



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Y AUTOMATIZACIÓN

TEMA:

**Diseño y simulación de alumbrado público inteligente utilizando
Cupcarbon**

AUTOR:

Navarrete Millán, Rubén Darío

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

TUTOR:

M.Sc. Philco Asqui, Luis Orlando

Guayaquil, Ecuador

3 de marzo del 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Y AUTOMATIZACIÓN

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente Trabajo de Integración Curricular fue realizado en su totalidad por el Sr. **Navarrete Millán, Rubén Darío**, como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**.

TUTOR

M. SC. PHILCO ASQUI, LUIS ORLANDO

DIRECTOR DE LA CARRERA

M. SC. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO

Guayaquil, a los 3 días del mes de marzo del año 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Y AUTOMATIZACIÓN

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Navarrete Millán, Rubén Darío**

DECLARÓ QUE:

El Trabajo de Integración Curricular “**Diseño y simulación de alumbrado público inteligente utilizando Cupcarbon**” previo a la obtención del Título de **Ingeniería Electrónica y Automatización**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Integración Curricular referido.

Guayaquil, a los 3 días del mes de marzo del año 2022

EL AUTOR

NAVARRETE MILLÁN, RUBÉN DARÍO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORIZACIÓN

Yo, Navarrete Millán, Rubén Darío

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular: Diseño y simulación de alumbrado público inteligente utilizando Cupcarbon, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 3 días del mes de marzo del año 2022

EL AUTOR

NAVARRETE MILLÁN, RUBÉN DARÍO

REPORTE DE URKUND

URKUND

Orlando Philco Asqui (orlando.philco)

Documento: [Tesis-Diseño y Simulación de alumbrado público inteligente utilizando Cupcarbon.docx](#)
(D127984649)

Presentado: 2022-02-15 20:45 (-05:00)

Presentado por: orlandophilco_7@hotmail.com

Recibido: orlando.philco.ucsg@analysis.orkund.com

Mensaje: Tesis Navarrete [Mostrar el mensaje completo](#)

0% de estas 26 páginas, se componen de texto presente en 0 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

Categoría	Enlace/nombre de archivo	
	http://ojs.revistacts.net/index.php/CTS/article/view/110Aranda	<input type="checkbox"/>
	http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/77186	<input type="checkbox"/>
	http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/27049/1/B-CINT-PTG-N.263...	<input type="checkbox"/>
	89% el diseño de escenarios de movilidad y la generación de eventos naturales ...	<input type="checkbox"/>

Fuentes alternativas

1 Advertencias. Reiniciar Compartir

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA
PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

TEMA: Diseño y simulación de alumbrado público inteligente utilizando Cupcarbon

AUTOR: Navarrete Millán, Rubén Darío

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
AUTOMATIZACIÓN

TUTOR: M.Sc. Philco Asqui, Luis Orlando

Guayaquil, Ecuador 15 de febrero del 2022

Reporte Urkund del Trabajo de Integración Curricular en ingeniería Electrónica y Automatización denominado: **“Diseño y simulación de alumbrado público inteligente utilizando Cupcarbon”** perteneciente al estudiante **Navarrete Millán Rubén Darío**. Una vez efectuado el análisis antiplagio el resultado indica 0% de coincidencias.

TUTOR

M. SC. PHILCO ASQUI, LUIS ORLANDO

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios y sobre todo a mis padres, quienes han sido el principal pilar, por el cual he podido iniciar y culminar mis estudios respectivamente, ellos siempre me han apoyado de manera incondicional en los momentos más complicados de mi vida y han sido una gran fuente de inspiración, lo cual me ha motivado a no rendirme y dar mi mejor esfuerzo, todo lo que soy actualmente es por mis padres, debido a su correcta guía, he podido cumplir con todas mis metas y estoy muy orgulloso de tener unos padres así.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme salud y la bendición de poder seguir junto a mis padres, que son lo más importante para mí. A mi madre Carmen Millán y a mi padre Rubén Navarrete quienes me dieron la fuerza e impulso necesarios para poder seguir adelante y dar lo mejor de mí, dándoles las gracias nuevamente por todo el esfuerzo y sacrificio que han hecho, para poder solventar mi carrera universitaria, toda mi vida quedaré eternamente agradecido con ellos por todo lo que me han dado.

Agradecimiento muy especial para el Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, el cual ha sido una persona de mucha experiencia, conocimiento y un gran ser humano, el cual ha fortalecido mis conocimientos, para aplicarlos de la mejor manera en mi carrera y a lo largo de mi vida.

También agradezco a todos los ingenieros que me han brindado su apoyo y conocimiento a lo largo de mi formación como estudiante universitario, en especial le agradezco a mi tutor Ing. Orlando Philco, quien me ayudo y guio de la manera más optima a través de sus conocimientos para la elaboración y culminación de mi trabajo de integración curricular.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Y AUTOMATIZACIÓN

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

M.SC. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS

DECANO

M.SC. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO

COORDINADOR DE ÁREA

M.SC. BOHÓRQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO

OPONENTE

Índice General

Índice de Figuras	xi
Índice de Tablas	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I: CONSIDERACIONES GENERALES.....	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Justificación.....	3
1.3. Planteamiento del problema	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Metodología de la investigación.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. Ciudades inteligentes.....	5
2.2. Iluminarias públicas simples	9
2.3. Internet de las Cosas (IOT).....	11
2.4. Sensores	13
2.4.1. Sensores PIR.....	13
2.4.2. Sensores de Luz.....	15
2.4.3. Sensores de Temperatura.....	16
2.5. Microcontrolador	17
2.6. Redes Celulares	19
2.6.1. Redes 3G	20
2.6.2. Redes 4G	21

2.6.3.	Redes 5G	21
2.7.	Simulador de Cupcarbon IOT	22
2.7.1.	Presentación de la Plataforma de Cupcarbon IOT	23
2.7.2.	La arquitectura de CupCarbon	24
2.7.3.	Trayectorias de los sensores en Cupcarbon	25
CAPÍTULO III: SIMULACIÓN DE ALUMBRADO INTELIGENTE EN CUPCARBON.....		27
3.1.	Metodología del alumbrado inteligente.....	27
3.2.	Descripción de la simulación.....	28
CONCLUSIONES		37
RECOMENDACIONES		39
Referencias Bibliográficas		40
Anexo 1 Guía de ejercicios prácticos		45

Índice de Figuras

Figura 2.1: Ciudades inteligentes.	5
Figura 2.2: Organización estratégica de una ciudad inteligente.....	6
Figura 2.3: Componentes de una ciudad inteligente.....	7
Figura 2.4: Bombilla de calle tipo LED.....	10
Figura 2.5: Aumento previsto del número de dispositivos interconectados en Internet para 2020.....	12
Figura 2.6: Sensor PIR.....	14
Figura 2.7: Sensor de luz.....	15
Figura 2.8: Principio de funcionamiento del sensor de Temperatura.....	16
Figura 2.9: Estructura de la unidad de un microcontrolador.....	18
Figura 2.10: Arquitectura del sistema de una red celular.....	19
Figura 2.11: Cobertura móvil por cada una de las redes desde el 2007 al 2018.....	20
Figura 2.12: Diferencia entre la arquitectura de una red 3G vs 4G.....	21
Figura 2.13: Línea de tiempo del 5G desde el 2020 hasta el 2022.....	22
Figura 2.14: Escenario dibujado en Cupcarbon.....	23
Figura 2.15: Componentes de Cupcarbon.....	24
Figura 2.16: Entorno de simulación de Red Cupcarbon.....	26
Figura 3.1: Diagrama de flujo del sistema de alumbrado inteligente.....	28
Figura 3.2: Diseño de la simulación de alumbrado inteligente en Cupcarbon.....	30
Figura 3.3: Inicio de la simulación de alumbrado inteligente en Cupcarbon.....	31
Figura 3.4: Generador de eventos naturales en Cupcarbon.....	32

Figura 3.5: Código utilizado en el SenScript de Cupcarbon.	33
Figura 3.6: Exportación de datos de la simulación a Excel.	34
Figura 3.7: Datos de la simulación en la consola de Cupcarbon.	34
Figura 3.8: Simulación del consumo de energía de cada farola en Cupcarbon.	35
Figura 3.9: Gráfica del consumo de energía de las primeras 10 farolas en Cupcarbon.	36

Índice de Tablas

Tabla 3.1: Elementos utilizados en la simulación de alumbrado inteligente en Cupcarbon IOT.....	29
---	----

RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular aporta con una propuesta de algoritmo para la eficiencia del consumo de energía para el alumbrado público en un escenario de ciudad inteligente, que permite supervisar y controlar el nivel de luminosidad del alumbrado público en el tráfico de vehículos en las ciudades. El objetivo principal contempla el diseño y evaluación de un sistema de alumbrado público inteligente mediante el uso de un simulador de eventos discretos, llamado CupCarbon, el cual es utilizado en el ámbito científico y académico. La metodología por usar es la descriptiva para detallar el despliegue del Iot donde se despliegan los nodos sensores para monitorear diversas variables de interés. Se emplea la metodología analítica para el diseño y propuesta de algoritmos que permita analizar la cobertura y comunicación de nodos sensores presentes en alumbrado público. Finalmente se empleó la metodología empírica por el manejo de un simulador de eventos discretos.

PALABRAS CLAVES: Ciudades Inteligentes, Cupcarbon, Iluminarias Inteligentes, Internet De Las Cosas, Sensores.

ABSTRACT

This degree work provides a proposal for an algorithm for the efficiency of energy consumption for public lighting in a smart city scenario, which allows monitoring and controlling the level of brightness of public lighting in vehicle traffic in cities. The main objective contemplates the design and evaluation of an intelligent public lighting system using a discrete event simulator, called CupCarbon, which is used in the scientific and academic field. The methodology to be used is the descriptive one to detail the use of the Iot where the sensor nodes are deployed to monitor various variables of interest. The analytical methodology is used for the design and proposal of algorithms that allow analyzing the coverage and communication of sensor nodes present in public lighting. Finally, the empirical methodology was used by handling a discrete event simulator.

KEY WORDS: Smart Cities, Cupcarbon, Smart Lighting, Internet of Things, Sensors.

CAPÍTULO I

CONSIDERACIONES GENERALES

1.1. Introducción

El desarrollo del Internet de la Cosas IoT a través de equipos y dispositivos sensores que hoy en día son muy reducidos en tamaño gracias a la innovación en los campos de la microelectrónica, la integración de microcontroladores y la comunicación inalámbrica facilitan el despliegue o implementación de las denominadas redes de sensores inalámbricos WSN.

Esta WSNs son sistemas complejos que consisten en distribuciones espaciales de dispositivos autónomos, llamados Nodos Sensores, que colaboran para monitorear condiciones físicas o ambientales en diferentes lugares. El diseño, implementación y el despliegue de una WSN implica una amplia gama de disciplinas y consideraciones para numerosas restricciones específicas de la aplicación. Estos sensores se pueden comunicar con un Gateway, que tiene capacidad de comunicación con otros ordenadores y otras redes (LAN, WLAN, WPAN) e Internet.

Dentro de las aplicaciones estas plataformas de IoT puede dar una infraestructura para el monitoreo y en muchos casos para control de alguna variable de interés. En entornos urbanos con este tipo de tecnología se supervisa la contaminación del aire, del agua etc. Se puede diseñar un sistema de control el tráfico vehicular en las ciudades. Este tipo de aplicaciones se encuadra en el paradigma de ciudades inteligentes o Smart Cities.

Así a través de las WSNs, se facilita percibir fenómenos (sensado) y controlarlos previo a esto, se ha realizado comunicaciones con hardware y software de analítica de datos, estos se analizan y con ellos se toman decisiones oportunas ante algún evento de interés. Por lo tanto, el IoT será una infraestructura tecnológica fundamental para las ciudades inteligentes.

