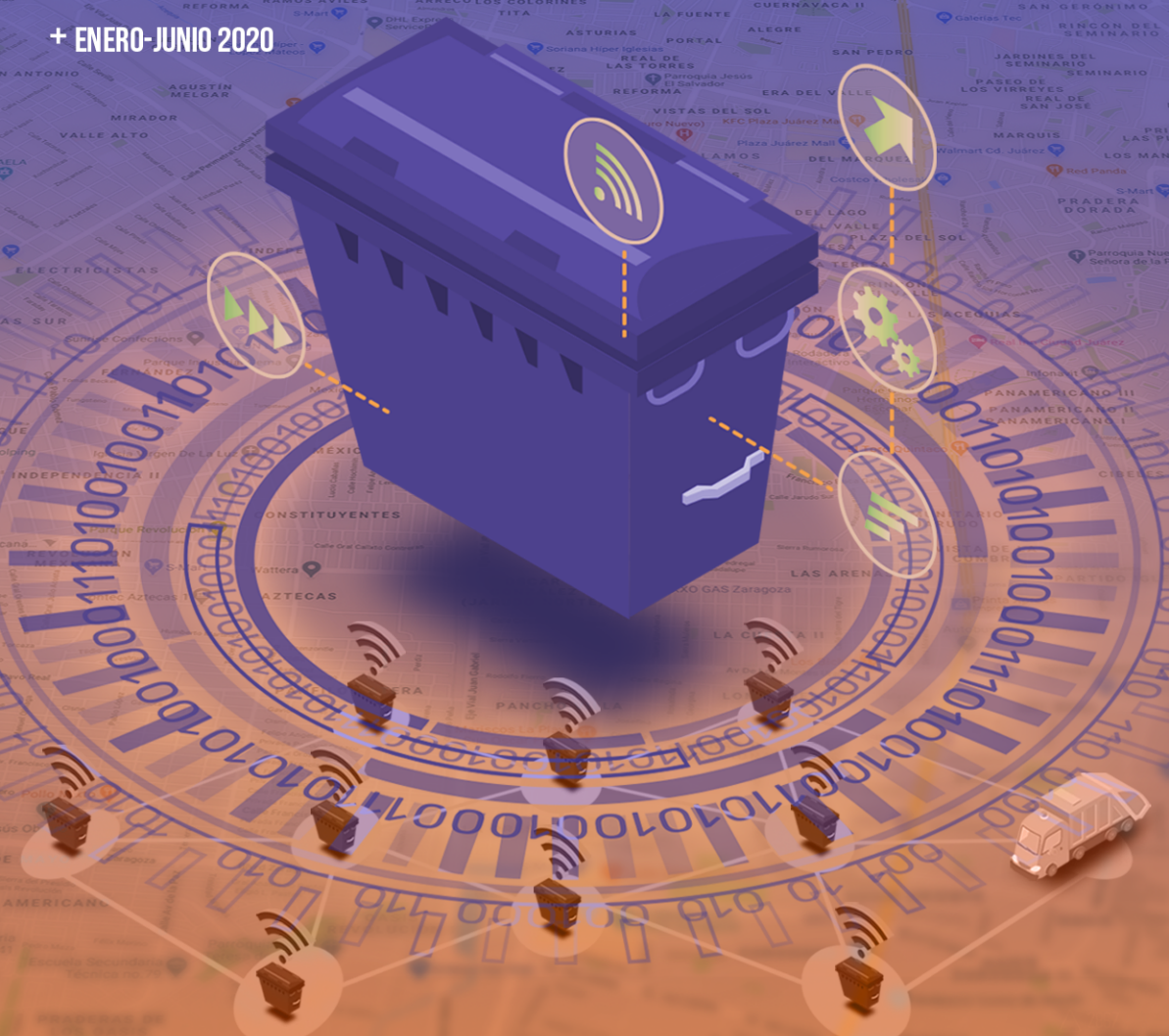


# UTG THEOREMA

## REVISTA CIENTÍFICA

+ ENERO-JUNIO 2020



OPTIMIZACIÓN DEL RECORRIDO EN LA DISPOSICIÓN DE DESPERDICIOS SÓLIDOS INDUSTRIALES MEDIANTE DISPOSITIVO DE MEDICIÓN Y COMUNICACIÓN

HUMANOS Y MÁQUINAS TRABAJANDO EN CONJUNTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL INTERNET DE LAS COSAS: UN DESAFÍO EN EL SECTOR DE AUTOPARTES EN NUEVO LEÓN

APLICACIÓN DE LA FUNCIÓN DE PÉRDIDA DE TAGUCHI PARA OPTIMIZACIÓN MULTIRESPUESTA EN MANUFACTURA



ISSN: 2448-7007

Actividad Barométrica

latindex

GMB



## OPTIMIZACIÓN DEL RECORRIDO DE DESPERDICIOS SÓLIDOS INDUSTRIALES MEDIANTE DISPOSITIVO DE MEDICIÓN Y COMUNICACIÓN

Artículo arbitrado 4 | Edición 13

Uriel Angel Gómez Rivera<sup>1</sup>, Ivan Juan Carlos Pérez Olguín<sup>2</sup> y Luis Alberto Rodríguez Picón<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universidad Autónoma  
de Ciudad Juárez  
Av. Hermanos Escobar, Omega,  
C.P. 32410,  
Ciudad Juárez, Chihuahua, Méx.



al182974@alumnos.uacj.mx  
ivan.perez@uacj.mx

Recibido: Mayo 6, 2020.  
Recibido en forma revisada: Julio 11, 2020.  
Aceptado: Julio 12, 2020.

**Resumen:** El presente proyecto tiene como objetivo el diseño de un control sistematizado sobre los contenedores de residuos en el ámbito industrial. Por lo cual se utilizaron diversas herramientas como el dispositivo físico que está constituido por un microcontrolador y sensores, así como el software cuyo funcionamiento es con base en el algoritmo de optimización dijkstra. De esta manera la metodología fue hecha en dos etapas que incluyó, la interconexión del dispositivo y su código en el software tomando como base el algoritmo dijkstra. Finalmente, dicho dispositivo dio resultados favorables en sus respectivas hipótesis, desde la prevención del desbordamiento de cada contenedor por medio de la comunicación y monitoreo de estos hasta la gran eficiencia de optimización de rutas por medio del algoritmo dijkstra medidas en pruebas de hipótesis t de una muestra y pruebas t pareada.

