para la creación de valor público¹⁹ y la mejora de la calidad de vida con el ecosistema digital.³⁵

La ISO 56002 identifica como procesos operacionales interrelacionados para la gestión de la innovación los referidos a: identificar oportunidades, crear y validar conceptos, desarrollar y desplegar soluciones,²⁵ tal como se muestran en la **Figura 1**.

GESTIÓN DE GOBIERNO ORIENTADO A LA INNOVACIÓN PARA CIUDADES INTELIGENTES: ISO 56002 EN EL DESARROLLO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE TRANSPORTE

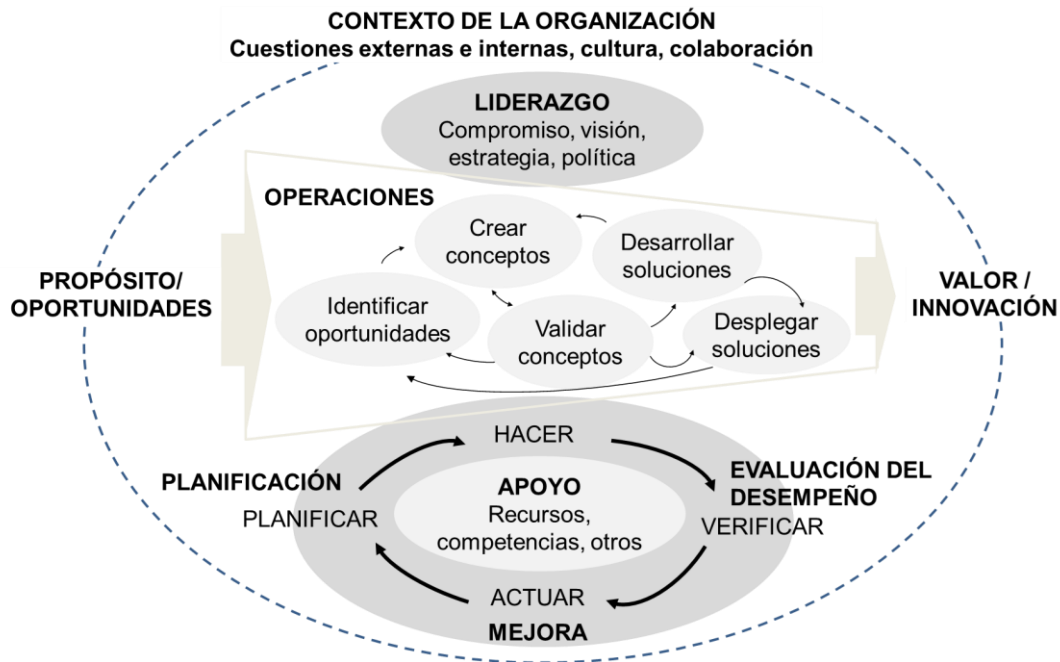


Figura 1. Diagrama del sistema de gestión de la innovación
Fuente: ISO 56002²⁵

Las operaciones de la gestión de la innovación se detallan a continuación²⁵:

1. **Identificar y definir oportunidades.** La organización debe considerar: una comprensión de la organización y su contexto; la intención y alcance de innovación y los aprendizajes y experiencias de iniciativas de innovación anteriores. Entre otros aspectos se debe conocer las necesidades y expectativas, las tendencias y desafíos relevantes; identificar y definir oportunidades o áreas de oportunidad (impacto, valor potencial o problemas) y priorizar las oportunidades y derechos de propiedad intelectual.
2. **Crear conceptos.** La organización debe considerar las oportunidades identificadas y definidas como insumos; generar nuevas ideas, posibles soluciones o combinaciones de las existentes a partir de fuentes internas y externas, utilizando la resolución creativa de problemas, la ideación u otros métodos; investigar, documentar y evaluar ideas y posibles soluciones, con respecto al grado de novedad, riesgo, viabilidad, conveniencia, sostenibilidad y derechos de propiedad intelectual; seleccionar las ideas preferidas y las posibles soluciones según los criterios establecidos; desarrollar conceptos a partir de ideas y posibles soluciones; incluyendo propuestas de valor y desarrollar alternativas sobre cómo se puede realizar el valor. Se obtienen conceptos con modelos preliminares de valorización que pueden validarse; la comprensión de las incertidumbres o

GESTIÓN DE GOBIERNO ORIENTADO A LA INNOVACIÓN PARA CIUDADES INTELIGENTES: ISO 56002 EN EL DESARROLLO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE TRANSPORTE

suposiciones críticas para cada concepto a validar; la evaluación inicial de riesgos, el grado de novedad y sus implicaciones para un mayor desarrollo en términos de procesos, estructuras, etc.

3. Validar los conceptos. La organización debe considerar los conceptos creados como entradas; comenzar la validación temprano con una versión inicial del concepto; considerar uno o más enfoques para la validación (pruebas, experimentos, pilotos y estudios); abordar el concepto, comenzando con las incertidumbres, hipótesis o suposiciones más críticas, para aprender, obtener comentarios y crear nuevos conocimientos para reducir la incertidumbre; ajustar y mejorar el concepto basado en lecciones aprendidas, retroalimentación y nuevos conocimientos; evaluar la viabilidad del concepto y, si persisten las incertidumbres abordar hipótesis y supuestos y validación adicional, si fuese necesario. Como resultados se obtienen conceptos validados o prueba de conceptos con niveles aceptables de incertidumbre para un mayor desarrollo; relaciones con usuarios, clientes, socios y otras partes interesadas y nuevos conocimientos.
4. Desarrollar soluciones. La organización debe considerar conceptos validados como entrada y deberá desarrollar el concepto en una solución de trabajo, incluido el modelo de realización de valor; considerar si desarrollar la solución internamente, o mediante adquisición, licencia, asociación o tercerización, etc.; identificar y abordar los riesgos asociados con el despliegue (aceptación del usuario, requisitos legales, escalabilidad, ciclo presupuestario y tiempo); verificar el estado del arte para evitar la infracción de los derechos de propiedad intelectual existentes; determinar si la solución puede y necesita ser protegida y desarrollar y establecer las capacidades de despliegue necesarias (promoción, producción, suministro, asociaciones y ecosistemas).
5. Desplegar soluciones. La organización debe considerar las soluciones desarrolladas como entradas y deberá poner la solución a disposición de los usuarios, clientes, socios y otras partes interesadas (lanzando, implementando o entregando la solución); promover y apoyar la solución (ventas, marketing, comunicación, creación de conciencia y compromiso con usuarios, clientes, socios y otras partes interesadas); hacer el seguimiento de los indicadores de adopción y la retroalimentación de los usuarios, clientes, aliados de negocio y otras partes interesadas; hacer el seguimiento del impacto en términos de realización o redistribución de valor; identificar nuevas implicaciones para la propiedad intelectual y captar nuevos conocimientos a partir del despliegue para mejorar soluciones, desarrollar relaciones, y lanzar nuevas oportunidades.