La cantidad de dispositivos conectados está creciendo y en un futuro cercano se espera que sea extremadamente grande en las ciudades. En consecuencia, el uso de

simuladores para estudiar y analizar un proyecto de instalación de nuevas redes antes de su despliegue real es de gran importancia.

1.2. Justificación

Se justifica que una ciudad inteligente optimice recursos. Desde una subestación eléctrica que ofrece el servicio de energía eléctrica se puede alcanzar a optimizar la energía sobre una red de nodos sensores que limita la potencia eléctrica del alumbrado público en calles. El análisis de dicho consumo de potencia a través de una red de sensores inalámbricos que sensan la presencia de vehículos permitirá reducir consumo de energía eléctrica por parte de un sistema de alumbrado público. El uso de herramientas de simulación de IoT es la base para desarrollar, diseñar y evaluar nuevos productos de IoT antes de su implementación.

1.3. Planteamiento del problema

Ausencia de propuestas de análisis al consumo eficiente de energía por el alumbrado público en un escenario de alumbrado público inteligente. El desarrollo de la tecnología de sensado debe permitir supervisar y controlar el tráfico de vehículos en las ciudades inteligentes.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar y evaluar un sistema de alumbrado público inteligente para una ciudad inteligente empleado el simulador CupCarbon.

1.4.2. Objetivos específicos

- Describir la tecnología que facilita el escenario de una ciudad inteligente.
- Caracterizar el uso de un simulador CupCarbon en aplicaciones de ciudad inteligente.
- Diseñar y evaluar WSN dedicados a alumbrado público inteligente.
- Elaborar un tutorial de ejercicios para asignatura Red de sensores Inalámbricos en las carreras de Telecomunicaciones y Electrónica y Automatización.

1.5. Metodología de la investigación

Se emplea la metodología descriptiva para detallar el despliegue del IoT y de las WSNs donde se despliegan los nodos sensores para monitorear diversas variables de interés. Se emplea la metodología analítica para el diseño y propuesta de algoritmos que permita analizar la cobertura y comunicación de nodos sensores presentes en alumbrado público. Finalmente se empleó la metodología empírica por el manejo de un simulador de eventos discretos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Ciudades inteligentes

En las últimas décadas el concepto de ciudades inteligente surge por el incremento de la población y la llegada de nuevas adversidades a nivel mundial, dentro de las cuales se trata los problemas ambientales y el congestionamiento vehicular; toda esta serie de motivos ha llevado a las ciudades a optar por el camino de la revolución digital. (Alderete, 2019)

El concepto de ciudad inteligente tiene como objetivo optimizar la inversión en capital humano y social, infraestructura tradicional y tecnología, administrar adecuadamente los recursos naturales a través de la gobernanza participativa, mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y restaurar la economía. La figura 2.1 describe el término ciudad inteligente, que se refiere con precisión a ciudades que se consideran pioneras en infraestructura y sistemas digitales dentro de una comunidad, región o ciudad (Rozga, 2018).



Figura 2.1: Ciudades inteligentes.

Fuente: (Rozga, 2018)

Ciudades como Nueva York, Londres y París fueron nombradas las mejores ciudades inteligentes en 2017. Dan por sentado que el objetivo principal de Nueva York es una ciudad que mejora continuamente el nivel de vida de sus ciudadanos, normaliza su impacto en el medio ambiente y mejora la calidad de vida. Ambient Drinking Water London, por otro lado, se enfoca en recopilar datos de su entorno

urbano para brindar conectividad de clase mundial, seguridad y carreteras más inteligentes. París profundiza en su transformación digital, desarrollo sostenible y urbanización para mejorar el bienestar de sus ciudadanos (Zaldívar et al., 2018).



Figura 2.2: Organización estratégica de una ciudad inteligente.

Fuente: (Zaldívar et al., 2018)

Los académicos han propuesto dos conceptos para describir las ciudades inteligentes. El primer concepto hace referencia al uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y el Internet de las Cosas, encaminadas a recoger y solucionar los problemas urbanos modernos. Los académicos han ideado un concepto para describir una ciudad inteligente. El concepto hace referencia al uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y el Internet de las Cosas para recopilar y resolver problemas urbanos modernos (Salvador, 2016).

Para que las ciudades inteligentes funcionen correctamente, las industrias deben clasificarse según la frecuencia con la que se utilizan estas herramientas. Como resultado, surgió el "campo blando", que incluye principalmente la cultura, la educación, el gobierno electrónico y otros campos. En estas áreas, el uso de las TIC y el Internet de las Cosas juega un papel más limitado, ya que el procesamiento e integración de la información no tiene por qué ser en tiempo real. Las estrategias que fomentan el emprendimiento, la inclusión social y la innovación se incluyen en esta categoría porque no están totalmente basadas en el desarrollo de estas nuevas tecnologías (Rózga & Hernández, 2019).

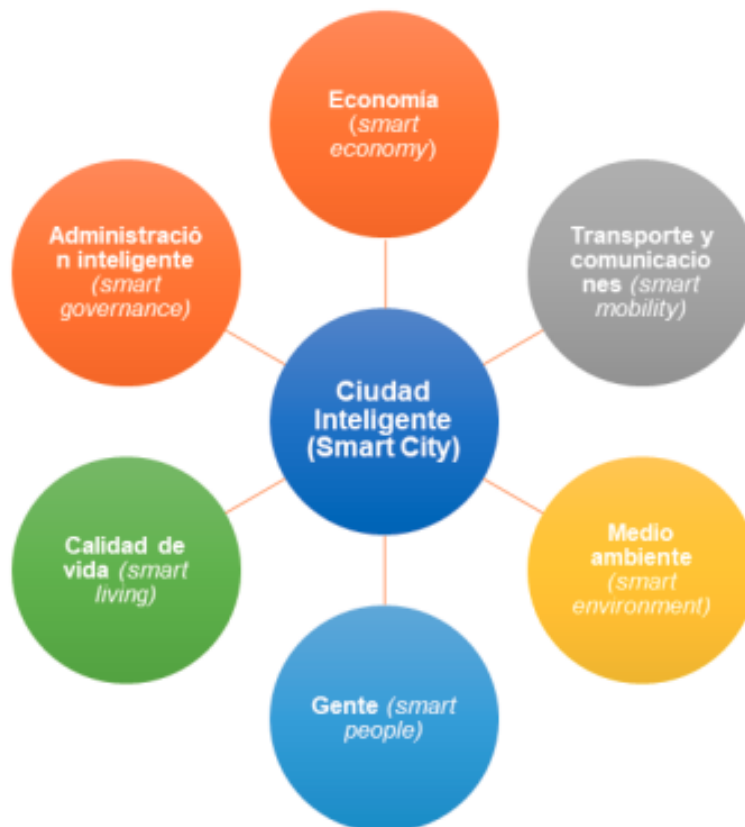


Figura 2.3: Componentes de una ciudad inteligente.

Fuente: (Rózga & Hernández, 2019)

Por otro lado, áreas como medio ambiente (gestión de residuos, recursos naturales, gestión de energía), infraestructura (redes, oficinas y edificios residenciales) y transporte (sistemas de transporte, movilidad de personas) son "áreas difíciles". Esto se debe a que, en estos casos, la mejora de las condiciones depende directamente del desarrollo de la herramienta. El uso de sondas, tecnologías inalámbricas y por cable, y software que procesa grandes cantidades de datos son fundamentales para el buen funcionamiento de estas áreas. La seguridad de la salud pública se divide en dos categorías, una es explorar a través de campos más externos y la otra es crear valor social a través de métodos prácticos (Pallarés, 2018) .

Los desafíos urbanos como la escasez de recursos, la contaminación, la congestión del tráfico y la infraestructura degradada pueden mitigarse si todas las áreas de una ciudad inteligente están conectadas al rojo. El rápido crecimiento de la población urbana ha llevado a un aumento de los problemas urbanos. Los problemas

ambientales, como la recolección y el manejo de la basura, juegan un papel importante en las ciudades, ya que se acumulan y desarrollan rápidamente todos los días (Acevedo & Barreto, 2018).

El coste de los servicios de limpieza y del personal, así como la falta de espacio de almacenamiento en los vertederos, dificultan la gestión de los residuos. El uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) aporta importantes beneficios económicos y medioambientales. Por ejemplo, colocar diferentes tipos de sensores en los contenedores de residuos ofrece posibilidades como determinar la capacidad de los contenedores en cada casa, monitorear los materiales que se deterioran en un momento dado, identificar los residuos líquidos y retirarlos antes de su separación. ambiente. El cambio climático se puede mitigar mediante la reducción de las emisiones de contaminantes nocivos como el ozono, las partículas, el monóxido de carbono, el dióxido de nitrógeno, el dióxido de azufre y el plomo (Ríos, 2020).

Al colocar sensores que detectan estas sustancias, se puede monitorear la calidad del aire en tiempo real. Las actividades al aire libre se han vuelto más saludables porque las personas pueden conocer la calidad del aire en cada área a través de una aplicación en su teléfono inteligente. Incluso pueden medir la congestión del tráfico si los sensores detectan niveles de benceno en los gases de escape (Zaradnik et al., 2019).

La cantidad de energía consumida diariamente por diversos servicios como el alumbrado público, el tráfico, los semáforos, las cámaras de vigilancia, etc. supone una gran exigencia para los edificios públicos. Sin embargo, monitorear el consumo de energía de una ciudad puede dar a los ciudadanos y autoridades una visión detallada de la cantidad exacta. De esta forma, se pueden identificar y ubicar las fuentes que más energía consumen según su importancia. Las condiciones ambientales y energéticas en la Tierra han impulsado los esfuerzos para controlar las redes de iluminación de manera más eficiente, ya que el alumbrado público representa el 19 % del consumo mundial de electricidad (Carugati et al., 2020) .

El rápido aumento de los precios de la electricidad y la necesidad de mejorar la seguridad pública y el mantenimiento eficiente exigen el ahorro de energía mediante

la instalación de luces inteligentes. Para 2030, al menos el 27 % del consumo de energía de Europa procederá de fuentes renovables y más de la mitad de la electricidad procederá de fuentes renovables. Esto requiere mejoras en la construcción y operación de las redes eléctricas, así como soluciones creativas para el sector energético (Collada, 2020).

2.2. Iluminarias públicas simples

El alumbrado público es una de las áreas de infraestructura más importantes de una ciudad. Su función básica es proporcionar a los usuarios de la vía una iluminación adecuada para tener una buena visibilidad en condiciones de luz ambiental limitada. Cuando el alumbrado público se realiza correctamente, los ciudadanos pueden recopilar información sobre su entorno, p. B. el reconocimiento de formas, sombras, paisajes y más. Por ejemplo, los conductores pueden identificar fácilmente las características de la carretera, reconocer situaciones peligrosas y evitar obstáculos mediante reacciones oportunas. No en vano, el alumbrado público es una de las medidas más importantes para prevenir los accidentes de tráfico por la noche. Según el estudio, la cantidad de lesiones graves y muertes es de dos a tres veces mayor durante la noche, cuando los flujos de tráfico representan el 20 por ciento del tráfico del resto del día en este momento. Por lo tanto, reducir los accidentes de tránsito conduce a proteger la vida humana y evitar daños económicos (Osorio, 2021) .

La falta de iluminación adecuada, además de actividades simultáneas principalmente en la noche y en calles poco iluminadas, impidió que los ciudadanos transitaran de noche sin temor. Por el contrario, los caminos iluminados previenen conductas delictivas ya que los perpetradores corren el riesgo de ser descubiertos por testigos. Se alienta a los ciudadanos a hacer ejercicio por la noche ya que el miedo y la incertidumbre son limitados. Las autoridades locales están maximizando la seguridad ciudadana tomando medidas paralelas para mejorar el alumbrado eléctrico y la vigilancia policial (Nieto, 2019).