**+ Palabras clave:** Algoritmo Dijkstra, Optimización de Recorrido, Recolección de Residuos Sólidos, Google Maps.

**Abstract:** The objective of this project is to design a systematized control over waste containers in the industrial field. Therefore, various tools were used, such as the physical device that is made up of a microcontroller and sensors, as well as the software whose operation is based on the optimization algorithm dijkstra. In this way the methodology was

made in two stages in which I cover the interconnection of the device and its code in the software based on the dijkstra algorithm. Finally, said device gave favorable results in their respective hypotheses, from the prevention of the overflow of each container through the communication and monitoring of these to the high efficiency of route optimization through the dijkstra algorithm measured in hypothesis tests one sample  $t$  and  $t$  paired.

✦ **Keywords:** *Dijkstra Algorithm, Solid Waste, Trace Route Optimization, Google Maps.*

## Introducción

Dentro del contexto de las ciudades inteligentes (*Smart Cities*) el sistema de gestión de residuos inteligente tiene amplia relevancia ya que es posible incorporar herramientas de análisis de información en tiempo real que faciliten la toma de decisiones autónomas, en lo referente a la localización y distribución de contenedores, análisis y optimización de de rutas, entre otros (*Martínez, Castillo y Crowe, 2019*). En general, este tipo de desarrollos se fundamentan en cinco aspectos:

- Sensores inteligentes, que permiten recabar información con respecto al seguimiento del nivel de llenado de los contenedores mediante sensores de ultrasonidos.
- Sistema de gestión de residuos, que permite realizar configuraciones del sistema de monitoreo, comunicación, seguimiento y gestión de los residuos.
- Análisis de datos, que permite el análisis de los nodos que requieren recolección, los algoritmos de optimización de rutas y permiten la toma de decisiones basadas en datos.
- Planificador de rutas, determina la distribución de los recursos para optimizar la gestión de rutas de recolección, con retroalimentación centrada en sistemas de gestión de mapas.
- Aplicación, interface de comunicación de los cuatro puntos anteriores que comunica la decisión obtenida en base a los datos recabados mediante una aplicación móvil.

La necesidad de tener sistemas que optimicen los costos operativos, es un motivador que impulsa la incorporación tecnológica en el monitoreo, control y planeación de las rutas de recolección de los residuos industriales, ya que permitirá la reducción de los costos de transporte, la mejor asignación de los vehículos utilizados en los procesos de recolección, la planeación adecuada de los programas de mantenimiento (en base a su tasa de ocupación) y una reducción en el impacto ambiental (por la reducción en la emisión de gases a la atmosfera y en la reducción del desbordamiento de residuos sólidos de los contenedores actualmente utilizados).

Por ello, se propone desarrollar e implementar un sistema de gestión y comunicación en los contenedores industriales, que permita el ahorro de recursos y por consiguiente evitar gastos innecesarios, este sistema permitirá determinar cuales de los contenedores industriales, ubicados en distintas locaciones se encuentran en su capacidad máxima de alma-

namiento; posteriormente, utilizando un algoritmo de optimización de rutas (*dijkstra*), analiza las locaciones, calcula la ruta optimizada y comunica la ruta a los camiones recolectores utilizando google maps como interface, ahorrando gastos de combustible.

Para validar si el dispositivo de medición y comunicación propuesto en la investigación permite reducir el impacto ambiental negativo relacionado con la disposición de los contenedores de residuos sólidos industriales, se plantean las siguientes hipótesis, que serán evaluadas con 10 observaciones y un nivel de confianza del 95%:

Hipótesis #1: la interfaz del sistema de comunicación registrará cuando el contenedor llegue a su capacidad máxima y de esta manera informará sobre el estatus de los contenedores a su máxima capacidad para su recolección.

- $H_0$ : La  $\mu$  del tiempo de recolección programado para un contenedor en específico es igual a la  $\mu$  del tiempo de llenado reportado por los contenedores inteligentes.
- $H_1$ : La  $\mu$  del tiempo de recolección programado para un contenedor en específico es diferente a la  $\mu$  del tiempo de llenado reportado por los contenedores inteligentes.

Hipótesis #2: El sistema de detección de residuos por vía infrarroja, por medio de un algoritmo de programación, enviará una señal al sistema de monitoreo, e indicará cuando este llegue a su capacidad máxima, evitando la contaminación física del entorno.

- $H_0$ : La  $\mu$  del tiempo de recolección programado de los residuos de contenedores normales evita el desbordamiento de residuos o la subutilización de los contenedores.
- $H_1$ : La  $\mu$  del tiempo de recolección programado para los residuos de contenedores normales no evita el desbordamiento de residuos o la subutilización de contenedores.

Hipótesis #3: La ruta de recolección obtenida por medio del modelo de programación lineal de ruta mas corta y la retroalimentación del contenedor inteligente permiten reducir la distancia recorrida para la recolección de los desperdicios depositados en los contenedores de desperdicio industrial.

- $H_0$ : La  $\mu$  de contenedores normales =  $\mu$  de contenedores inteligentes.
- $H_1$ : La  $\mu$  de contenedores normales >  $\mu$  de contenedores inteligentes.

## Marco Teórico

### *Ciudades inteligentes*

Hoy en día, las denominadas ciudades inteligentes se caracterizan por la eficiencia tecnológica, proceso que se ha estado desarrollando en los últimos años, la importancia de las ciudades inteligentes, surge de la incorporación del Internet de las Cosas y las nuevas tecnologías que ayudan a generar una infraestructura que garantice que la vida de las personas sea más cómoda, eficiente (*Martínez, 2019*) y sustentable.