Las operaciones del ciclo de gestión de la innovación de la ISO 56002 se aplican a un caso real, referido al proyecto Sistema Inteligente de Transporte (SIT), ejecutado por profesores de la Facultad de Ingeniería Automática y Biomédica de la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE) y especialistas del Complejo de Investigaciones Tecnológicas Integradas (CITI) y del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CIDT) del Ministerio del Interior.

Resultados y discusión

Los sistemas inteligentes de transporte son un componente imprescindible en el despliegue de las ciudades inteligente.³⁶ Aunque su propósito fundamental es gestionar y controlar de forma centralizada

GESTIÓN DE GOBIERNO ORIENTADO A LA INNOVACIÓN PARA CIUDADES INTELIGENTES: ISO 56002 EN EL DESARROLLO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE TRANSPORTE

toda la red de tráfico de una región, actualmente incluye otras esferas que abarcan desde las vías de comunicación hasta los medios de transporte.³⁷ En particular, el proyecto de I+D+i desarrollado se enmarca dentro del transporte vehicular.

Aunque la tarea fundamental de un SIT es el control de tráfico, también incluye otras como la medición automática del flujo vehicular, la identificación automática de vehículos, la detección automática de infracciones, el cobro automatizado de peaje, los sistemas de información al viajero, el control de aparcamientos y la gestión de flotas. Nótese la estrecha relación que existe entre muchas de estas tareas. Por ejemplo, la medición automática del flujo vehicular permite obtener la información necesaria para calcular la temporización de las luces de un semáforo, incluyendo su modificación de forma dinámica; con la identificación automática de un vehículo (a partir de la identificación de su matrícula) es posible establecer su localización o recorrido, así como implementar otras tareas como la detección automática de infracciones, el cobro automatizado de peajes o el control de aparcamientos. Adicionalmente, la infraestructura desarrollada para implementar un SIT puede servir para soportar otras tareas tan diversas como la medición meteorológica automática distribuida por toda la región.

A continuación, se detalla la aplicación de las diferentes operaciones del ciclo de gestión de la innovación al desarrollo del proyecto Sistema Inteligente de Transporte.

1. Identificación de oportunidades.

La primera oportunidad identificada fue la inexistencia (y necesidad) de un SIT para gestionar de forma centralizada el tráfico en la ciudad de La Habana. Otra oportunidad identificada fue el estado de la red semafórica de la ciudad (y del país en general) que, basada en controladores semafóricos procedentes de la República Popular China (fundamentalmente del modelo HT2000-B), estaba insuficientemente cubierta.

Además, estos controladores semafóricos sólo pueden operar de forma aislada pues no disponen de ninguna interfaz de comunicación con un puesto de mando o centro de control desde donde puedan ser gestionados. Esta limitación los excluye de ser directamente utilizados como parte integrante de un SIT aunque, con innovaciones desarrolladas como parte del proyecto, han podido ser incorporados.

Otra oportunidad que se tuvo en cuenta fue el elevado costo de adquisición de los controladores HT2000-B (más de 3.000 USD cada uno) y, sobre todo, la posibilidad real de desarrollo y producción nacional de un controlador semafórico propio a un costo muy inferior, con impacto en la sustitución directa de importaciones, así como con el beneficio de poder disponer de toda la documentación para su continua actualización.

2. Creación de conceptos.

GESTIÓN DE GOBIERNO ORIENTADO A LA INNOVACIÓN PARA CIUDADES INTELIGENTES: ISO 56002 EN EL DESARROLLO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE TRANSPORTE

A partir de las oportunidades y necesidades identificadas se establecieron un conjunto de conceptos a partir de los cuales se desglosaron las diferentes tareas a ejecutar en el proyecto. El primer aspecto fue el objetivo general del proyecto, establecido como la concepción y desarrollo de los elementos componentes de un Sistema Inteligente de Transporte, de forma tal que posibilite, como tarea fundamental, la gestión y el control centralizado de toda la red de tráfico de la ciudad y de soporte a otras aplicaciones comúnmente asociadas a los SIT.

A partir de lo anterior se estableció la concepción del SIT basado en los principios siguientes: 1) ser un sistema flexible; y 2) poseer una estructura jerárquica. La primera concepción va dirigida a poder incorporar nuevas funcionalidades en el SIT de forma tal que no implique cambios en su operación, mientras que la segunda permite formular el SIT como un sistema distribuido compuesto por cuatro elementos fundamentales, los cuales se ilustran en la **Figura 2**.

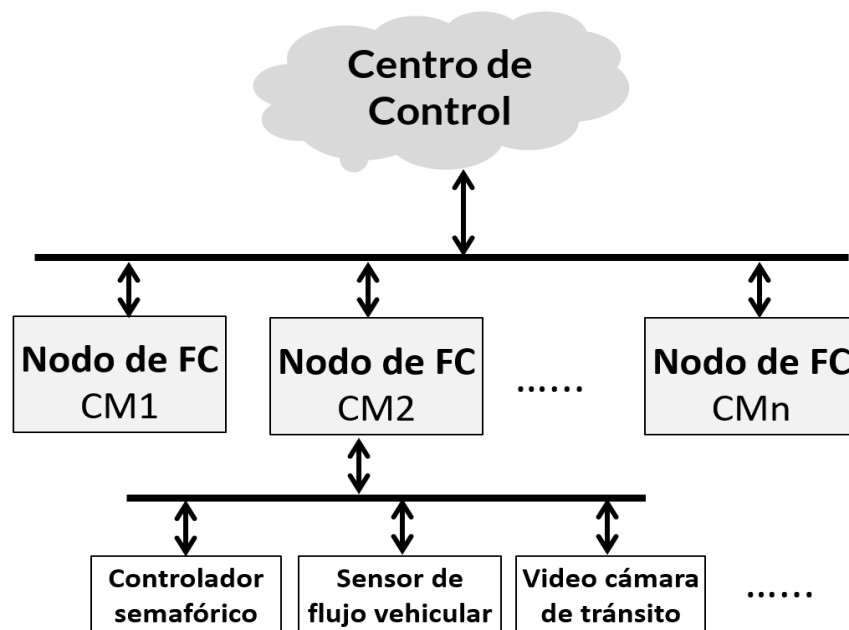


Figura 2. Elementos componentes del SIT desarrollado

Fuente: elaboración propia

En la Figura 2 se muestra una analogía con una red de dispositivos de Internet de las Cosas (IoT), lo que se describe a continuación:

- a. Un Centro de Control (CC) o puesto de mando, desde el cual se controla y gestiona toda la red de tráfico de la ciudad. Algunas de las principales tareas del centro de control es el monitoreo de los

GESTIÓN DE GOBIERNO ORIENTADO A LA INNOVACIÓN PARA CIUDADES INTELIGENTES: ISO 56002 EN EL DESARROLLO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE TRANSPORTE

controladores semafóricos, el control remoto de estos controladores y la modificación a distancia de sus planes de operación. El CC puede estar centralizado en una sola ubicación o distribuido entre varios puestos de mando comunicados entre sí. En analogía a una red IoT, el Centro de Control puede interpretarse como la “nube” desde donde se procesa la información y controla toda la red.

- b. Un conjunto de Controladores Locales (CL) encargados de ejecutar algunas de las tareas de un SIT. El principal CL es el controlador semafórico, encargado de controlar el tráfico (vehicular y peatonal) en una intersección mediante la activación de luces y señales sonoras. Otros CL pueden ser un sensor de flujo vehicular, una video cámara de tránsito para aplicaciones a partir de la identificación de matrículas, o un subsistema de información al viajero. En analogía a una red IoT, los Controladores Locales pueden interpretarse como los dispositivos “de borde” (*Edge*), que son los cercanos a los procesos físicos reales.
- c. Un grupo de Controladores Maestros (CM) encargados de servir de interfaz de comunicaciones entre un conjunto de controladores locales y el centro de control. Nótese que con esta estructura jerárquica se libera a los controladores locales de incorporar interfaces de comunicación directa con el centro de control, lo cual simplifica su implementación y reduce su costo. Adicionalmente, el Controlador Maestro puede encargarse de ejecutar el procesamiento de la información proveniente de alguno de los CL y enviar al centro de control solo la información de interés, reduciendo así el ancho de banda requerido. Un ejemplo es el poder procesar en el CM la información de video proveniente de una videocámara de tránsito para identificar la matrícula de un vehículo, enviando al centro de control sólo los caracteres que conforman la matrícula en lugar de toda la imagen. Nótese que este comportamiento lo hace equivalente a un nodo de “computación en la niebla” (FC, por las siglas en inglés de *Fog Computing*) en una red IoT.
- d. Un soporte de comunicaciones, el cual es diferente para la comunicación entre los controladores locales y el CM correspondiente y la comunicación entre los CM y el Centro de Control. En el primer caso, dado que cada Controlador Maestro se ubica físicamente en el mismo gabinete que los controladores locales con los cuales interactúa, se utiliza una comunicación serie asincrónica cableada a través de las propias placas en que se implementan, mientras que para la comunicación con el Centro de Control (distante de la ubicación del CM) se utiliza un soporte de comunicaciones cableado (Ethernet) o inalámbrica (GPRS o Wifi).

3. Validación de conceptos.

Como parte de esta operación se acometió la concepción, diseño, simulación e implementación, a nivel de maquetas, de un controlador semafórico, un sensor de flujo vehicular y un controlador maestro, así como el desarrollo del software de un centro de control básico.

El controlador semafórico, denominado Controlador Inteligente de Tráfico (CIT), fue diseñado a partir de los requerimientos internacionalmente establecidos para estos tipos de controladores. Está basado en microcontroladores de 8 bits, estando compuesto por una tarjeta de control y entre una y cuatro tarjetas de luces, además de la fuente de alimentación. Si bien esta estructura es similar a la del controlador

GESTIÓN DE GOBIERNO ORIENTADO A LA INNOVACIÓN PARA CIUDADES INTELIGENTES: ISO 56002 EN EL DESARROLLO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE TRANSPORTE

HT2000-B, las prestaciones del CIT son muy superiores ya que permite almacenar hasta 255 planes de operación (secuencias de temporización de las luces del controlador) diferentes (sólo 13 en el HT2000-B) y estos planes pueden ser descargados de forma remota desde el Centro de Control (opción no disponible en el HT2000-B) o de forma local mediante una interfaz USB (en el HT2000-B se realiza mediante una interfaz serie UART, no disponible en los dispositivos portátiles actuales). Además, cada tarjeta de luces puede manejar hasta 16 salidas diferentes (sólo 12 en el HT2000-B) y puede detectar fallos en cualquiera de estas salidas (en el HT2000-B sólo se detectan fallos en las salidas correspondientes a las luces rojas).³⁸ Adicionalmente, para poder configurar los planes de operación del CIT fue necesario desarrollar un programa que realizase esta labor.

A partir de los desarrollos realizados se realizó una estimación del costo del CIT, resultando en valores preliminares muy inferiores a los del controlador semafórico HT2000-B, con lo cual se validó la factibilidad económica de su implementación.

Un procedimiento similar se siguió con el sensor de flujo vehicular, basado en una tarjeta con un microcontrolador de 8 bits y circuitos de acoplamiento de las señales eléctricas provenientes de los sensores de campo magnético utilizados. No obstante, el sensor de flujo vehicular puede aceptar entradas digitales o analógicas provenientes de otros tipos de sensores.

Para la validación a nivel de maqueta de ambos controladores locales se utilizaron placas de desarrollo comerciales de microcontroladores PIC18 sobre las cuales se implementaron los *firmwares* específicos correspondientes a las tarjetas de control y de luces del CIT, así como del sensor de flujo vehicular.

El diseño del Controlador Maestro tuvo requerimientos muy superiores a los desarrollos anteriores. Por una parte, tenía que disponer de una elevada capacidad de procesamiento para poder ejecutar las disímiles tareas demandadas por los diferentes controladores locales. Si bien existen microcontroladores de 32 bits con capacidad de realizar muchas de ellas, resultan aún insuficientes para otras más complejas como el procesamiento de imágenes en tiempo real para la identificación de una matrícula o la ejecución de algoritmos criptográficos como soporte de seguridad a la comunicación con el centro de control. Adicionalmente tenía que disponer de muy variadas interfaces de comunicación para interactuar tanto con los controladores locales como con el centro de control.