El alumbrado público amplía el alcance comercial de las empresas y fomenta la actividad socioeconómica durante la noche. Hasta el momento se ha observado que la luz sigue funcionando a máxima intensidad durante toda la noche y se enciende cuando no hay actividad en la ruta. Este uso excesivo de luz artificial crea dispersión

de luz en la atmósfera y causa problemas en las observaciones astronómicas. Sin embargo, lo más importante es el desperdicio masivo de electricidad utilizada para hacer funcionar las luces, lo que genera preocupaciones financieras y ambientales (Pérez, 2019).

El objetivo de hacer luces inteligentes a partir de luces simples es reducir significativamente el consumo de energía y, por lo tanto, aumentar la prosperidad económica. Esto se puede lograr a través de la ciencia compleja e independiente de combinar tecnologías de iluminación nuevas y en desarrollo con formas alternativas de energía. En concreto, una luminaria en la que se coloca un sensor para comunicarse eficazmente con otras luminarias así como con un sistema de gestión (Labán, 2018).



Figura 2.4: Bombilla de calle tipo LED.

Fuente: (Luque, 2020)

Las lámparas de sodio de baja presión, sodio de alta presión, incandescentes, de hidrógeno y de halogenuros metálicos se siguen utilizando hoy en día para la iluminación de espacios públicos y privados. Una farola normal tarda bastante en encenderse por completo, y si se apaga y hay que volver a encenderla hay que hacer una pausa de unos minutos. La eficiencia limitada de estas lámparas llevó a cambiar a otra lámpara con características de bajo consumo de energía. En las redes de alumbrado, las lámparas incandescentes tradicionales están siendo reemplazadas por nuevas lámparas incandescentes con tecnología de diodos emisores de luz (LED) que arrancan sin precalentamiento. Aseguran una eficiencia lumínica muy alta, bajo

consumo de energía, larga vida útil y tiempos de arranque cortos, reducen el consumo de energía en un 80% (Luque, 2020).

Esfuerzos continuos para reducir aún más el consumo de energía mediante la mejora de la eficiencia energética de los LED. La Comisión Europea instó a los gobiernos a tomar medidas sobre el problema ambiental de las emisiones de dióxido de carbono para reducir las emisiones de dióxido de carbono. Debido a la capacidad de las luces LED de fluctuar en el brillo, existe otra forma de reducir este problema. El consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono se reducen aún más cuando las luces de las calles fluctúan en brillo con la ayuda de sensores basados en las condiciones del tráfico en el área (Scozzina et al., 2021).

2.3. Internet de las Cosas (IOT)

El Internet de las cosas (IoT) está preparado para transformar la iluminación de una simple fuente de luz dada en una infraestructura inteligente rica en datos para ciudades inteligentes. Los datos muestran que se requiere que el sistema de alumbrado público de la ciudad tenga un mayor consumo de energía. Mediante la aplicación del Internet de las Cosas se ha mejorado el sistema, y el sistema de iluminación inteligente puede reducir el consumo de energía hasta en un 33,33%. (Linares & Mendoza, s. f.).

No existe una definición oficial y precisa de IoT. Sin embargo, hay muchas suposiciones que describen este concepto. Es esencialmente el proceso de equipar objetos inanimados con las herramientas adecuadas con la ayuda de Internet para obtener la capacidad de reconocer y percibir el espacio que los rodea, crear interacciones significativas entre objetos y personas que intercambian información y, en última instancia, guiar su decisión (Linares & Mendoza, s. f.) .

Los objetos conectados a la red tienen la dirección de Protocolo de Internet única de cada objeto, que se utiliza para controlarlos y conectarlos para crear un sistema inteligente y al mismo tiempo autónomo. En los últimos años, la cantidad de dispositivos conectados a Internet ha aumentado significativamente. Según las previsiones de Cisco y Gartner, se estima que hay 50 mil millones de dispositivos conectados en uso en todo el mundo, y la mayoría de estos dispositivos provienen del sector industrial. El siguiente gráfico es un pronóstico de la tendencia de crecimiento

de los dispositivos conectados, según el cual se espera que la cantidad de dispositivos conectados supere la cantidad de personas en 2010 (Puetate, 2022).

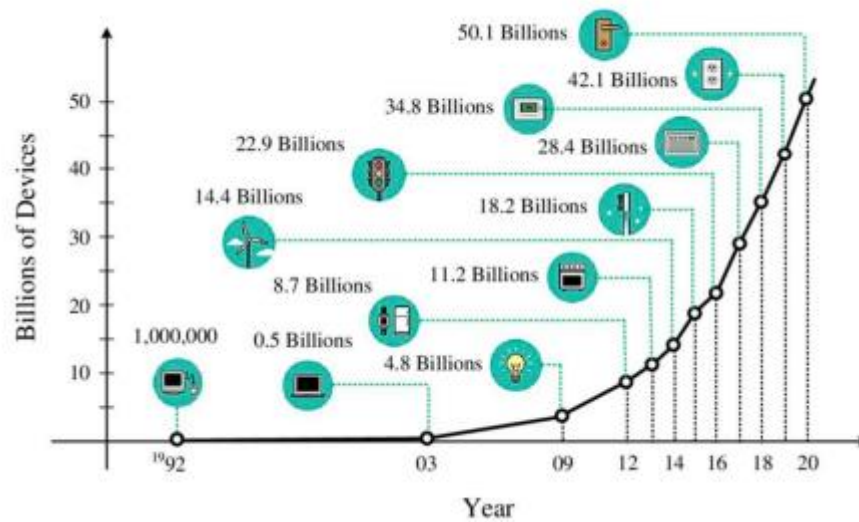


Figura 2.5: Aumento previsto del número de dispositivos interconectados en Internet para 2020.

Fuente: (Puetate, 2022)

Si bien el Internet de las cosas aún está en su infancia, el rápido crecimiento de los dispositivos conectados a Internet presenta riesgos que deben abordarse si estas redes quieren crecer y madurar. Boston Consulting Group ha instado a los gobiernos a aumentar el gasto en aplicaciones IoT de \$5 mil millones en 2015 a \$12 mil millones en 2020 debido a la proliferación de dispositivos conectados (Puetate, 2022).

Las redes eléctricas tradicionales que existen hoy enfrentan enormes desafíos en su operación. Las interrupciones persistentes, la congestión de la red durante las horas pico y los daños a la infraestructura, que a menudo no se resuelven de manera oportuna, son problemas fundamentales. La arquitectura IoT en la red de alumbrado se basa en el desarrollo de un sistema de telemarketing que registra valor, localiza movimiento y transmite información. Esta luminaria describe la visión general de un sistema de iluminación inteligente. Cada uno de ellos está conectado a los dispositivos anterior y siguiente de forma inalámbrica o por cable a través de Internet, creando nodos e intercambiando información en cualquier momento. Además, estas luminarias están equipadas con varios tipos de sensores que detectan las condiciones ambientales (movimiento, intensidad de la luz, clima, etc.) que afectan directa o indirectamente a cada luminaria y al efecto de iluminación general. Esta información es registrada, guardada y enviada al centro de gestión para su procesamiento y evaluación. Después

de eso, le corresponde al administrador decidir finalmente sobre el color y la intensidad de las bombillas (Learte, 2019).

2.4. Sensores

Los sensores son dispositivos electrónicos compuestos por células sensibles que pueden detectar señales o estímulos del entorno y recopilar información de manera directa, rápida y confiable en cualquier momento, con el objetivo principal de cumplir con los requisitos de sus aplicaciones. El valor comercial de los sensores ha disminuido en los últimos años y se espera que los precios bajen aún más en los próximos años, fomentando su uso generalizado (Romero Amondaray et al., 2020).

Hay muchos tipos de sensores, que varían según sus características y la aplicación en la que se utilizan. Los sensores pueden medir parámetros físicos como la temperatura usando termistores y fluctuaciones de luz usando fotorresistores para detectar llamas, movimiento, sonido y otras fluctuaciones en el ambiente. Entonces, un sensor es un elemento físico específico que nos permite medir un parámetro físico específico o detectar algo del entorno inmediato del sensor (Romero Amondaray et al., 2020).

La cantidad de sensores instalados depende de muchos factores relacionados con los requisitos de cada área, como el tamaño de la población, los niveles de criminalidad, la ubicación geográfica y las condiciones climáticas. Por ejemplo, la construcción de carreteras es uno de los factores que determina el número de sensores de tráfico. En intersecciones o autopistas, donde el vehículo es maniobrable y lo suficientemente rápido, se requiere un sistema multisensor, mientras que, en caminos aislados, un solo sensor es suficiente. El principal desafío con este sensor es la altura óptima para la colocación. La intención es que las bombillas solo funcionen con detección de movimiento, ahorrando así energía. Según un estudio, la altura óptima para un sensor de este tipo depende de las necesidades del usuario y del entorno en el que se coloca (Romero Amondaray et al., 2020).

2.4.1. Sensores PIR

El objetivo de un sensor PIR es detectar el paso o cualquier otro movimiento de peatones y vehículos y recoger datos de este para encender una o varias bombillas. Los detectores piroeléctricos son detectores térmicos que utilizan el efecto

piroeléctrico o la polarización espontánea dependiente de la temperatura para detectar la radiación incidente. Los materiales piroeléctricos son materiales dieléctricos que tienen polarización eléctrica espontánea en ausencia de un campo o voltaje eléctrico aplicado (Martín, 2020).

Un detector piroeléctrico es básicamente un condensador con un vector de polarización espontánea perpendicular al plano del electrodo. La radiación incidente absorbida por el material piroeléctrico se convierte en calor, lo que provoca un cambio en la temperatura dT y, por tanto, un cambio en la magnitud de la polarización espontánea. El cambio en la polarización cambia la carga superficial del electrodo. Para mantener la neutralidad, la carga se elimina de la superficie, creando una corriente térmica en el circuito (Martín, 2020).

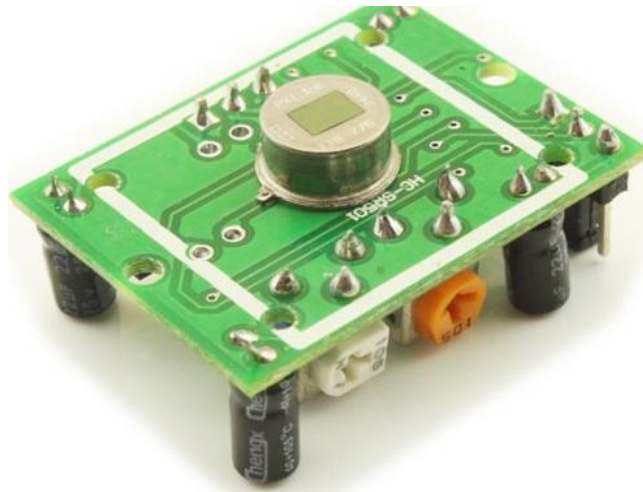


Figura 2.6: Sensor PIR.

Fuente: (Martín, 2020)

La mayoría de los detectores comerciales consisten en aproximadamente 2,2 milímetros de óxido de litio y una oblea de unos pocos micrómetros de espesor montada sobre un sustrato cilíndrico poco profundo. El elemento sensor puede elevarse por encima de la base con resortes y alambres y montarse usando postes adhesivos, varillas, bases huecas y tableros de mica de baja conductividad térmica. La absorción de radiación por el elemento piroeléctrico afecta la salida del detector. Para aumentar la absorción, las películas metálicas, las pastas de negro metálico y los negros metálicos evaporados o galvanizados se utilizan comúnmente como absorbentes (Martín, 2020).