Las ciudades inteligentes son aquellas que utilizan el potencial de la tecnología y la innovación, junto al resto de recursos para hacer de ellos un uso más eficaz, promover un desarrollo sostenible y, en definitiva,

mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos usando una apropiada gestión de la tecnología (Alcalde, 2019). Es decir, son todas aquellas ciudades que usan y fomentan el buen rendimiento de la tecnología, con el objetivo principal de avanzar en temas como infraestructura, economía, social y medioambiente.

### Problemática de transporte

La movilidad es uno de los mayores problemas a los que se enfrentan las ciudades. Más del 50% de la población del planeta vive hoy en día en ciudades, y se espera que esta cifra suba al 70% en el 2050. Conseguir que las ciudades no se saturen, tengan un aire limpio y optimicen los costos de gestión de la movilidad es prioritario. De esta manera, los temas de movilidad, donde se incluyen los problemas y algoritmos de transporte es el área principal que está liderando la industria de las ciudades inteligentes (Berengueras, 2019).

En las ciudades inteligentes se han desarrollado modelos para mejorar la logística del control del tráfico con el propósito de disminuir la contaminación aunado con los costos de transporte, un ejemplo claro ha sido el control de la red de semáforos, variando la frecuencia y sincronizando de la red para conseguir un tráfico más fluido, priorizando el tráfico en rutas alternativas, facilitar rutas de acceso y evacuación en caso de accidentes viales (Atlas Smart Cities, 2019). Otro ejemplo, relacionado con modelos de optimización, ha sido la implantación del monitoreo en el seguimiento y la geolocalización de vehículos, gestionar rutas en control de tráfico y las necesidades de desplazamiento, adaptar la ruta a situaciones especiales, controlar consumos, usos de la flota y choferes con el objetivo mencionado anteriormente de optimizar costos (Stolfi, 2019).

Con respecto a empresas encargadas de la gestión de residuos sólidos industriales, el objetivo de minimizar los costos de transporte y el tiempo de recolección es de alta prioridad, por ello se busca implementar estrategias tecnológicas que permitan alcanzar dicho objetivo y reduzcan el impacto ambiental negativo dentro del contexto del manejo de residuos sólidos industriales. Narezo (2017) menciona que en los últimos años, algunas empresas y/o instituciones han resaltado la gran importancia que podría emplear la inteligencia artificial en la logística y transporte con el objetivo de la optimización de rutas.

### Inteligencia artificial

La logística y el transporte están experimentando un cambio profundo. El 65% de los directivos del sector según Forbes Insights (2019) cree que se puede hablar casi de renacimiento de la industria debido a la inteligencia artificial y el aprendizaje autónomo.

Es importante destacar que los avances en conectividad y sensores permiten que los datos fluyan desde cualquier objeto y en cualquier dirección. Datos de los que se alimenta directamente la inteligencia artificial y que son utilizados para alcanzar nuevos niveles de eficiencia y productividad (Samaniego, 2019). El transporte y la logística, un sector en claro crecimiento (Frost y Sullivan, 2018) no son ajenos a esta revolución. De hecho, la inversión en internet de las cosas, analítica avanzada e inteligencia artificial dentro de esta industria no dejará de aumentar en

los próximos años.

La programación de algoritmos en dispositivos electrónicos esta teniendo un papel importante en el transporte de las ciudades inteligentes. Además, es fundamental resaltar las características de algunos algoritmos de programación matemática para la optimización de rutas, tal es el caso del algoritmo dijkstra.

### Algoritmo dijkstra

Entre los modelos heurísticos aplicados a la optimización de rutas, el más factible a utilizar en procesos de optimización de rutas es el denominado como algoritmo dijkstra. También llamado algoritmo de caminos mínimos, es un algoritmo para la determinación del camino más corto dado un vértice origen al resto de vértices en un grafo con pesos en cada arista. Su nombre se refiere a Edsger Dijkstra, quien lo describió por primera vez en 1959 (Salazar, 2016).

Una de las características principales del algoritmo es que trabaja por etapas y toma en cada etapa la mejor solución sin considerar consecuencias futuras. El óptimo encontrado en una etapa puede modificarse posteriormente si surge una solución mejor (Ecured, 2018).

Haciendo uso de la Figura 1, puede explicarse el funcionamiento del algoritmo, esta figura presenta un grafo donde se muestran las distancias entre nodos expresadas en kilómetros que representan la posición de los contenedores en el mapa de la ciudad.

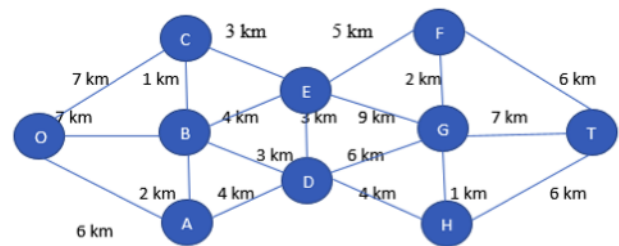


Figura 1. Grafo del algoritmo dijkstra.

Utilizando el grafo arriba mostrado es posible generar una matriz cuadrada donde se ingresan todos los vértices del grafo con sus respectivos pasos. En cada una de las casillas de la matriz se registra la distancia desde el vértice que se mide, es decir el origen (el punto de salida de los vehículos recolectores) hasta cada uno de los nodos indicados (ubicación de cada uno de los contenedores), de esta manera se estará comparando cada una de las distancias y consecutivamente se irán sumando las distancias dependiendo del nodo a seguir hasta seleccionar la óptima.

## Materiales y Métodos

### Sensores de proximidad

Los sensores de proximidad seleccionados son los sensores infrarrojo. Entre sus características principales se tienen que cuentan con un módulo para ajustar la distancia a detectar y el tamaño ideal para construir un sistema de control (*Keyence Corporation, 2019*).

### Microcontrolador

El controlador seleccionado a utilizar es el Arduino Uno R3, de esta manera, el contenedor inteligente contará con un pequeño compartimiento en la parte superior, para depositar el microcontrolador, ocultar su presencia y evitar colisiones con los desperdicios que se ingresan al contenedor. Para la programación cuenta con un puerto de conexión USB que permite conectarlo a una computadora, además cuenta con un adaptador para utilizarlo mediante una batería de corriente continua.