En base a estos requerimientos se decidió implementar el Controlador Maestro sobre un dispositivo de hardware reconfigurable tipo FPGA (por las siglas en inglés de *Field Programmable Gate Array*) sobre el cual es posible implementar un potente sistema de procesamiento embebido basado en el procesador de 32 bits Microblaze así como permitir la implementación mediante hardware de funciones críticas en tiempo, como algunas de las relacionadas con el procesamiento de imágenes y aplicaciones criptográficas.^{39,40} Al estar el Controlador Maestro basado en un dispositivo de hardware reconfigurable, permite su continua actualización sin necesidad de modificación del hardware externo y, sobre todo, la implementación hardware de otras funciones que requieran ser aceleradas. Para facilitar el desarrollo de

GESTIÓN DE GOBIERNO ORIENTADO A LA INNOVACIÓN PARA CIUDADES INTELIGENTES: ISO 56002 EN EL DESARROLLO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE TRANSPORTE

las aplicaciones software y de comunicación a ser ejecutadas por el sistema de procesamiento embebido se le incorporó el sistema operativo Petalinux, variante de Linux para el procesador Microblaze. Para la validación del Controlador Maestro se utilizó una placa de desarrollo comercial basada en un FPGA de la familia Spartan-6.⁴¹

Como parte del desarrollo del CIT, del sensor de flujo vehicular y del Controlador Maestro fue necesario implementar un protocolo de comunicación propio para su interacción con el Centro de Control, el cual es general para todos los controladores locales. En este protocolo se establecen los formatos para implementar los diferentes comandos de operación, así como las comunicaciones de los posibles mensajes de alarmas provenientes de los controladores locales (por ejemplo, la comunicación al Centro de Control de un fallo en una de las salidas de luces del CIT).

Para la validación del Centro de Control se desarrollaron un conjunto de aplicaciones software que, basadas en una computadora personal, implementaron el protocolo de comunicación con los controladores maestros, así como un conjunto de funcionalidades básicas para la interacción con el Controlador Inteligente de Tráfico y con el sensor de flujo vehicular.

Para la interacción con el CIT las funcionalidades implementadas permiten el monitoreo remoto de las intersecciones (por ejemplo, para seguir el estado de una intersección); el control remoto (desde el Centro de Control) de las intersecciones (por ejemplo, para dar paso a una caravana en una situación de emergencia); el reporte automático de un fallo en algunas de las luces (sin necesidad de esperar a que el fallo sea reportado por algún ciudadano); la actualización simultánea de la fecha y hora para todos los controladores locales y el cambio remoto (desde el Centro de Control) de los planes de operación. De esta forma, con un simple *click* desde el Centro de Control, un operador debidamente autenticado con los permisos requeridos, puede modificar los planes de operación de un controlador semafórico sin necesidad de desplazarse hasta la intersección donde está ubicado, abrir el gabinete, conectarse localmente y descargar el nuevo plan.

4. Desarrollo de las soluciones.

Una vez validados a nivel de maquetas estos dos controladores locales y el controlador maestro se procedió a su diseño e implementación definitivos. Para ello se diseñaron, fabricaron y verificaron las correspondientes placas de circuito impreso que dan soporte al hardware y se desarrollaron y validaron los *firmwares* definitivos para los diferentes microcontroladores.

La **Figura 3** muestra una imagen de la tarjeta de control del Controlador Inteligente de Tráfico CIT-001 finalmente desarrollado. En ella resalta la batería para mantener la actualización de fecha y hora (imprescindible para la correcta sincronización de las diferentes intersecciones) a través de un circuito de reloj de tiempo real, el cual es actualizado diariamente desde el Centro de Control.

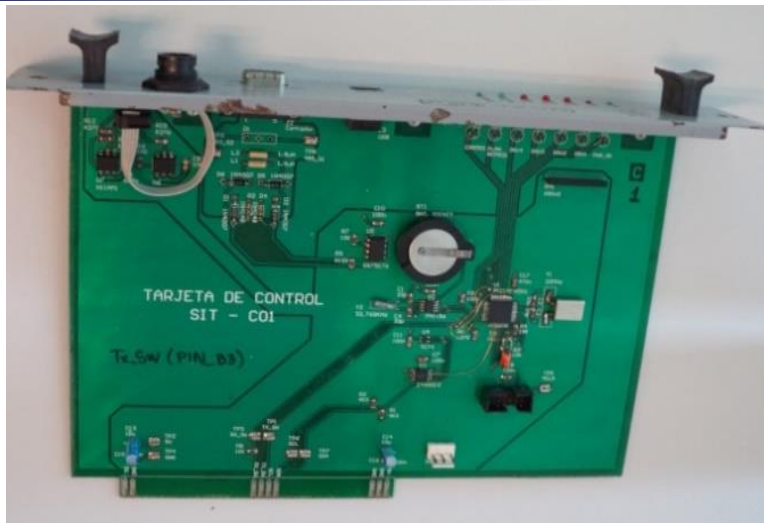


Figura 3. Imagen de la tarjeta de control del Controlador Inteligente de Tráfico CIT-001
Fuente: elaboración propia

De forma similar la **Figura 4** muestra una imagen de una de las tarjetas de luces del CIT-001, en la cual resalta el conector de potencia para la conexión de las luces del semáforo, así como un conjunto de LED indicadores del estado de cada una de las luces. En ambas tarjetas se aprecian los conectores posteriores mediante los cuales se comunican a través de una placa de interconexión.

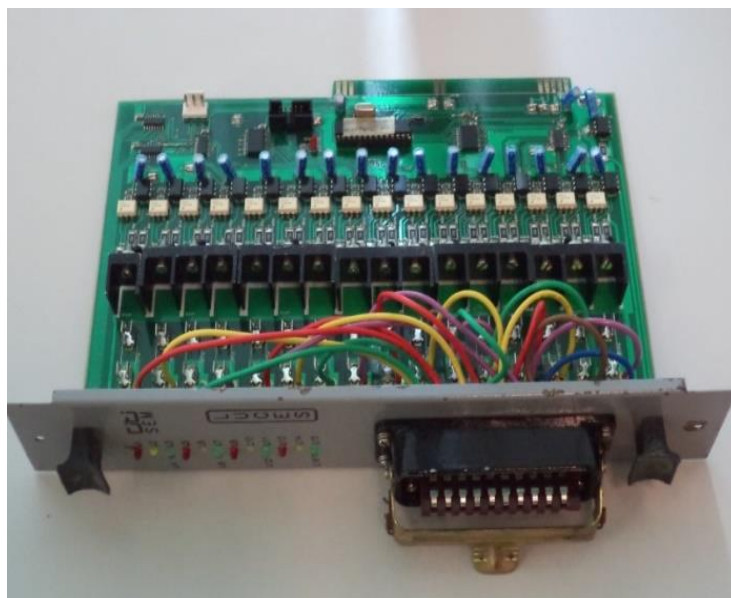


Figura 4. Imagen de una tarjeta de luces del Controlador Inteligente de Tráfico CIT-001
Fuente: elaboración propia

GESTIÓN DE GOBIERNO ORIENTADO A LA INNOVACIÓN PARA CIUDADES INTELIGENTES: ISO 56002 EN EL DESARROLLO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE TRANSPORTE

Una vez finalizado el desarrollo del CIT-001 se determinó su costo total, incluyendo la tarjeta de alimentación, la de interconexión y sus partes mecánicas, resultando inferior a 1.000 USD (menos de la tercera parte del costo de un HT2000-B), corroborando que es factible la sustitución directa de las importaciones de controladores semafóricos.