2.4.2. Sensores de Luz

El sensor de luz tiene la capacidad de detectar el brillo de la luz solar y, en base a esto, proporcionar datos para ajustar el flujo de luz de la bombilla. Esto se logra mediante sensores de luz al medir la energía radiante presente en un rango de frecuencia muy estrecho, la señal que indica la intensidad de la luz, básicamente llamada "luz", que va desde "infrarroja" a "visible" hasta el espectro "ultravioleta". Debido a su uso y múltiples niveles de luz bajos, se deben prever fotocélulas de alta sensibilidad en el rango visible. Durante el día, cuando la intensidad de la luz solar es suficiente, la lámpara no necesita funcionar a plena potencia. Sin embargo, durante el día a veces es necesario operar la luz a bajo brillo sin activar la intensidad al 100%. Esto sucede cuando el brillo natural del paisaje está limitado por las condiciones climáticas o por el amanecer y el atardecer y se requiere un nivel de iluminación de intensidad constante (Mora Salcedo, 2016).

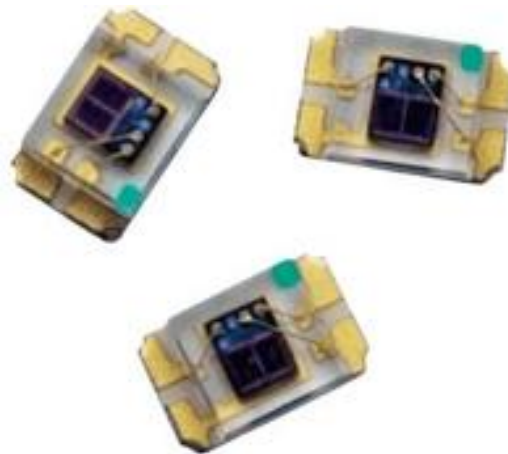


Figura 2.7: Sensor de luz.

Fuente: (Martín, 2020)

Una resistencia dependiente de la luz (LDR) es un ejemplo de un sensor de luz. Está hecho de material semiconductor expuesto, como el sulfuro de cadmio, que cambia su resistencia de unos pocos miles de ohmios en la oscuridad a unos cientos de ohmios al crear pares de electrones huecos en el material. El efecto neto es que su conductividad aumenta mientras que su resistencia disminuye para aumentar la iluminación. Además, la unidad fotorresistente tiene un tiempo de respuesta prolongado, que requiere muchos segundos para responder a los cambios en la intensidad de la luz (Mora Salcedo, 2016).

Los materiales utilizados como sustratos semiconductores incluyen seleniuro de plomo (PbSe), sulfuro de plomo (PbS) y antimoniuro de indio (InSb), que pueden detectar luz en el rango infrarrojo, de los cuales el sensor fotorresistente más utilizado es el sulfuro de cadmio (CdS). El sulfuro de cadmio se usa para hacer células fotoconductoras porque su curva de respuesta espectral está tan cerca del ojo humano que incluso se puede controlar usando una simple linterna como fuente de luz. Por lo general, tiene una longitud de onda de sensibilidad máxima (λ_p) alrededor de 560 nm a 600 nm en el rango espectral visible.

2.4.3. Sensores de Temperatura

Los sensores de temperatura, aunque no son muy populares, juegan un papel muy importante ya que facilitan el correcto funcionamiento del sistema al detectar fallos en el cableado eléctrico. También miden las condiciones de funcionamiento del entorno externo. Los tipos de sensores de temperatura van desde simples dispositivos de termostato de encendido/apagado que controlan los sistemas de calefacción de agua caliente doméstica hasta tipos de semiconductores altamente sensibles que pueden controlar complejos dispositivos de hornos de control de procesos (Coronado et al., 2017).

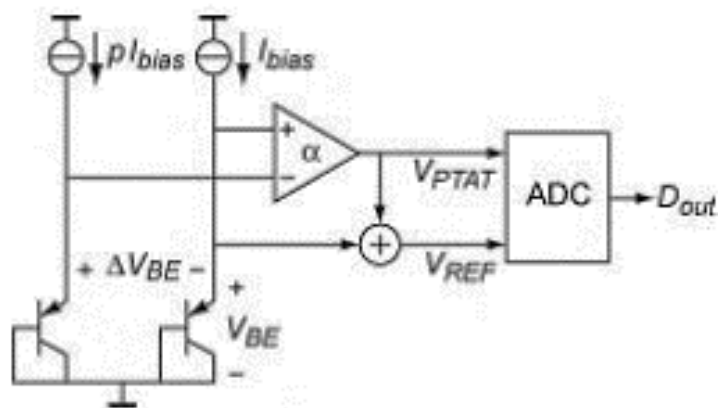


Figura 2.8: Principio de funcionamiento del sensor de Temperatura.

Fuente: (Martín, 2020)

El movimiento de los átomos y las moléculas genera calor (energía cinética), y cuanto mayor es el movimiento, más calor se genera. Los sensores de temperatura miden la cantidad de calor o incluso frío producido por un objeto o sistema, lo que nos permite "sentir" o detectar cualquier cambio físico en esa temperatura mediante la producción de una matriz o salida digital. Hay muchos tipos diferentes de sensores de temperatura disponibles, con diferentes características dependiendo de su aplicación

práctica. El termistor es uno de los tipos de sensores de temperatura más conocidos y su nombre es combinación THERM de resistencias sensibles. Un termistor cambia su resistencia física cuando se expone a cambios de temperatura. Los termistores generalmente están hechos de materiales cerámicos que se dañan fácilmente, como óxidos de manganeso, níquel o cobalto recubiertos de vidrio (Coronado et al., 2017).

Su principal ventaja sobre los tipos de acción rápida es su velocidad de respuesta a cualquier cambio en la precisión, la temperatura y la repetibilidad. La figura 2.8 muestra cómo funciona el sensor. Se utilizan dos transistores de sustrato positivo, negativo, positivo (PNP) conectados por diodos para generar los dos voltajes V_{BE} y ΔV_{BE} . Estos voltajes se combinan para producir el voltaje de referencia descrito anteriormente y el voltaje de temperatura absoluta proporcional (PTAT), que se define como una lectura de temperatura digital, D , utilizando un convertidor de analógico a digital (Coronado et al., 2017).

2.5. Microcontrolador

Una unidad de microcontrolador (MCU) es un dispositivo que contiene toda la información sobre cómo debería funcionar una luz conectada, según los datos recibidos de los sensores. La tarea principal del microcontrolador es monitorear y administrar todos los componentes que forman el nodo sensor, con el objetivo de realizar mediciones y transmitir información de manera directa y rápida. Además, el microcontrolador es responsable de implementar cualquier protocolo de acceso o enrutamiento con la ayuda de la información del servicio interno. En ocasiones dispone de una pequeña caché para almacenar los datos a recopilar para poder enviarlo. Los transceptores de RF se utilizan para reenviar datos y recibir mensajes entre nodos o una infraestructura más central, como la transferencia de información a servidores. En la red de sensores inalámbricos, el módulo de radio es el elemento que más energía consume en el funcionamiento del nodo, lo que determina su vida útil (Pérez & Luis, 2021).

La mayoría de los dispositivos electrónicos modernos contienen una o más MCU. Los MCU pueden funcionar en teléfonos móviles, se pueden encontrar en lavadoras y refrigeradores y, en general, se pueden encontrar en la mayoría de los demás electrodomésticos, juguetes para niños que controlan linternas y más. Entonces,

¿qué está haciendo exactamente la MCU en todos estos dispositivos? La MCU recibe información de botones, interruptores, sensores y componentes similares; controla circuitos periféricos, como motores y pantallas, de acuerdo con programas preestablecidos, diciéndole qué hacer y cómo responder. La Figura 2.9 muestra la estructura de una MCU típica. Una MCU consta de una CPU (Unidad central de procesamiento), algo de memoria y algunos circuitos que implementan funciones periféricas (Pérez & Luis, 2021).

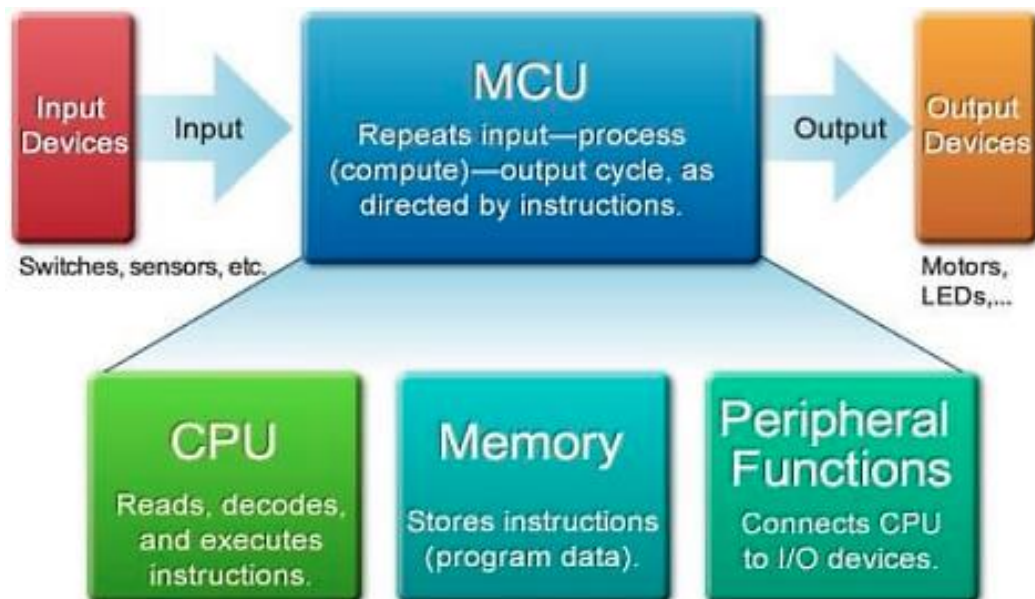


Figura 2.9: Estructura de la unidad de un microcontrolador.

Fuente: (Martín, 2020)

La memoria de la MCU se utiliza para almacenar códigos de programa y datos. Hay dos tipos básicos de memoria, como sigue:

- **Memoria de solo lectura (ROM):** Este tipo de memoria conserva su contenido incluso cuando se apaga. Esta memoria es de solo lectura y no se puede sobrescribir ni borrar. La ROM generalmente se usa para almacenar programas de inicio (que se ejecutan inmediatamente después del encendido o reinicio) y para almacenar valores constantes a los que se puede acceder libremente mediante programas en ejecución.
- **Memoria de acceso aleatorio (RAM):** Esta memoria se puede reescribir libremente. Su inconveniente es que pierde contenido cuando pierde potencia. Esta memoria se utiliza principalmente para almacenar variables de programa. Muchos microcontroladores MCU1 usan RAM estática como RAM interna. La memoria estática de acceso aleatorio (SRAM) tiene dos ventajas: admite un

acceso más rápido y no requiere actualizaciones periódicas. La desventaja es que el circuito interno es complejo y es difícil empaquetar una gran cantidad en el espacio limitado del chip. SRAM no es adecuado para implementar grandes cantidades de memoria. Una alternativa a SRAM es la RAM dinámica. La estructura simple de la memoria dinámica de acceso aleatorio (DRAM) permite que una gran cantidad de datos quepan en un espacio pequeño; el tamaño típico de DRAM es mucho mayor que el de SRAM. Pero formar DRAM y lógica de alta velocidad en una sola oblea es difícil. Por esta razón, DRAM generalmente no se usa en MCU monolíticos (Pérez & Luis, 2021).