### Módulo Wi-Fi

El módulo seleccionado es el ESP8266/ESP12E para lograr establecer la comunicación vía Wi-Fi entre el Arduino Uno R3 y el software de gestión desarrollado, con el propósito de enviar el estado de llenado del contenedor. La Figura 2 muestra el prototipo físico construido.



Figura 2. Prototipo de contenedor inteligente con sensores, microcontrolador y módulo Wi-Fi integrados.

### Programación

La primera parte de la programación del dispositivo consiste en registrar adecuadamente la lectura de dos sensores, uno de los cuales indica cuando se alcanza un nivel de seguridad de llenado (nivel de alerta) y el segundo sensor indica cuando el contenedor alcance su capacidad máxima (nivel de recolección inmediata), incorporando su respectiva función “delay” la cual estará encargada de leer los datos por medio de los sensores cada determinado tiempo.

Un dato a tener en cuenta consiste en que, en este sistema de control, al detectar el primer sensor los residuos depositados, solo enviara una señal de “alerta”, notificándole al usuario que el primer nivel está lleno. De esta manera el usuario estará alerta de cuando se llegue al nivel dos, que es de “recolección inmediata”, lo que permitirá realizar una planifi-

cación adecuada de la recolección.

La Figura 3, muestra la simulación de la detección de residuos de los dos sensores en el compilador del microcontrolador Arduino Uno R3. De esta manera, el funcionamiento del sistema de los niveles de control de residuos por medio del software del microcontrolador queda resuelto y permite disminuir la incidencia de señales equivocadas.

```
COM3
13:36:03.193 -> NIVEL DE ALERTA SENSOR 1
13:36:13.180 -> NIVEL DE ALERTA SENSOR 1
13:36:23.184 -> NIVEL DE ALERTA SENSOR 1
13:36:33.221 -> NIVEL DE ALERTA SENSOR 1
13:37:03.229 -> NIVEL DE ALERTA SENSOR 1
13:37:43.273 -> NIVEL DE ALERTA SENSOR 1
13:37:48.288 -> RECOLECCION INMEDIATA SENSOR 2
```

Figura 3. Simulación en compilador arduino.

### Sistema de comunicación basado en una base de datos

Como anteriormente se mencionó, dentro del código de programación del microcontrolador se puede visualizar el estatus del contenedor. Utilizando un sistema de comunicación Wi-Fi se notificará el estatus de cada contenedor registrándose la información en una base de datos donde se identificarán los contenedores que hayan alcanzado su capacidad máxima o de nivel de recolección inmediata. De esta forma el sistema mostrará en tiempo real la actividad de cada uno de los contenedores de 50 empresas maquiladoras de la ciudad que se tomaron aleatoriamente de las ubicadas en la localidad.

El sistema enviará una señal de 0 cuando el sistema detecta el nivel de alerta del Sensor 1 y cuando el sistema detecta el nivel de alerta del Sensor 2 el sistema enviará una señal de 1. Posteriormente, a través de la señal Wi-Fi el sistema retroalimentará a un programa de computo denominado Route Optimizer.

### Programación de ruta más corta basada en la variante del algoritmo dijkstra

Para la programación de la ruta mas corta basada en la variante del algoritmo dijkstra, el tiempo de solución inicial del algoritmo se define por  $\Theta(n^2)$  operaciones (sumas y comparaciones) para determinar la longitud del camino más corto entre dos vértices de un grafo ponderado simple, conexo y no dirigido con  $n$  vértices (*Javaid, 2013*). Por lo tanto, con base a la formula del tiempo de ejecución del algoritmo  $\Theta(|A| \cdot Tdk + |v| \cdot Tdm)$  se extrae la minima distancia de cada uno de los vertices y nodos.

De esta manera, al detectar “n” número de contenedores en su capacidad máxima por medio de los sensores, es momento calcular la ruta de recolección utilizando un algoritmo de ruta más corta. Previamente, se mencionó la utilización de una base de datos con 50 ubicaciones de empresas maquiladoras en la localidad, la base de datos incluye las coordenadas geográficas de cada empresa, direcciones y las distancias

existentes entre las empresas, mismas que pueden utilizarse para la construcción del grafo utilizado por el algoritmo dijkstra. Una porción de la base de datos puede observarse en la Figura 4.