Por otra parte, la **Figura 5** muestra la imagen de la tarjeta del Controlador Maestro CM-001 finalmente desarrollado, en la cual resalta (en color verde) la placa de FPGA utilizada, en la cual se incorporan sus principales funcionalidades.

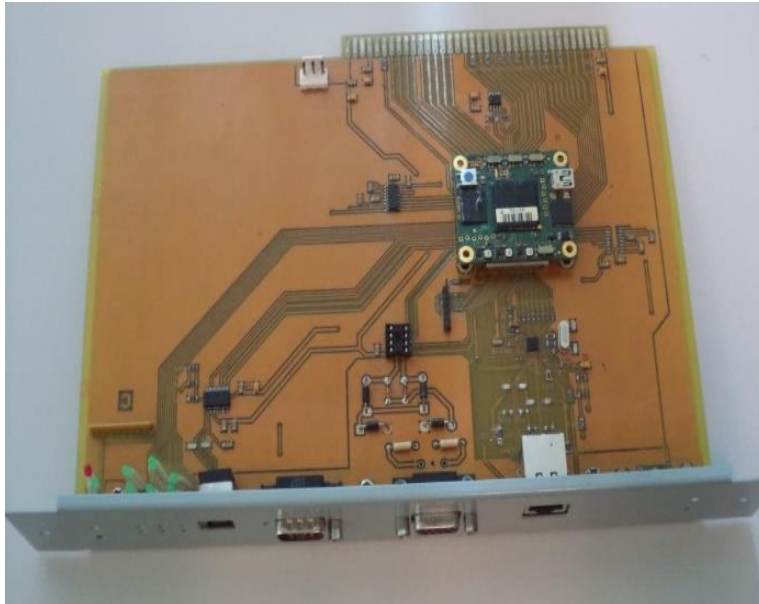


Figura 5. Imagen de la tarjeta del Controlador Maestro CM-001, en la que se destaca la placa de FPGA
Fuente: elaboración propia

Al igual que se hizo con el CIT-001, también se determinó el costo del Controlador Maestro CM-001, resultando inferior a los 500 USD, algo más de la mitad correspondiendo a la placa de FPGA. Nótese que el costo total del Controlador Inteligente de Tráfico CIT-001 y del Controlador Maestro CM-001 en conjunto es inferior a la mitad del costo de un controlador HT2000-B y con prestaciones muy superiores a este.

Todas las tarjetas y las partes mecánicas desarrolladas fueron sometidas a diferentes pruebas ambientales (variaciones de temperatura y humedad) y mecánicas (vibraciones) en los laboratorios del CIDT, comprobándose su correcto funcionamiento en todo momento.

Como parte del desarrollo de estos controladores también se elaboró una detallada documentación técnica (manuales de usuario y de explotación, planos eléctricos, esquemas de montaje, programas

GESTIÓN DE GOBIERNO ORIENTADO A LA INNOVACIÓN PARA CIUDADES INTELIGENTES: ISO 56002 EN EL DESARROLLO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE TRANSPORTE

documentados) que permite no solo la continua actualización de sus posteriores desarrollos sino la transferencia tecnológica a terceros.

La **Figura 6** muestra una imagen del Controlador Inteligente de Tráfico CIT-001 y del Controlador Maestro CM-001 ubicados en su chasis y listo para ser emplazado en un gabinete en una intersección, en donde se aprecia la tarjeta de control del CIT (CIT-C), las cuatro tarjetas de luces del CIT (CIT-L), la tarjeta del Controlador Maestro (CM) y la tarjeta con la fuente de alimentación. Nótese un espacio disponible en el gabinete para ubicar otro tipo de Controlador Local. En la práctica no son necesarias tantas tarjetas de luces (en las intersecciones actuales basta con una o dos tarjetas) por lo que sus espacios también quedarían disponibles para ubicar otros CL de ser necesario.

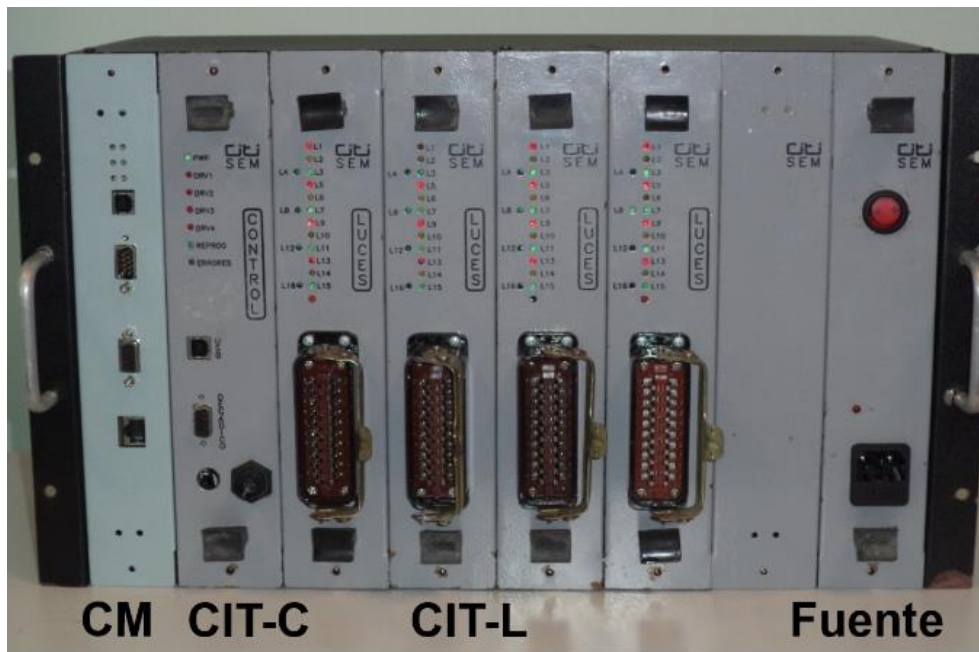


Figura 6. Imagen del Controlador Inteligente de Tráfico CIT-001 y del Controlador Maestro CM-001 en su chasis.