2.6. Redes Celulares

Un elemento clave requerido para las aplicaciones de ciudades inteligentes es una red de comunicación robusta. En los sistemas de iluminación inteligente, los sensores requieren una red con la menor latencia posible y altas velocidades de recepción y carga de datos para que estén disponibles para su posterior procesamiento. Sin embargo, debido al rápido crecimiento de los dispositivos conectados, se han desarrollado redes de bajo consumo, y estas tecnologías no requieren licencia para operar, garantizando así los derechos de acceso necesarios. Las redes y tecnologías actuales están en constante evolución, lo que requiere cobertura inalámbrica en todas las áreas de una ciudad y la capacidad de conectarse a diferentes redes (Prado & Daniel, 2019).

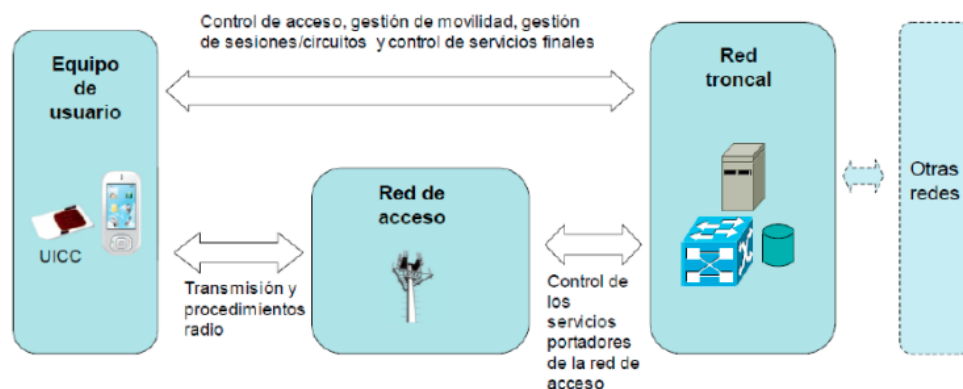


Figura 2.10: Arquitectura del sistema de una red celular.

Fuente: (Prado & Daniel, 2019)

La idea básica detrás de las redes celulares es dividir el área de cobertura geográfica de la red en áreas más pequeñas, llamadas celdas. Debido a sus características técnicas bien estructuradas y fáciles de usar, la capacidad de suscripción

del sistema aumenta, proporcionando una gran cantidad de operaciones en el espectro radioeléctrico proporcionado. Al mismo tiempo, ofrece la posibilidad de cobertura de radio sobre un área geográfica relativamente grande, proporcionando a los receptores móviles comunicaciones de alta calidad a un costo aceptable (Prado & Daniel, 2019).

2.6.1. Redes 3G

La tecnología inalámbrica de tercera generación (3G) fue desarrollada por primera vez por NTT en Japón en octubre de 2001 y representa velocidades de conexión más altas que las generaciones anteriores. La tecnología 3G puede unificar los estándares de telefonía móvil, como el acceso múltiple por división de código (CDMA), el sistema global para comunicaciones móviles (GSM), el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), y convertirse en una de las tecnologías clave. Una red inalámbrica 3G consta de dos componentes básicos. El primer componente es una red de acceso de radio independiente (RAN) que proporciona acceso a terminales móviles. El segundo componente se refiere a la red central que consta del dominio de conmutación de paquetes. La tecnología 3G se ha aplicado a varias aplicaciones de teléfonos inteligentes para brindar a los usuarios servicios rápidos y en tiempo real (García, 2019).

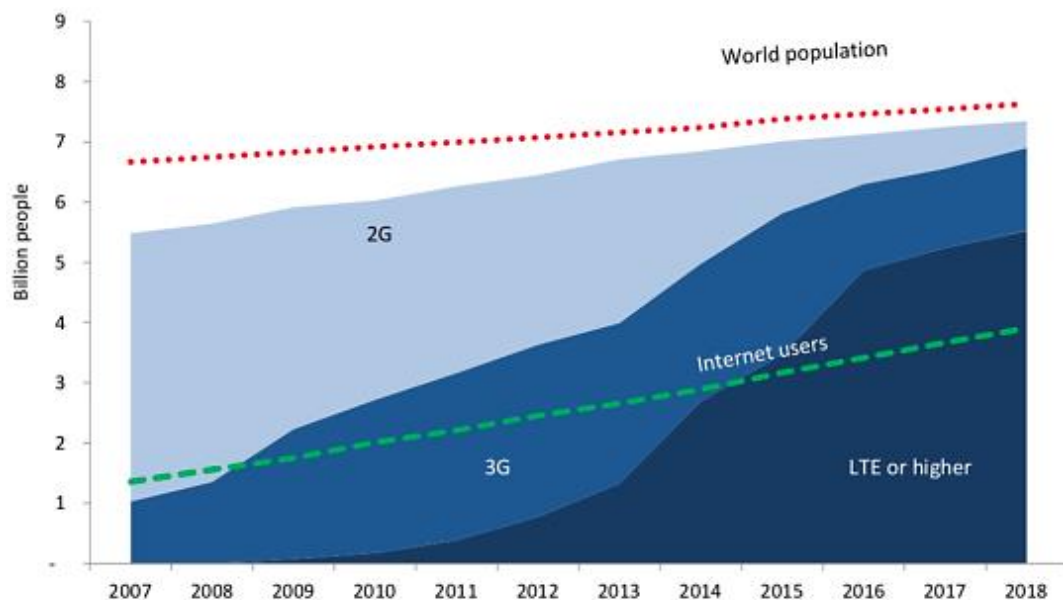


Figura 2.11: Cobertura móvil por cada una de las redes desde el 2007 al 2018.

Fuente: (García, 2019)

2.6.2. Redes 4G

En 2010, nuevas tecnologías más avanzadas ingresaron al mercado, con el objetivo de brindar mejores resultados que las tecnologías 3G y de segunda generación (2G) existentes. La cuarta generación (4G) de Telia Sonera de Finlandia aborda el futuro de las redes inalámbricas de alta velocidad. Las características de 4G se enfocan en altas velocidades de transferencia de datos y tipos de datos, ya que pueden transmitir información a través de audio, video o video durante una llamada de voz. Las principales diferencias entre las tecnologías 3G y 4G son las velocidades y los métodos de transferencia de datos, los métodos de acceso a Internet, la terminología de transferencia, la escalabilidad del servicio y la calidad de la seguridad. Además, las redes 4G pueden soportar velocidades de 100 megabits por segundo (Mbps) y 1 gigabit por segundo (Gbps), cubriendo áreas amplias con movilidad total y áreas localizadas con movilidad reducida, respectivamente (Parracho, 2018).

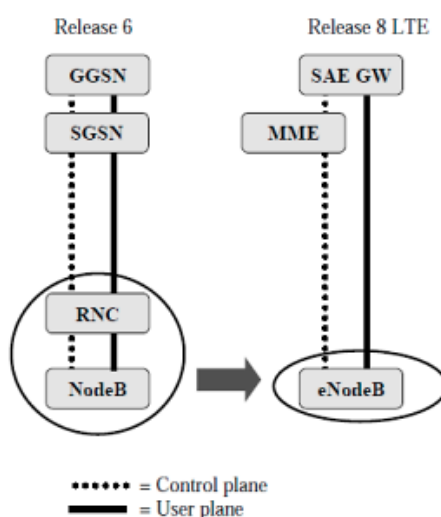


Figura 2.12: Diferencia entre la arquitectura de una red 3G vs 4G.

Fuente: (Parracho, 2018)

2.6.3. Redes 5G

Debido al aumento de dispositivos conectados, las redes inalámbricas 4G ya no son suficientes para cubrir las necesidades y requerimientos que han surgido. Por ello, las redes inalámbricas de quinta generación (5G) tienen 1.000 veces la capacidad que ofrecen las tecnologías móviles hasta la fecha. 5G se basa en tecnologías existentes e intenta mejorar algunas características clave de estas redes. Por ejemplo, mejora el rendimiento y la calidad de los servicios que se brindan a los usuarios y aumenta la conectividad a través de herramientas de monitoreo. Además, con

velocidades de carga y descarga de más de 1 Gbps en la red local y 500 Mbps en la WAN, reduce la latencia al 0 % y, en última instancia, mejora la eficiencia energética. Debido a la variedad de funciones, las aplicaciones de red 5G tienen aplicaciones en muchos campos. Algunas de estas aplicaciones incluyen visión y navegación virtual, gestión de crisis, atención médica, hogares virtuales, ciudades inteligentes, apoyo a la industria y educación. Nueva York, Singapur, Seúl, Amsterdam y Estocolmo son algunas de las ciudades tecnológicamente más avanzadas del mundo debido a sus redes de comunicación muy sólidas y de alta velocidad (Aranda et al., 2021).

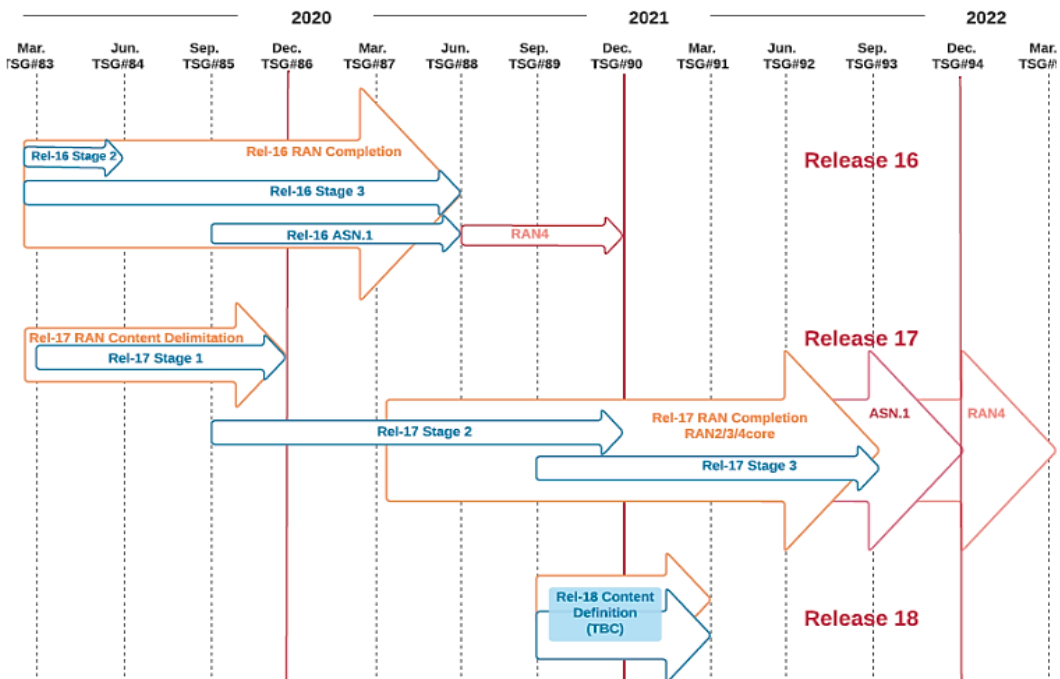


Figura 2.13: Línea de tiempo del 5G desde el 2020 hasta el 2022.

Fuente: (Aranda et al., 2021)

2.7. Simulador de Cupcarbon IOT

Cupcarbon es una poderosa herramienta de código abierto que mejora continuamente y está diseñada principalmente para redes WSN. Dentro de su ámbito funcional destaca la posibilidad de diseñar, visualizar y simular una serie de algoritmos en un entorno ambiental para su respectiva recopilación de información, etc. Cupcarbon ofrece la creación de diferentes escenarios a través de objetos en movimiento, nodos de sensores, clima, gas y fuego y otros elementos ambientales (López et al., 2018).

El software cuenta con dos entornos de simulación, el primero se enfoca en la simulación de eventos discretos y el segundo en la creación de diferentes eventos naturales con movilidad propia. La ventaja del software sobre los competidores es que puede calcular y mapear el consumo de energía de los nodos sensores a lo largo del tiempo (López et al., 2018).