Contenedores	Origen/ destino	Nombre	Dirección	V1	V2	V3	V4
13742731.7°N 10072124.7°W	E1	León La Cuesta	Comunariato Jarudo, 32009 Cú Jales, Chh.	0	8.6	17	8.3
13742746.7°N 10072121.7°W	E2	Alpita Juarez, Remolinos	Bermúdez 6, 32009 Cú Jales, Chh.	1.1	0	16.3	1.9
13742727.7°N 10072124.7°W	E3	Conductores Tecnológicos de Juarez, S.A. de C.V.(Conte)	32300, Parque Industrial de los Alamos 311, Americas, 32300 Cú Jales, Chh.	1.6	10.2	0	12.1
13742720.7°N 10072121.7°W	E4	700 de Juarez	Juarez 1, Loma Verde, Paraiso (Calle Jesús Contreras), Cú Jales, Chh.	8.8	1.9	22	0
13742713.7°N 10072124.7°W	E5	Werner, North Gate, Ciudad Juarez, Chh.	North Gate, 32074 Cú Jales, Chh.	7.9	10.4	5.4	10.7
13742728.7°N 10072121.7°W	E6	Nuevo Juarez 1, S de L. de C.V.	Parque Industrial de los Alamos, Americas, 32300 Cú Jales, Chh.	1.1	8.8	5.6	10
13742713.7°N 10072121.7°W	E7	Kanon Cooper Automotriz	Paraiso (Calle Jesús Contreras), Cú Jales, Chh.	9.1	1.4	11.1	4.8
13742712.7°N 10072124.7°W	E8	Servicio de México Frutas 1	Austrian No. 1, Cerro, 32000 Cú Jales, Chh.	4.7	8.8	1.2	10.7
13742746.7°N 10072121.7°W	E9	Toni Gonzalez de Mexico Frutas 1	Av. Caceres Independencia 2208, Americas, 32000 Cú Jales, Chh.	13.2	38.8	11.3	18.3
13742738.7°N 10072124.7°W	E10	Homeywell, Parque Industrial Juarez, Ciudad Juarez,	Parque Industrial Juarez 2126, Juarez, 32000 Cú Jales, Chh.	4.7	8.7	4.2	10.8
13742738.7°N 10072124.7°W	E11	Homeywell, Parque Industrial Juarez, Ciudad Juarez,	Parque Industrial de los Alamos, Americas, 32300 Cú Jales, Chh.	10.2	15.9	11.9	10.8
13742718.7°N 10072121.7°W	E12	Softbak Juarez	Cirujito Intermex Sur 1053 Oriente Parque Industrial Intermex Sur 32570, Cú Jales, Chh.	20	24.2	24.9	28.3
13742741.7°N 10072124.7°W	E13	Homeywell, Parque Industrial Juarez, Ciudad Juarez,	Americas, 32000 Cú Jales, Chh.	9.6	15.8	10.2	15.5
13742737.7°N 10072124.7°W	E14	León Corporation planta Rio Bravo	Rio Bravo 1235, Rio Bravo, 32057 Cú Jales, Chh.	11.8	30.8	11.7	12.4
13742741.7°N 10072124.7°W	E15	Mexicomobles	Rivadavia 1200, Desarrollo Suramerica, 32070 Cú Jales, Chh.	1.4	9.3	11.1	11.1
13742741.7°N 10072124.7°W	E16	TERMOCONTROL	Jay Prof. R. Rivera Lara 4405, Ramon Rivera Lara, 32000 Cú Jales, Chh.	2.1	6.5	5	8.4
13742741.7°N 10072124.7°W	E17	Taxiway Frutas 2	Ramón Rivera Lara 4204, Ramón Rivera Lara, 32000 Cú Jales, Chh.	2.9	6.7	8.9	8.6
13742730.7°N 10072124.7°W	E18	Robert Bosch sistemas Automotrices JUPIS SASA	Parque Industrial, Ave Robert Bosch #1100, Rio Bravo, 32057 Cú Jales, Chh.	15.4	12.2	16	14.1
13742712.7°N 10072121.7°W	E19	Foosim Gases Gaseosas	Carretera Ciudad Juarez 3602, Nuevo Hoptelton, 32070 Cú Jales, Chh.	7	12.0	5.9	14.9
13742742.7°N 10072124.7°W	E20	Scientific Atlanta México, S. De R.L. De C.V.	Intermex, 32570 Ciudad Juarez, Chh.	8.8	30.8	10.4	12.4
13742742.7°N 10072124.7°W	E21	Del Manufacturera	Calle Santiago Branded 555, Tormenta del Valle, 32057 Cú Jales, Chh.	10.2	12	11.5	10.8
13742727.7°N 10072124.7°W	E22	MGS Tech Inc.	Manuel Sandoval Valiente No. 420, Parque, Rio Bravo, 32057 Cú Jales, Chh.	11.5	30.3	14.1	12.2
13742733.7°N 10072121.7°W	E23	Mierras Electros de Juarez, ME 2 (Hegel Betari)	Fernando Borgeganas Parque Industrial Juarez 3250, Juarez, 32000 Cú Jales, Chh.	4.6	8.6	4	10.5
13742733.7°N 10072121.7°W	E24	Servicio de México Frutas 2	7000, Av. de los Alamos, Americas, 32300 Cú Jales, Chh.	3.2	10.8	14.0	11.7

Figura 4. Extracto a la base de datos.

Utilizando el programa de computo Route Optimizer se aplica el algoritmo dijkstra utilizando para el cálculo la selección de nodos identificadas con la señal de recolección inmediata, extraídas de la base de datos anteriormente mencionada.

Cabe destacar que, al elaborar el programa de computo, se incluyeron algunas librerías especiales para la incorporación del cliente de Google Maps como la librería Gmaps que incluyen vistas del mapa del tipo normal, relieve y satélite (Google Maps, 2005). Estas acciones fueron incluidas, debido a la interacción que tiene Route Optimizer con la interfaz de Google Maps. Además, se definieron parámetros para el ingreso de datos como latitud y longitud con el objetivo de pre-visualizar alguna ubicación y conocer su respectiva latitud y/o longitud (Figura 5).

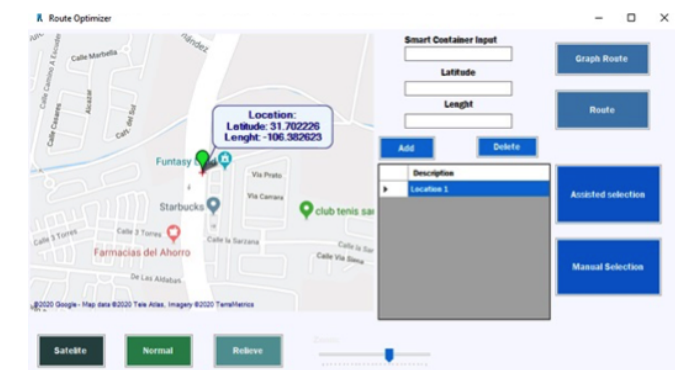


Figura 5. Programa de computo Route Optimizer.

Una de las características del software, es que se puede adquirir el grafo de ruta en forma polinomial en cada uno de los puntos ingresados por el usuario. Cuando se ingresa al botón “Selección Asistida”, se debe tomar en cuenta que el usuario que operará dicho programa de computo tendrá que saber previamente algunos datos o información para obtener resultados fiables; en este caso, el usuario tiene que conocer hacia que puntos geográficos se va a desplazar el vehículo para la recolección de contenedores. Como ya se ha mencionado, estos puntos geográficos se conocerán por medio de un sistema de sensores que al ser activados se mostrarán su respectivo estatus de los contenedores en el sistema. El siguiente paso de ejecución del programa, consiste en generar las locaciones o puntos por medio de “Identidades”.