Fuente: elaboración propia

Es importante resaltar que, aunque no formaba parte de las tareas iniciales del proyecto, también se acometió el desarrollo de tareas para poder adaptar los controladores semafóricos HT2000-B ya en explotación al Sistema Inteligente de Transporte. Esto es una muestra de la continua realimentación e interacción existente entre las diferentes operaciones del ciclo de innovación al identificar nuevas oportunidades a partir de la existencia de una apreciable cantidad de estos controladores sin posibilidades de ser incorporados al SIT.

GESTIÓN DE GOBIERNO ORIENTADO A LA INNOVACIÓN PARA CIUDADES INTELIGENTES: ISO 56002 EN EL DESARROLLO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE TRANSPORTE

Dado que el hardware de estos controladores no podía ser modificado, fue necesario acometer labores de ingeniería inversa a sus tarjetas de control y de luces para obtener sus correspondientes esquemas eléctricos y comprender al detalle su operación, requisito fundamental para elaborar los nuevos *firmware* a ser implementados en sus respectivos microcontroladores de 8 bits de la familia AVR. Entre otras funcionalidades, estos nuevos *firmwares* incorporan el protocolo de comunicación previamente desarrollado para el CIT de forma tal que permita la interacción del HT2000-B con el centro de control. Adicionalmente fue necesario desarrollar una tarjeta de comunicaciones basada en un microcontrolador de 8 bits que, aunque sin disponer de las capacidades de procesamiento del Controlador Maestro, sirve como puente de comunicaciones entre el controlador semafórico HT2000-B y el Centro de Control del SIT.

Nótese que para realizar la adaptación solo es necesario reprogramar los microcontroladores de la tarjeta de control y de las tarjetas de luces del HT2000-B con los nuevos *firmware*, así como adicionarle la nueva tarjeta de comunicaciones, para lo cual también se elaboró una detallada documentación que permite a los técnicos realizar sin inconvenientes estos procesos.

6. Despliegue de las soluciones.

Previo al despliegue en intersecciones reales de los resultados de innovación obtenidos, se ubicó un Controlador Inteligente de Tráfico con dos tarjetas de luces y un Controlador Maestro en un gabinete real ubicado a la intemperie en un polígono de pruebas instalado al efecto en la CUJAE por el Centro Nacional de Ingeniería de Tránsito (CENIT) del MININT, comprobándose su correcto funcionamiento durante algo más de seis meses, incluyendo la continua comunicación con un Centro de Control instalado en una computadora en el CITI. Similar comprobación se realizó con el controlador semafórico HT2000-B ya adaptado para su incorporación al Sistema Inteligente de Transporte.

Posteriormente, el CENIT procedió a la implementación de un Centro de Control en sus instalaciones, así como al despliegue de varios controladores HT2000-B ya adaptados, conjuntamente con el Controlador Inteligente de Tráfico y el Controlador Maestro, en intersecciones reales de la capital, comprobándose la correcta operación de todo el Sistema inteligente de Transporte, así como sus potencialidades y beneficios.

La **Figura 7** muestra una imagen de la aplicación de monitorización, desde el Centro de Control, de las intersecciones de la calle 12 con la calle Zapata y con la calle 17, en El Vedado, en la cual se puede apreciar el estado de las luces (verde o roja) en ese momento de cada intersección.

GESTIÓN DE GOBIERNO ORIENTADO A LA INNOVACIÓN PARA CIUDADES INTELIGENTES: ISO 56002 EN EL DESARROLLO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE TRANSPORTE

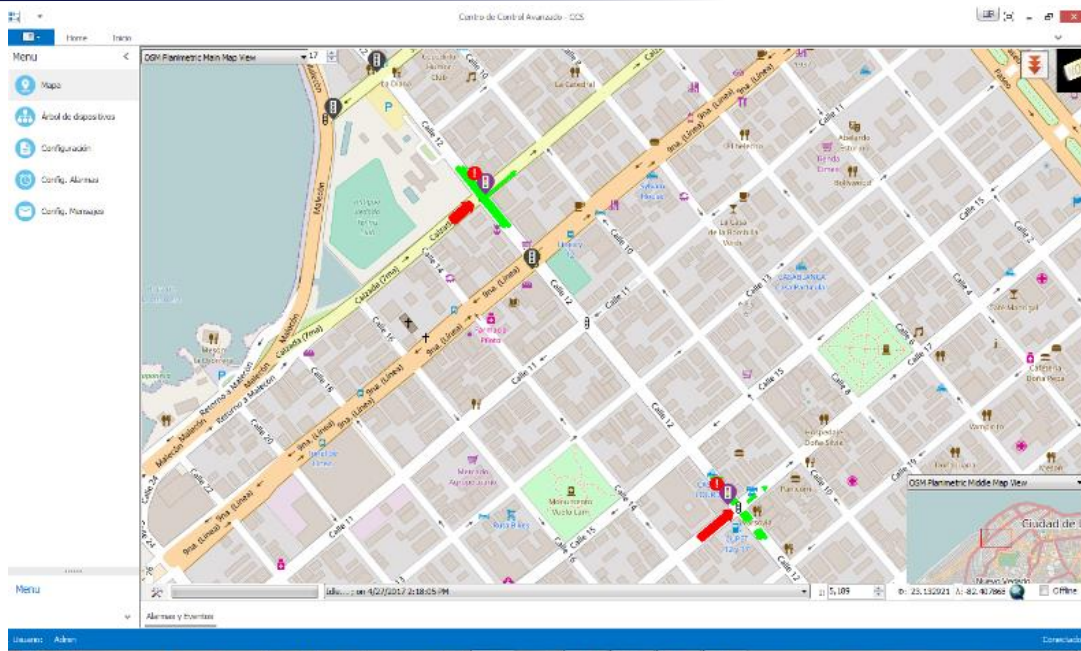


Figura 7. Imagen de la aplicación de monitorización de intersecciones desde el Centro de Control.
Fuente: elaboración propia

Es importante destacar que el despliegue masivo de los resultados aún no se ha alcanzado. Por una parte se presentaron dificultades (más subjetivas que objetivas) para la fabricación del CIT-001 y del CM-001. Posteriormente la crisis de la pandemia de COVID-19 y sus posteriores secuelas, impidieron su despliegue hasta que en el 2022 se decidió retomar la producción y despliegue de estos desarrollos, labor que se intenta acometer en la actualidad.