Figura 2.14: Escenario dibujado en Cupcarbon.

Fuente: (López et al., 2018)

2.7.1. Presentación de la Plataforma de Cupcarbon IOT

La plataforma de Cupcarbon es una de las pocas en el mundo capaz de simular diferentes modelos de interferencia y propagación de radio. Permite que los nodos sensores detecten áreas de interferencia en la red en tiempo real, mejorando de forma precisa y rápida la calidad de uso y la propagación de radio en entornos urbanos reales. Esto se logra mediante el uso de dos modelos de propagación de radio incluidos en la plataforma. El primer modelo, 2.5D, estima directamente la atenuación del canal y la respuesta de impulso (IR) del canal de una gran cantidad de receptores. El segundo modelo es un modelo 3D que se centra en la detección y el uso de superficies reflectantes en lugar de la difracción. Si bien esto se considera un proceso lento, se están tomando medidas para reducir el tiempo de cálculo (Bermudez, 2021).

- **Bloque de interferencia:** El término interferencia significa agregar la señal recibida a la red y es un factor limitante muy importante, especialmente en redes densas. CupCarbon permite generar todas las señales recibidas, aunque este método puede llevar mucho tiempo debido a la gran cantidad de fuentes de

interferencia. Para evitar el cálculo excesivo, generalmente se generan perturbaciones aleatorias (Bermudez, 2021).

- **Bloque de entorno 2D / 3D:** A través de este módulo, el rendimiento y los servicios de la WSN propuesta se pueden simular y analizar en entornos 2D y 3D realistas mediante la validación de algoritmos distribuidos. Más específicamente, los entornos 2D son útiles para depurar y validar simulaciones, pero tienen deficiencias para desarrollar redes precisas. Aparece un entorno 3D, que incluye una dimensión extra, la altura. Algunos ejemplos son edificios, suelo (por ejemplo, montañas), nodos sensores, etc. Esta dimensión de altura adicional crea diferentes tipos de interferencia y propagación de radio (Bermudez, 2021).
- **Bloque de implementación:** La plataforma proporciona una interfaz gráfica de usuario para simplificar la comprensión y visualización de los resultados de la simulación para la depuración y verificación de cualquier algoritmo distribuido. La estructura de esta interfaz proporciona dos capacidades. Una parte del primer esquema se simplificó y modificó, el resto permaneció. La segunda característica tiene que ver con facilitar múltiples implementaciones de un módulo determinado, lo que permite a los usuarios cambiar rápidamente entre diferentes versiones. (Bermudez, 2021).

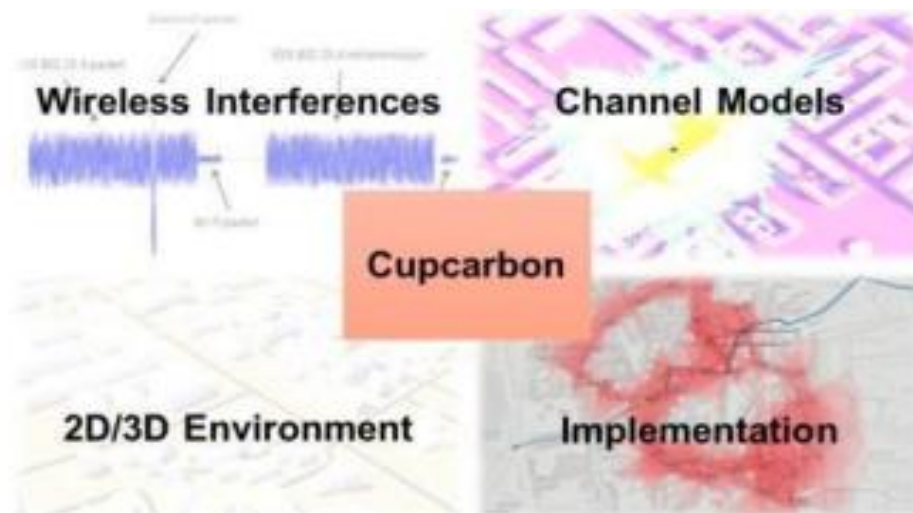


Figura 2.15: Componentes de Cupcarbon.

Fuente: (Bermudez, 2021)

2.7.2. La arquitectura de CupCarbon

El CupCarbon está diseñado con una construcción modular que permite un fácil reemplazo y personalización de piezas específicas del simulador. Su arquitectura

consta de dos capas imaginables. La primera capa se refiere a los módulos utilizados para construir simulaciones, es decir, el diseño de escenas en movimiento y la generación de eventos naturales, así como la simulación de objetos en movimiento como vehículos y objetos voladores. La segunda capa hace referencia a la simulación en sí, el escenario diseñado a partir del primer entorno, relacionado con la simulación de eventos discretos en la WSN (Solís Angulo, 2020). A continuación, se describe cada módulo que conforma la arquitectura Cupcarbon:

- **Módulo modelo ciudad 2D/3D:** Este módulo está relacionado con el formato digital de la ciudad. Contiene toda la información necesaria que tiene una ciudad, como edificios, carreteras, etc. Es la parte principal del emulador porque se muestra primero como página de inicio en la pantalla del usuario.
- **Módulo de movilidad:** Determina la trayectoria del dispositivo móvil. Un dispositivo móvil puede ser un dispositivo sin sistema de comunicación o un dispositivo con nodos sensores.
- **Módulo de red:** Este módulo permite diseñar la red de sensores inalámbricos que se simulará en OpenStreetMap.
- **Módulo de script de comunicación:** Este módulo le permite diseñar redes de sensores inalámbricos que serán simulados en OpenStreetMap.
- **Módulo de propagación de canal de radio:** Este módulo se utiliza para calcular la atenuación del canal y su respuesta de impulso para cada par de nodos en la red. Estos datos son responsables de si cada par de nodos sensores recibió el nivel de interferencia o transmitió paquetes.
- **Módulo de interferencia:** Es muy útil porque se utiliza para determinar si cada mensaje enviado será recibido por el destinatario.
- **Módulo de simulación:** Este módulo es el núcleo de la arquitectura CupCarbon. La simulación se realiza a través de la simulación de eventos discretos. Estos eventos son generados por eventos reales (como la movilidad) o naturales (como la temperatura y los gases). o ejecutando cualquier declaración de secuencia de comandos en cada nodo sensor (CupCarbon IoT Simulator, 2021).

2.7.3. Trayectorias de los sensores en Cupcarbon

CupCarbon da la posibilidad al software de asignar las coordenadas de las posiciones de los sensores a colocar en el mundo real. Cada ruta está definida por un

conjunto de puntos de referencia en el Open Street Map (OSM), y cada punto está asociado a una fecha que corresponde a la fecha exacta de llegada del objeto a la misma. De esta forma, se considera o no la posibilidad de conexión entre los sensores y se programan en consecuencia, cambiando el equipo utilizado o la ubicación donde se instalan los dispositivos. Aquí hay dos formas de generar trayectorias en este entorno:

- Generación manual: De esta forma, se consigue la generación de trayectorias seleccionando manualmente las coordenadas (x, y) en el mapa y especificando las fechas de llegada a cada punto.
- Generación automática: A través de este proceso la generación de trayectorias se realiza automáticamente en el mapa OSM especificando los puntos principales de la trayectoria. Aunque se deben guardar todas las rutas, solo se cargan en la memoria las rutas asociadas a los objetos incluidos en la simulación. Las coordenadas (x, y) de los objetos dados se actualizarán en la fecha específica para cada punto de la ruta durante la simulación. Una trayectoria se puede asociar con múltiples objetos de diferentes tipos. Está representado por un GPS donde cada línea describe una fecha, coordenadas GPS, un parámetro booleano y el radio del punto a dibujar en el mapa. El parámetro booleano se utiliza para determinar si dibujará los objetos móviles conectados en este punto o simplemente simulará sin dibujar (Solís Angulo, 2020).

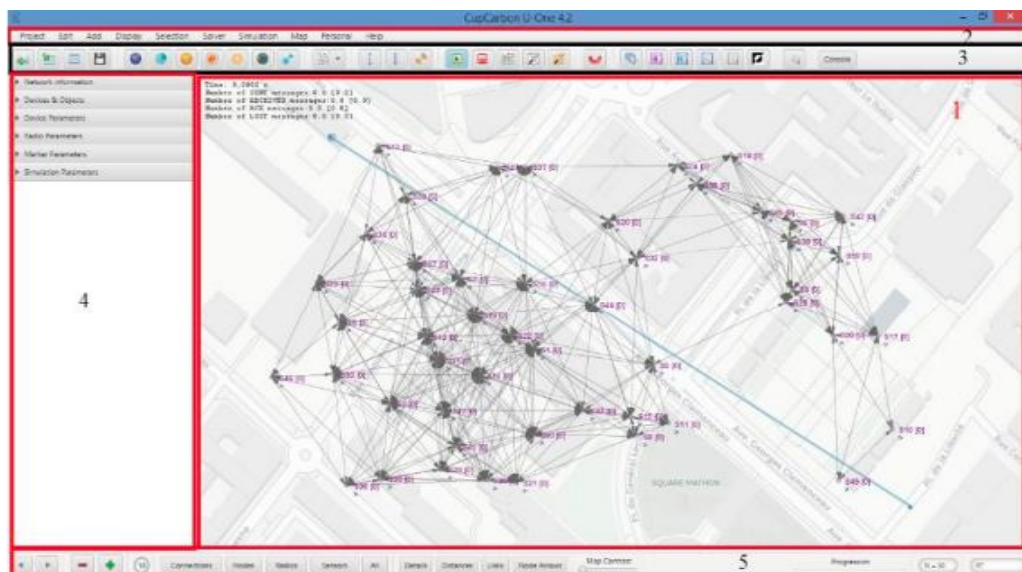


Figura 2.16: Entorno de simulación de Red Cupcarbon.

Fuente: (Cupcarbon, 2021)

CAPÍTULO III

SIMULACIÓN DE ALUMBRADO INTELIGENTE EN CUPCARBON

En este presente capítulo, se lleva a cabo un estudio de la simulación de 20 dispositivos de iluminación distribuidos en un tramo de la vía Daule de la ciudad de Guayaquil. Debido a que durante toda la noche existe una menor circulación de vehículos, por lo cual simularemos un sistema de alumbrado inteligente, el cual nos permite reducir el consumo de energía de las iluminarias y a su vez nos permite extender el tiempo de vida útil de la iluminaria, los cuales rondan alrededor de 5.7 años. Los dispositivos simulados trabajan de manera independiente, uno de ellos está programado para detectar el movimiento en un determinado radio y en base a estar actuar, el otro dispositivo estará programado para detectar la temperatura del ambiente y en base a sus valores sensados, regular el brillo de la farola. El alumbrado inteligente entra en funcionamiento cuando los sensores mencionados le notifican que se detecta un cambio en el entorno. El objetivo de este estudio es analizar el funcionamiento de un alumbrado inteligente.

3.1. Metodología del alumbrado inteligente

Cada una de las farolas con el sistema de alumbrado inteligente mencionado, puede decidir el porcentaje de su iluminación en base a la luz del entorno que le rodea y del movimiento que detecte sus sensores. El funcionamiento del alumbrado se lo explica en los siguientes tres casos:

- El primer caso, cuando el nivel del sensor de movimiento está en bajo (no se detecta ningún movimiento), las farolas estarán apagadas independientemente de que la temperatura sea alta o baja en el entorno.
- El segundo caso, cuando el nivel de sensor de movimiento está en alto (se detecta movimiento por parte de los vehículos o peatones), las farolas se encenderán al 50% de su capacidad, si detectan una temperatura mayor a 25 °C en su entorno.
- El tercer caso, cuando el nivel de sensor de movimiento está en alto, las farolas se encenderán al 100% de su capacidad, si detectan una temperatura menor a 25 °C en su entorno (por ejemplo, en la noche e inicios de la mañana).