## Programación del algoritmo dijkstra por medio de identidades

Al generar identidades en cada uno de los puntos geográficos que pueden simularse, permitirá tener un mayor control y facilitará la identificación de nodos durante la generación de un orden consecutivo de recolección por medio de las distancias, al momento de aplicar el algoritmo dijkstra. Por lo cual, resulta efectivo asignar dentro del código, una serie de condiciones a cada punto geográfico junto con su respectiva identidad, basada en su hipervínculo individual para la concatenación de estos. De esta manera, la concatenación se realiza mediante un orden establecido por medio de fórmulas basadas en sus distancias.

De esta manera, se le asignan a cada uno de los puntos geográficos, sus identidades mediante sus nodos que previamente se dieron a conocer en la base de datos en tiempo real. Esta estructura permitirá, mostrar cada una de las identidades en cada uno de los cuadros de textos, bajo el nombre de “Result”, al ingresar el número de nodo en los cuadros de texto de “Location”. Cabe destacar, que cada punto o nodo que se ingrese en los cuadros de texto, debe de tener el mismo resultado o identidad respectivo a cada punto geográfico para asignar un orden basado en distancias mínimas, como es el caso del algoritmo dijkstra.

## Formula basada en algoritmo dijkstra

Al tener registradas cada una de las identidades en cada “Cuadro de Texto” bajo el título de “Location” y su respectivo resultado en la caja de texto bajo el título de “Result”, se da paso al condicionamiento de ingreso de identidades y su orden consecutivo mediante fórmulas cuya finalidad es la generación del algoritmo o “Clave Única” con la cual se generara un hipervínculo con el orden de distancias establecido por dicha formula. La Figura 6 muestra la pantalla donde el hipervínculo es generado.

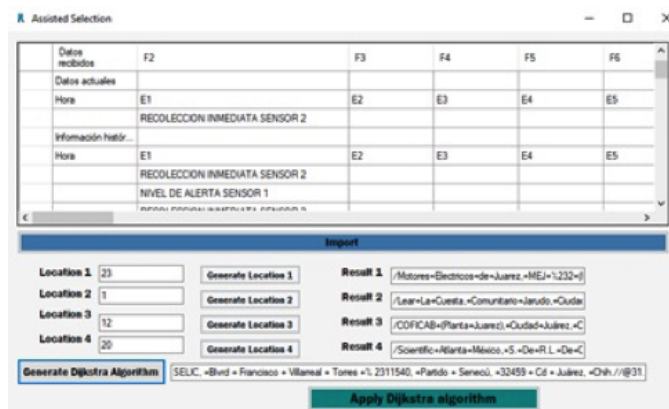


Figura 6. Selección asistida.

Otra alternativa para la generación del hipervínculo es la opción “Manual Selection”, mostrada en la Figura 7, que funciona exactamente igual que el previamente mostrado, con la única diferencia que muestra una interfaz mas sencilla de utilizar, ya que no cuenta con una pantalla previa donde se indique cuales ubicaciones requieren atención. Esta selección, se utiliza cuando el usuario conoce sin consultar, cuales puntos requieren

atención, ya que previamente recibió la información por medios alternos al proceso autónomo (llamada telefónica, mensaje de texto u otros medios).

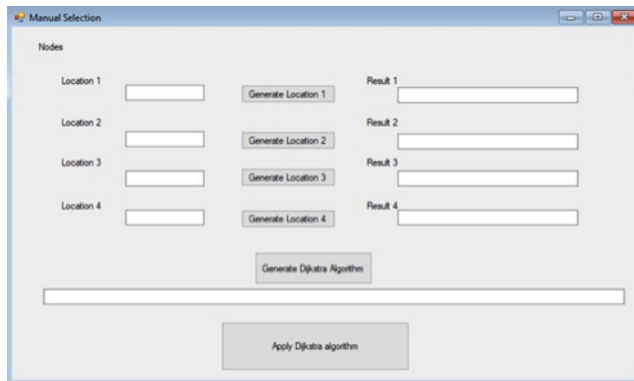


Figura 7. Selección manual.

De igual forma, al tener datos ingresados, se presiona el botón “Apply Dijkstra Algorithm” para redireccionar a la interfaz “Google maps” y conocer la ruta optimizada.

## Resultados

### Hipotesis # 1

La interfaz del sistema de comunicación registrará cuando el contenedor llegue a su capacidad máxima y de esta manera informará sobre el estatus de los contenedores a su máxima capacidad para su recolección.

- $H_0$ : La  $\mu$  del tiempo de recolección programado para un contenedor en específico es igual a la  $\mu$  del tiempo de llenado reportado por los contenedores inteligentes.
- $H_1$ : La  $\mu$  del tiempo de recolección programado para un contenedor en específico es diferente a la  $\mu$  del tiempo de llenado reportado por los contenedores inteligentes.

Para probar esta hipótesis, se recabó información de contenedores de desechos sólidos ubicados en 10 diferentes puntos de la ciudad, mediante investigación se observó que el tiempo de recolección programado para los contenedores por la empresa sujeta a estudio es cada día martes, sin embargo se pudo observar que los tiempos de llenado de los contenedores eran inferiores a esa frecuencia, lo que ocasionaba problemas de contaminación ambiental en el entorno por el desbordamiento de los mismos. La Tabla 1 presenta los datos recabados, siendo la prueba  $t$  de una muestra el análisis estadístico aplicado.

Tabla 1. Tiempo de llenado de contenedores industriales.

Contenedor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tiempo de llenado (días)	5	6	4	7	6	5	3	4	6	4

La Figura 8 despliega la prueba  $t$  de una muestra obtenida utilizando el software Minitab. Utilizando un nivel de confianza del 95%, es posible observar que el *P-Value obtenido (0.000)* es menor que el valor de *alfa (0.05)*, lo que hace cumplir la hipótesis alternativa ( $H_1$ ); por tanto, el tiempo promedio de recolección programado para un contenedor en específico es diferente al tiempo promedio de llenado reportado por los contenedores inteligentes, esto asumiendo que el tiempo promedio de llenado de los contenedores inteligentes será comunicado por el dispositivo de medición y comunicación cuando los desperdicios depositados en el contenedor inteligente alcancen el nivel de detección indicado por los sensores.