Por los resultados alcanzados dentro del proyecto, el CITMA provincial de La Habana le otorgó en el año 2016 un Premio de Innovación Tecnológica al trabajo “Adaptación total del controlador semafórico HT2000-B para su incorporación al Sistema Inteligente de Transporte”, mientras que en el 2022 le otorgó un Premio de Innovación Tecnológica al trabajo “Controlador Inteligente de Tráfico para Sistema Inteligente de Transporte”.

Conclusiones

La aplicación de las operaciones del ciclo de gestión de la innovación de la ISO 56002 al proyecto Sistema Inteligente de Transporte permitió el desarrollo de sus diferentes etapas, desde la identificación de las oportunidades (y necesidades), el concepto y su validación, desarrollo de la solución hasta su despliegue.

GESTIÓN DE GOBIERNO ORIENTADO A LA INNOVACIÓN PARA CIUDADES INTELIGENTES: ISO 56002 EN EL DESARROLLO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE TRANSPORTE

Como resultado se han obtenido los principales componentes del Sistema Inteligente de Transporte, que incluyen: un controlador semafórico nacional, un controlador maestro y las aplicaciones software para un centro de control. Adicionalmente, se logró la adaptación de los controladores semafóricos HT2000-B en explotación al SIT.

Existen posibilidades reales para la producción nacional de estos componentes lo que, conjuntamente con su costo muy inferior a los importados, puede propiciar la sustitución directa de importaciones y con ello la introducción de innovaciones de productos, procesos y organizacionales.

Referencias bibliográficas

1. Khomsi MR. The Smart City Ecosystem as an Innovation Model: Lessons from Montreal. *Technology Innovation Management Review*, 2016;6(11): 26–31. [consultado 6 febrero 2023] Disponible en: <http://timreview.ca/article/1032>
2. Chaparro M, Mas A, Roig N. Driving research on eco-innovation systems: Crossing the boundaries of innovation systems. *International Journal of Innovation Studies*. 2023;7:218-229. [consultado 12 febrero 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijis.2023.04.004>
3. Asheim BT, Isaksen A. Regional innovation systems: the integration of local ‘sticky’ and global ‘ubiquitous’ knowledge. *Journal of Technology Transfer*, 2022;27(1):77-86. [consultado 16 enero 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.1023/A:1013100704794>
4. Yookyung L, Seungwoo H, Seungho L. Towards Sustainable and Smart City: An Analysis of the National Strategic Smart City Program in South Korea. [S.I.]. *Social Science Research Network (SSRN)*; 2022. [consultado 5 febrero 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4160483>.
5. Kochetkov D. Innovation: A state-of-the-art review and typology. *International Journal of Innovation Studies*. 2023;7: 263-272. [consultado 12 febrero 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijis.2023.05.004>
6. Niewöhner N, Asmar L, Röltgen D, Kühn A, Dumitrescu R. The impact of the 4th industrial revolution on the design fields of innovation management. *Procedia CIRP* 91, 30th CIRP Design 2020;43-48. [consultado 1 febrero 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.149>
7. Xie F, Li B, Xie P. An Integrated Innovation Management Model from the Viewpoint Fitting Customer Value: Based on Chinese Cases. 2016 Proceedings of PICMET '16: Technology Management for Social Innovation, 2016:1086-1097.
8. Costales E. Identifying sources of innovation: Building a conceptual framework of the Smart City through a social innovation perspective, 2022;120,103459 [consultado 18 febrero 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103459>.
9. Mora L, Deakin M, Reid A. Strategic principles for smart city development: A multiple case study analysis of European best practices. *Technological Forecasting and Social Change*, 2018; (March), 0–1. [consultado 23 febrero 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.035>

**GESTIÓN DE GOBIERNO ORIENTADO A LA INNOVACIÓN PARA CIUDADES
INTELIGENTES: ISO 56002 EN EL DESARROLLO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE
TRANSPORTE**

10. Komninos N, Tsampoulatidis I, Kakderi C, Nikolopoulos S, Kompatsiaris I. Projects for intelligent and smart cities: Technology and innovation transforming city ecosystems. Preprint, 2021; 2021080080. [consultado 12 febrero 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.20944/preprints202108.0080.v1>
11. Ferraris A, Santoro G, Papa A. The cities of the future: Hybrid alliances for open innovation projects. Futures; 2018 [consultado 25 febrero 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2018.03.012>
12. Chu J, Dai YY, Zhong A. Factors Influencing the Effectiveness of Open Government Data Platforms: A Data Analysis of 61 Prefecture-Level Cities in China. SAGE Open. 2023; July-September, 1–13. [consultado 23 febrero 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.1177/21582440231194207>
13. Suzic B, Ulmer A, Schumacher J. Complementarities and Synergies of Quadruple Helix Innovation Design in Smart City Development. Smart Cities Symposium Prague 2020. IEEE Xplore. University of London; 2020. [consultado 1 marzo 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.1109/SCSP49987.2020.9133961>
14. Fu Z, Li X. Building the Co-design and Making Platform to Support Participatory Research and Development for Smart City Building the Co-design and Making Platform to Support Participatory Research. Springer International Publishing Switzerland; 2014, pp. 609–620.
15. Kociuba D, Sagan M, Kociuba W. Toward the Smart City Ecosystem Model. Energies 2023; 16, 2795. [consultado 21 febrero 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.3390/en16062795>
16. Lihua Y, Baobin D. Optimization of IoT-Based Sporting Goods Consumer Service Management System. Complexity. Article ID 2914629; 2021. 13 pages. [consultado 14 febrero 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2021/2914629>
17. Borda A, Bowen JP. Smart Cities and Digital Culture: Models of innovation (Chapter 27). In: T. Giannini & J.P. Bowen (eds.), Museums and Digital Culture, Springer Series on Cultural Computing; 2019. [consultado 15 febrero 2023] Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-319-97457-6_27
18. Sierra JE, Vesga JC, Medina B. Livestock Model Innovation under the Concept of Smart Cities. Indian Journal of Science and Technology, 2018;11(22), [consultado 17 febrero 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i22/122510>.
19. Delgado M, Delgado T. Sistematización sobre ciudades inteligentes con énfasis en ecosistemas de innovación para la creación de valor público. Innovar, 2023;33(89). 51-64. [consultado 17 febrero 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.15446/innovar.v33n89.107038>
20. Delgado T, Sánchez A, Reyes R. Laboratorios urbanos para ciudades inteligentes: Primeros pasos en municipios cubanos. En O. Romero Guisado, & M. L. Gómez Jiménez V (Coords.), Actas del X International Greencities Congress; 2019. pp. 99-110. Palacio de Ferias y Congresos de Málaga (FCMA). [consultado 19 febrero 2023] Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codi-go=7266955>
21. Delgado T. Instrumentos de política emergentes para la promoción de ecosistemas de innovación digital colaborativa. Revista Cubana de Transformación Digital. 2022;3(4):e212. [consultado 20 febrero 2023] Disponible en: <https://rctd.uic.cu/rctd/article/view/212>