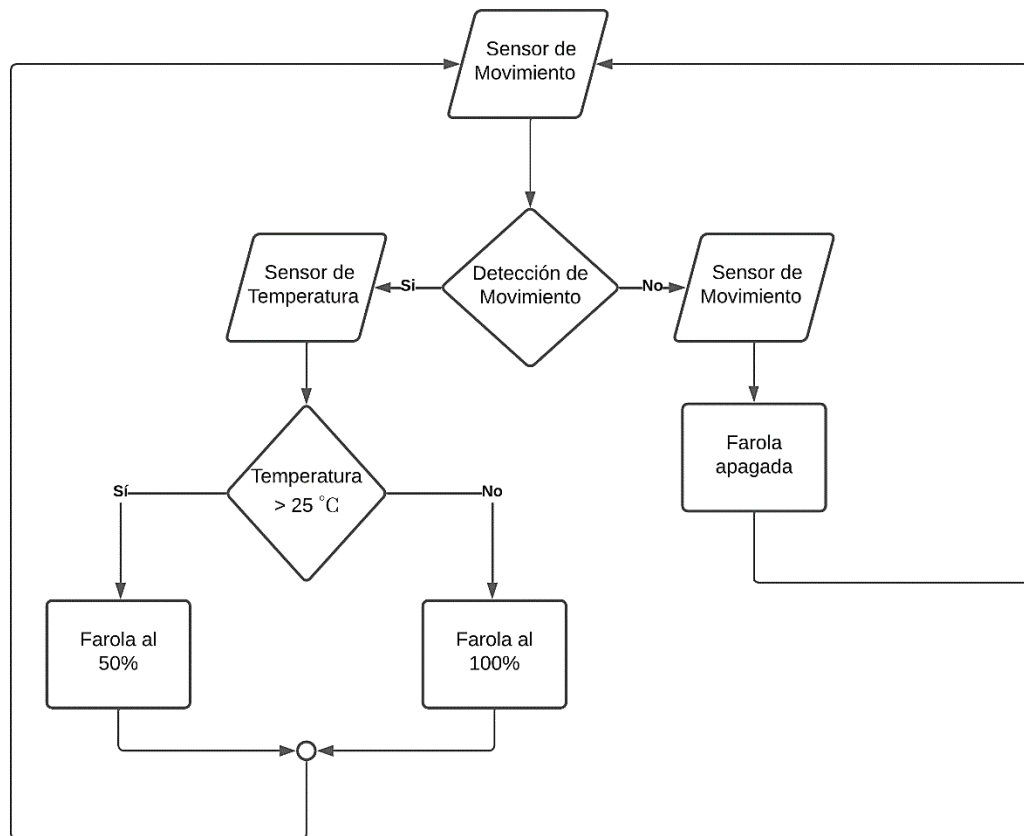


Figura 3.1: Diagrama de flujo del sistema de alumbrado inteligente.

Fuente: El Autor

La figura 3.1 se muestra el diagrama de flujo del sistema de alumbrado inteligente. Se observa que inicialmente se comprueba si se detecta algún movimiento en el entorno, en el caso de no detectar ningún movimiento, la farola se mantiene apagada, pero si llega a detectar un movimiento esta detecta la temperatura de su entorno, si la temperatura está por encima de los 25°C la intensidad de iluminación de la farola es del 50%, caso contrario de que la temperatura sea inferior se enciende al 100% de la iluminación de la farola.

3.2. Descripción de la simulación

En esta simulación, se utilizan 20 luminarias, ubicadas en un tramo de la vía Daule, se utiliza un sensor de movimiento, el cual se enciende cuando detecte algún objetivo, ya sea un peatón o vehículo, para respectivamente utilizar el sensor de luminosidad y establecer el nivel de brillo en la farola. A continuación, se detalla la lista de elementos utilizados en Cupcarbon y su respectiva función.

Tabla 3.1: Elementos utilizados en la simulación de alumbrado inteligente en Cupcarbon IOT

ID y Nombre del Dispositivo	Descripción del elemento
S1: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S2: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S3: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S4: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S5: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S6: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S7: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S8: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S9: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S10: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S11: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S12: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S13: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S14: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S15: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S15: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S16: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S17: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S18: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S19: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S20: Nodo sensor de luz	Dispositivo de alumbrado inteligente
S21: Nodo móvil	Vehículo
S22: Gas Sensor	Simulador meteorológico
S23: Gas Sensor	Simulador meteorológico
S24: Gas Sensor	Simulador meteorológico
S25: Gas Sensor	Simulador meteorológico
S26: Gas Sensor	Simulador meteorológico
S27: Gas Sensor	Simulador meteorológico
S28: Gas Sensor	Simulador meteorológico

S29: Gas Sensor	Simulador meteorológico
S30: Gas Sensor	Simulador meteorológico
S31: Gas Sensor	Simulador meteorológico

Fuente: El Autor

- **Del S1al S20:** Son las luminarias, las cuales tienen incorporado el sensor de movimiento y de luminosidad, para actuar sobre ellas.
- **El S21:** Es un nodo móvil, el cual cumple la función de actuar como un vehículo y seguir la ruta que previamente se trazó en el mapa.
- **Del S22 al S31:** Son los sensores de gas, los cuales son los encargados de simular la temperatura del entorno, para su posterior sensado.

Se ha insertado un total de 10 sensores de gas, debido a que estos elementos en Cupcarbon poseen un radio de alcance bastante corto, por lo cual se ha decidido colocar entre medio de cada 2 nodos sensores un sensor gas y así poder solventar dicho problema. También se utiliza un sensor meteorológico, que permite mostrar en pantalla el valor de la temperatura del entorno, ya que, si no se coloca este dispositivo, la visualización de la temperatura sería complicada, por el uso de los demás dispositivos en el simulador de Cupcarbon.

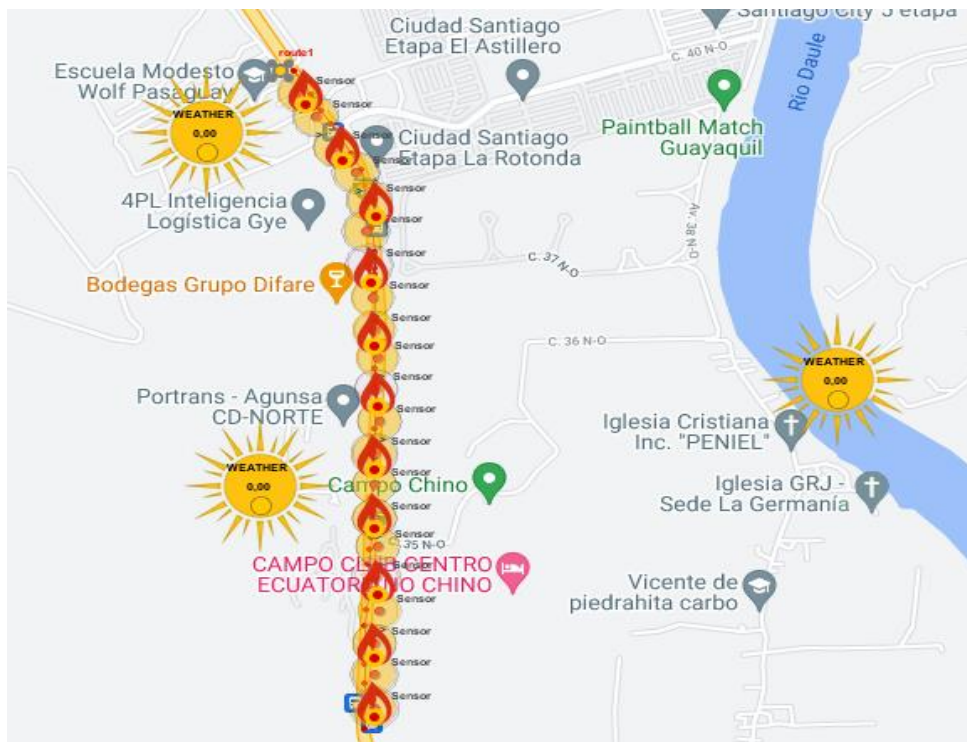


Figura 3.2: Diseño de la simulación de alumbrado inteligente en Cupcarbon.

Fuente: El Autor

Las veinte luminarias han sido ubicadas en un tramo de la vía Daule, la distancia de separación entre cada una de las farolas es de 100 metros. La figura 3.2 es el diseño de la simulación, antes de ser ejecutado. Al inicio de los nodos sensores, se encuentra un nodo móvil, el cual actúa como un vehículo, cruzando las calles de la ruta trazada. El sensor de movimiento una vez detecte al vehículo, enciende la farola, su porcentaje de brillo es regulado por el sensor de luminosidad, es decir si la temperatura es inferior a 25 °C las farolas encienden al 100% de su brillo, caso contrario que la temperatura sea superior a 25°C las farolas encienden al 50%. Para tener un análisis del consumo de las farolas, establecemos que cada una de las lámparas LED tiene una potencia de 100W, lo que significa que cada lámpara funcionando al 100% de su intensidad de brillo consume 100J, al funcionar al 50% de su brillo, es decir a la mitad de su capacidad, estas consumen 50J y no consumen ninguna potencia si estas se encuentran apagadas.



Figura 3.3: Inicio de la simulación de alumbrado inteligente en Cupcarbon.

Fuente: El Autor

En la figura 3.3 se muestra el inicio de la simulación. Se trabaja con un indicador para observar la temperatura que va a ir cambiando cada segundo (el tiempo de cambio de temperatura es a elección del usuario, en este caso es de un segundo). El

nodo móvil cumplirá la función de un vehículo, es decir se mueve por la carretera por medio del trazado de los puntos rojos, los cuales son la ruta que seguirá el vehículo en el mapa. Según la programación, una vez que el vehículo entre en contacto con las farolas, estas se encenderán en base a la temperatura del entorno, adicional de esto se agrega una marca o indicar de color verde, el cual se enciende una vez el vehículo pase por su rango de detección de la farola, esto permite identificar cuando entre en funcionamiento el sensor de movimiento, también se incorpora la función de GPS en cada uno de los nodos sensores, lo que permite saber con precisión la longitud y latitud de cada uno de los nodos sensores en el mapa.