### Descriptive Statistics

N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI for $\mu$
10	5.000	1.247	0.394	(4.108, 5.892)

$\mu$ : mean of Dias de llenado

### Test

Null hypothesis	$H_0: \mu = 8$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu \neq 8$
<b>T-Value</b>	<b>P-Value</b>
-7.61	0.000

Figura 8. Prueba  $t$  de una muestra que evalúa los días de llenado del contenedor contra el día de recolección programado.

### Hipótesis # 2

El sistema de detección de residuos por vía infrarroja, por medio de un algoritmo de programación, enviará una señal al sistema de monitoreo, e indicará cuando este llegue a su capacidad máxima, evitando la contaminación física del entorno.

- $H_0$ : La  $\mu$  del tiempo de recolección programado de los residuos de contenedores normales evita el desbordamiento de residuos o la subutilización de los contenedores.
- $H_1$ : La  $\mu$  del tiempo de recolección programado para los residuos de contenedores normales no evita el desbordamiento de residuos o la subutilización de contenedores.

Para la comprobación de esta hipótesis se recabaron datos mediante el funcionamiento del dispositivo de medición y comunicación propuesto en esta investigación, que son equiparables a los contenedores inteligentes ya en funcionamiento y que de funcionar adecuadamente evitaran el desbordamiento de los desechos sólidos, puesto que enviaran la señal de recolección cuando los contenedores inteligentes lleguen a su capacidad máxima. La prueba estadística utilizada fue la prueba  $t$  de una muestra con un nivel de confianza del 95%, la Tabla 2 muestra los datos recolectados, donde el número 1 indica que el sensor de llenado ubicado en el contenedor inteligente proporcionó una señal de llenado acorde con la capacidad del contenedor y 0 indica que el sensor ubicado en el contene-

dor inteligente proporcionó una retroalimentación incorrecta (una señal de no llenado cuando el contenedor estaba lleno).

Tabla 2. Señal de retroalimentación del sensor infrarrojo.

Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Retroalimentación del sensor	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1

Como se puede observar en la Figura 9, el *P-Value* obtenido (0.168) es mayor que el valor de alfa (0.05), lo que hace clumplir la hipótesis nula ( $H_0$ ), concluyendo que el promedio del tiempo de recolección programado de los residuos de contenedores normales evita el desbordamiento de residuos o la subutilización de los contenedores, esto debido a que los sensores instalados en los contenedores inteligentes proveeran señales de llenado acordes con la realidad del contenedor y por tanto la recolección del contenedor inteligente será programada cuando sea necesario.

### Descriptive Statistics

N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI for $\mu$
10	0.800	0.422	0.133	(0.498, 1.102)

$\mu$ : mean of Datos

### Test

Null hypothesis	$H_0: \mu = 1$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu \neq 1$
T-Value	P-Value
-1.50	0.168

Figura 9. Prueba t de una muestra que evalúa si el sensor infrarrojo provee retroalimentación consistente con el nivel de llenado.

### Hipótesis # 3

La ruta de recolección obtenida por medio del modelo de programación lineal de ruta mas corta y la retroalimentación del contenedor inteligente permiten reducir la distancia recorrida para la recolección de los desperdicios depositados en los contenedores de desperdicio industrial.

- $H_0$ : La  $\mu$  de contenedores normales =  $\mu$  de contenedores inteligentes.
- $H_1$ : La  $\mu$  de contenedores normales >  $\mu$  de contenedores inteligentes.

Para la comprobación de esta hipótesis, se recabaron datos mediante simulación de 10 diferentes rutas de recolección de contenedores ubicados en diferentes puntos de la ciudad, utilizando Google Maps para obtener la distancia a recorrer de acuerdo al orden de aparición de la localización del contenedor en la base de datos y utilizando el software Route Optimizer desarrollado para obtener la secuencia de recolección de contenedores mediante el algoritmo dijkstra, misma que es ingresada a Google Maps para obtener la distancia de recolección final (Tabla 3).

Tabla 3. Distancias obtenidas mediante Google Maps antes y despues de aplicar el algoritmo dijkstra.

Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Distancia no optimizada	48.5	16.3	71.4	66.9	32.8	30.6	37.2	53.1	35.8	48.6
Distancia dijkstra	35.7	14.7	42.0	49.3	20.7	26.3	27.2	29.7	31.1	32.2

Para probar la hipótesis se utilizó la prueba t pareada mismas que fue evaluada al 95% de confianza. La Figura 10 despliega una de las rutas evaluadas, antes y despues de utilizar el algoritmo dijkstra mediante Route Optimizer el cual proporciona una reducción en la distancia total del 9.81%.

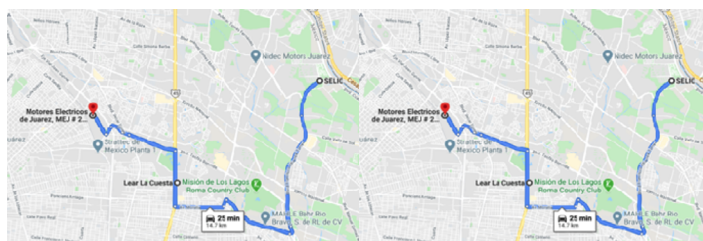


Figura 10. Comparativo de ruta sin optimizar (izquierda) y ruta optimizada (derecha) mediante el software propuesto y desplegadas en Google Maps.

Como se observa en la Figura 11, debido a que el *P-Value* obtenido (0.001) es menor al valor alfa (0.005) se concluye que existe una diferencia significativa en las distancias obtenidas antes y despues de implementar el algoritmo dijkstra mediante el software Route Optimizer.