**GESTIÓN DE GOBIERNO ORIENTADO A LA INNOVACIÓN PARA CIUDADES
INTELIGENTES: ISO 56002 EN EL DESARROLLO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE
TRANSPORTE**

22. Reyes R, Delgado T. Modelo funcional de un laboratorio ciudadano de innovación digital. *Revista Universidad y Sociedad*, 2021;13(1): 177-188. [consultado 20 febrero 2023] Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v13n1/2218-3620-rus-13-01-177.pdf>
 23. Díaz-Canel M, Delgado M. Modelo de gestión del gobierno orientado a la innovación. *Revista Cubana de Administración Pública y Empresarial*. 2020;4(3):300-321. [consultado 22 febrero 2023] Disponible en: <https://apye.esceg.cu/index.php/apye/article/view/141>
 24. ONN. NC-ISO 9001:2015. (2015). Sistema de Gestión de la Calidad. Requisitos. (Traducción certificada). 5ta edición. La Habana: Oficina Nacional de Normalización (ONN)
 25. ONN. ISO 56002: 2019. Innovation management — Innovation management system — Guidance es adoptada como Norma Nacional idéntica con la referencia NC-ISO 14034: 2019. ICS: 03.100.01; 03.100.40; 03.100.70, abril, Traducción certificada de la Norma Internacional Oficina Nacional de Normalización (ONN), Cuba; 2020.
 26. Rezak R, Djenouhat A, Kherbachi H. The Impact of ISO 56000 Standard on Managerial Practices towards Sustainable Development. A Prospective Study on an Algerian International Port Company. *Valahian Journal of Economic Studies*. 2022; 13(27)2: 101-112. [consultado 22 febrero 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.2478/vjes-2022-0020>
 27. Delgado M. Innovación Empresarial. En: Delgado M, Coordinador académico. *Temas de Gestión Empresarial*. Vol. II. La Habana: Editorial Universitaria Félix Varela, ISBN 978-959-07-2160-1; 2017. 117p. [consultado 1 marzo 2023] Disponible en: <http://bibliografia.eduniv.cu:8083/read/14/pdf>
 28. Delgado M. Proyectos de innovación en Administración Pública y Empresarial en Cuba. *Folletos gerenciales*. 2018; 22 (2): 71-84. [consultado 22 febrero 2023] Disponible en: <http://200.14.55.208/index.php/folletosgerenciales/article/view/89/104>
 29. Delgado M. Innovación en la administración pública. En: Sánchez, B. Coordinador. *Contribuciones al conocimiento de la Administración Pública*. La Habana: Editorial Universitaria Félix Varela; 2016. pp. 67-110.
 30. OECD. OSLO Manual: Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation. The measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities. 4th Edition, October, 22; 2018. 255p. [consultado 12 febrero 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>
 31. Castro Díaz-Balart F, Delgado M. Innovación tecnológica, estrategia corporativa y competitividad en la industria cubana. *Dirección y Organización*, 1999; (22). [consultado 15 enero 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.37610/dyo.v0i22.274>
 32. Esashika D, Masiero DG, Mauger Y. Living labs contributions to smart cities from a quadruple-helix perspective. *JCOM Journal of Science Communications*. 2023;22(03).A02. [consultado 16 febrero 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.22323/2.22030202>
 33. Delgado M. Aprendizajes de la gestión de I+D+i biofarmacéutica cubana: caso de empresa de alta tecnología. *Revista Universidad y Sociedad*, 2022;14(15) 133-141. [consultado 18 febrero 2023] Disponible en: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/3209>
 34. Abella A, Ortiz de Urbina M, De Pablos C. A model for the analysis of data-driven innovation and value generation in smart cities' ecosystems. *Cities*. 2017;64:47-53. [consultado 19 febrero 2023] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2017.01.011>
-

35. Iamtrakul P, Klaylee J. Creating A Prototype Smart City for A Case of Developing World: Pathum Thani, Thailand. GMSARN International Journal 2023;17:67-75. [consultado 26 junio 2023] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/360813442_Creating_A_Prototype_Smart_City_for_A_Case_of_Developing_World_Pathum_Thani_Thailand
36. Gobar A, Nencioni G. The Role of 5G Technologies in a Smart City: The Case for Intelligent Transportation System. Sustainability. 2021;13:5188. [consultado 23 marzo 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su13095188>
37. Arena F, Pau G, Severino A. A Review on IEEE 802.11p for Intelligent Transportation Systems. J. Sens. Actuator Netw. 2020;9(22). [consultado 22 marzo 2023] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/jsan9020022>
38. Ruiz A, Ortega E, Cabrera A. Controlador Inteligente de Transporte, Revista Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones, 2010;31(3): 1-14. [consultado 15 febrero 2023] Disponible en: <https://rielac.cujae.edu.cu/index.php/rieac/article/view/63>
39. Garcés L, Cabrera A, Sánchez S, Brox P, Ieno E, Cleber T. Self-modificable image processing library for model-based design on FPGAs. IEEE Latin America Transactions, 2019;17(2): 742-750, [consultado 13 febrero 2023] Disponible en: <https://doi.org.10.1109/TLA.2019.8891942>
40. Cabrera A, Cabrera A. Diseño e integración de algoritmos criptográficos en sistemas empotrados sobre FPGA, Revista Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones. 2013;34(3):41-51. [consultado 11 febrero 2023] Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282013000300005
41. Cabrera A, Cabrera A. Controlador empotrado en FPGA para Sistema Inteligente de Transporte, Revista Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones. 2011;32(3):35-44. [consultado 8 febrero 2023] Disponible en: <https://rielac.cujae.edu.cu/index.php/rieac/article/view/92>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no presentar conflictos de intereses

Contribución de los autores

- Mercedes Delgado Fernández: Conceptualización, Análisis formal, Investigación, Metodología, Visualización, Escritura, Borrador original, Redacción: revisión y edición.
- Alejandro José Cabrera Sarmiento: Análisis formal, Investigación, Metodología, Recursos, Validación, Visualización, Escritura, Borrador original, Redacción: revisión y edición.