### Estimation for Paired Difference

Mean	StDev	SE Mean	95% CI for $\mu$ difference
13.23	8.78	2.78	(6.95, 19.51)

$\mu$  difference: mean of (Distancia normal - Distancia Algoritmo Dijkstra)

### Test

Null hypothesis	$H_0: \mu_{\text{difference}} = 0$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu_{\text{difference}} \neq 0$
T-Value	P-Value
4.77	0.001

Figura 11. Prueba t de pareada que evalúa las distancias obtenidas antes y despues de utilizar el software Route Optimizer.

## Conclusiones

Dado que los resultados de las hipótesis fueron favorables, se pudo observar el beneficio que aporta la propuesta de contenedor inteligente y del programa de computo de optimización de rutas, para la reducción de los costos asociados al transporte de los residuos sólidos industriales.



También se resalta el impacto positivo que tiene este desarrollo en cuanto a la reducción de la contaminación física del entorno, por el desbordamiento de los contenedores no inteligentes y la reducción de contaminantes a la atmosfera, por la utilización adecuada de los vehículos de recolección, ya que estos serán utilizados cuando son requeridos y no por rutas establecidas de forma periódica y no relacionadas con el nivel de uso del contenedor. De esta manera, se favorece tanto al medio ambiente como a la utilización correcta de los recursos de las empresas recolectoras ya que, mediante la implementación del programa de computo basado en el algoritmo dijkstra, así como del sistema de monitoreo y comunicación, se reducen las distancias lo que se traducen en reducción de tiempo, dinero y esfuerzos.

El porcentaje promedio de reducción de las distancias obtenidas en este estudio fue de 27.24%. Por lo tanto, es esencial el compartir estas rutas optimizadas a los choferes encargados de la recolección, por medio de dispositivos inteligentes y así, ellos conocerán la ruta optimizada a seguir. A manera de resumen, entre las ventajas de utilizar este sistema encuentran las siguientes:

- Reducción de costos de transporte.
- Realización de rutas de recolección solamente cuando son requeridas.
- Uso de un sistema amigable que permite al usuario una pronta respuesta a tales necesidades.
- Con respecto a los beneficios a la sociedad, se encuentra la reducción de la contaminación de residuos sólidos por sobresaturación de algunos contenedores (desbordamiento).







## Bibliografía

+ Martínez Moreno, Ángel Luís; Castillo Soler, Salvador y Crowe, Rebeca (2019). *Gestión Inteligente de Residuos. V Congreso de Ciudades Inteligentes*. Madrid, España.

+ Martínez, Noelia (2019). *Cómo trabajan las smart cities para ser más ecológicas y sostenibles. Hablemos de empresas*. Sevilla, España. Recuperado de: <https://hablemosdeempresas.com/empresa/smart-cities-ecologicas-y-sostenibles/>

+ Alcalde, Janire (2019). *Ciudad inteligente - Definición, qué es y concepto*. Economipedia. Madrid, España. Recuperado de: <https://economipedia.com/definiciones/ciudad-inteligente-smart-city.html>

+ Berengueras, Josep (2019). *El transporte protagoniza las ciudades inteligentes*. Elperiodico. Barcelona, España. Recuperado de: <https://www.elperiodico.com/es/economia/20171114/transporte-ciudades-inteligentes-6424234>

+ Smart Cities Atlas (2019). *Transporte y movilidad en una ciudad inteligente*. Smart Cities Atlas. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: <http://www.smartcitiesatlas.com/transporte-y-movilidad-en-una-ciudad-inteligente/>

+ Narezo, Jorge (2017). *Ciudades Inteligentes. Movilidad y transporte*. Ciudad de Mexico. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/272270/smartcity\\_MODIFICADA.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/272270/smartcity_MODIFICADA.pdf)

+ Frost, Lore y Sullivan, Dan (2018). *Sensor and Instrumentation*. Frost and Sullivan. Santa Clara, California. Recuperado de: <https://www2.frost.com/research/industry/techvision/sensors-and-instrumentation/>

+ Kozyrkov, Cassie (2019). *Automated inspiration*. Forbes insights. Jersey city, New Jersey. Recuperado de: <https://www.forbes.com/sites/insights-intelai/2019/05/22/automated-inspiration/#a0cdc0e1c44f>

+ Keyence (2019). *Sensores*. Keyence de Mexico. Cuauhtemoc, Mexico. Recuperado de: [https://www.keyence.com.mx/products/sensor/?aw=googlekxspbr17051035pp&gclid=CjwK-CAjwnIr1BRAWiEiwA6GpwNY4FdTc8yyIqE3g50sHXJwgF-Ch0KMV\\_S-sbCeEaBcuD0BcgsoP373xoCco4QAvD\\_BwE](https://www.keyence.com.mx/products/sensor/?aw=googlekxspbr17051035pp&gclid=CjwK-CAjwnIr1BRAWiEiwA6GpwNY4FdTc8yyIqE3g50sHXJwgF-Ch0KMV_S-sbCeEaBcuD0BcgsoP373xoCco4QAvD_BwE)

+ Stolfi, Daniel (2019). *Optimización del Tráfico Rodado en Ciudades Inteligentes*. Proyecto tesis. Málaga, España. Recuperado de: <https://en.danielstolfi.com/investigacion/files/OptimizacionDelTráficoRodadoEnCiudadesInteligentes.pdf>

+ Samaniego, Juan (2019). *Estas son las 'smart cities' líderes en el mundo y esta es su receta*. Hablemos de empresas (online). Recuperado de: <https://hablemosdeempresas.com/grandes-empresas/smart-cities-lideres/>

+ Salazar, Bryan (2019). *Algoritmo de Dijkstra*. Ingeniería Industrial. Cali, Colombia. Recuperado de: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/investigacion-de-operaciones/algoritmo-de-dijkstra/>

+ Dijkstra, Edsger (2018). *Algoritmo Dijkstra*. Ecuared. Recuperado de: [https://www.ecuared.cu/Algoritmo\\_de\\_Dijkstra](https://www.ecuared.cu/Algoritmo_de_Dijkstra)