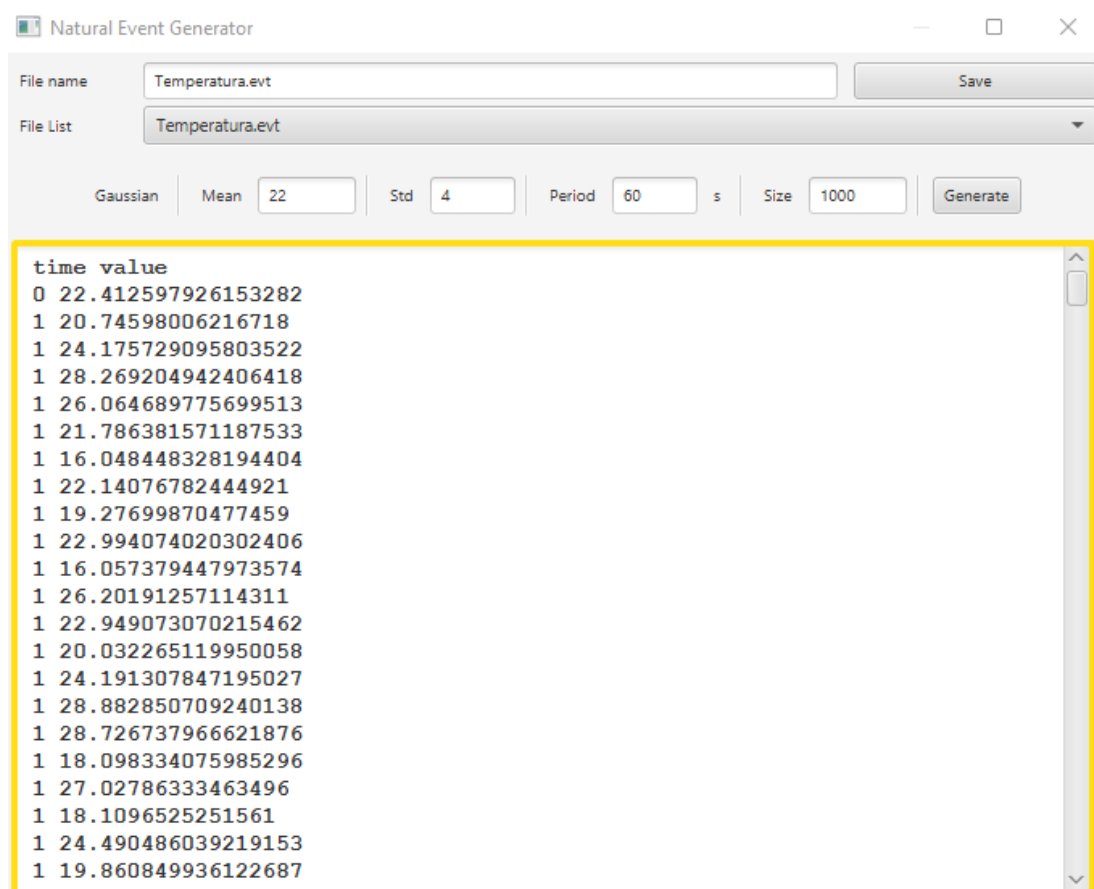


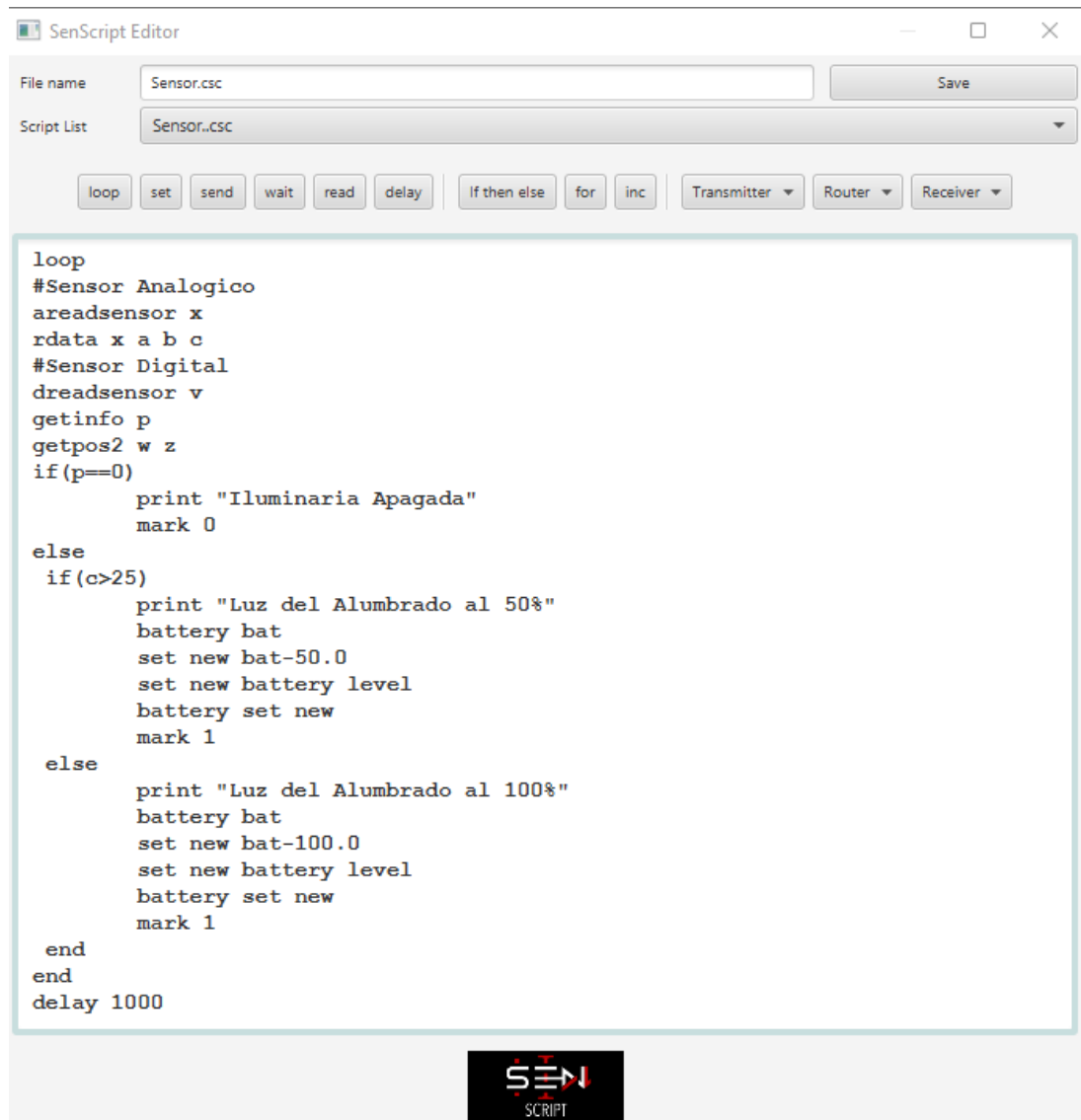
Figura 3.4: Generador de eventos naturales en Cupcarbon.

Fuente: El Autor

Este software posee una función especial, la cual ofrece la posibilidad de simular y desarrollar distintos cambios de temperatura a través de la herramienta Generador de eventos naturales. Esta función permite generar los valores aleatorios de temperatura comprendidos entre los 16 a 28°C los cuales establecimos, también permite colocar cuantos valores de temperatura se desea generar de manera automática, la figura 3.4 muestra la imagen de un generador de eventos naturales.

Estos valores que genera son cargados en cada uno de los sensores de gas, ya que ellos son los encargados de simular en cambio de temperatura, para que los sensores puedan trabajar de manera correcta en esta simulación.

A continuación, se presenta la programación del SenScript utilizada en los nodos sensores del simulador de Cupcarbon.



The image shows a screenshot of the SenScript Editor window. The window title is "SenScript Editor". It has a "File name" field containing "Sensor.csc" and a "Save" button. Below that is a "Script List" dropdown menu showing "Sensor..csc". A toolbar contains buttons for "loop", "set", "send", "wait", "read", "delay", "If then else", "for", "inc", "Transmitter", "Router", and "Receiver". The main text area contains the following code:

```
loop
#Sensor Analogico
areadsensor x
rdata x a b c
#Sensor Digital
dreadsensor v
getinfo p
getpos2 w z
if (p==0)
    print "Iluminaria Apagada"
    mark 0
else
    if (c>25)
        print "Luz del Alumbrado al 50%"
        battery bat
        set new bat-50.0
        set new battery level
        battery set new
        mark 1
    else
        print "Luz del Alumbrado al 100%"
        battery bat
        set new bat-100.0
        set new battery level
        battery set new
        mark 1
    end
end
delay 1000
```

At the bottom center of the editor window is a logo with the text "SEN SCRIPT" and a stylized "S" and "E" with arrows.

Figura 3.5: Código utilizado en el SenScript de Cupcarbon.

Fuente: El Autor

Adicionalmente, si se desea realizar una visualización más detallada del funcionamiento de cada uno de los nodos sensores, se utiliza la función de cprint, la cual permite ver el funcionamiento de cada una de las farolas de la simulación en la consola de Cupcarbon, como se observa en la figura 3.6.

```

Console

S33 >> Iluminaria Apagada Tiempo: 3.0 Latitud: -2.0339316529720746 Longitud: -79.94822859764099
S34 >> Iluminaria Apagada Tiempo: 3.0 Latitud: -2.0348751958648466 Longitud: -79.9483573436737
S35 >> Iluminaria Apagada Tiempo: 3.0 Latitud: -2.0357758504322323 Longitud: -79.9483573436737
S38 >> Iluminaria Apagada Tiempo: 3.0 Latitud: -2.036762276059218 Longitud: -79.9483573436737
S50 >> Iluminaria Apagada Tiempo: 3.0 Latitud: -2.037577150097603 Longitud: -79.94827151298523
S51 >> Iluminaria Apagada Tiempo: 3.0 Latitud: -2.038477811878461 Longitud: -79.94831442832947
S52 >> Iluminaria Apagada Tiempo: 3.0 Latitud: -2.0394213561806915 Longitud: -79.94822859764099
S53 >> Iluminaria Apagada Tiempo: 3.0 Latitud: -2.0403648990734635 Longitud: -79.9483573436737
S54 >> Iluminaria Apagada Tiempo: 3.0 Latitud: -2.0412655536408493 Longitud: -79.9483573436737
S55 >> Iluminaria Apagada Tiempo: 3.0 Latitud: -2.042251979267835 Longitud: -79.9483573436737
S14 >> Luz del Alumbrado al 50% Tiempo: 4.0 Latitud: -2.02432465290517 Longitud: -79.95028853416443
S17 >> Iluminaria Apagada Tiempo: 4.0 Latitud: -2.0250537552423737 Longitud: -79.94985938072205
S19 >> Iluminaria Apagada Tiempo: 4.0 Latitud: -2.0259544114818406 Longitud: -79.94934439659119
S20 >> Iluminaria Apagada Tiempo: 4.0 Latitud: -2.026683513919945 Longitud: -79.94882941246033
S22 >> Iluminaria Apagada Tiempo: 4.0 Latitud: -2.0274983933888597 Longitud: -79.94848608970642
S23 >> Iluminaria Apagada Tiempo: 4.0 Latitud: -2.0283990496464437 Longitud: -79.9485719203949
S25 >> Iluminaria Apagada Tiempo: 4.0 Latitud: -2.0293854819956074 Longitud: -79.94848608970642
S26 >> Iluminaria Apagada Tiempo: 4.0 Latitud: -2.030329026188465 Longitud: -79.94840025901794
S28 >> Iluminaria Apagada Tiempo: 4.0 Latitud: -2.0312725689889115 Longitud: -79.9483573436737
S29 >> Iluminaria Apagada Tiempo: 4.0 Latitud: -2.032087446888986 Longitud: -79.94827151298523

```

Figura 3.6: Exportación de datos de la simulación a Excel.

Fuente: El Autor

Cupcarbon tiene la función de exportar los datos simulados de cada uno de los nodos sensores, por medio del código printfile, el cual guarda un archivo por cada nodo sensor utilizado, el cual puede ser abierto con un formato de texto o de Excel, cabe mencionar que esta función consume bastantes recursos del PC, por lo que el programa puede cerrarse, si no se tiene las características necesarias.

	A	B	C	D	E	F	G	H
61	Luz del Alumbrado al 100	Tiempo: 60.0	Latitud: -2.0436243901478464	Longitud: -79.948410987854				
62	Luz del Alumbrado al 100	Tiempo: 61.0	Latitud: -2.0436243901478464	Longitud: -79.948410987854				
63	Luz del Alumbrado al 100	Tiempo: 62.0	Latitud: -2.0436243901478464	Longitud: -79.948410987854				
64	Iluminaria Apagada	Tiempo: 63.0	Latitud: -2.0436243901478464	Longitud: -79.948410987854				
65	Iluminaria Apagada	Tiempo: 64.0	Latitud: -2.0436243901478464	Longitud: -79.948410987854				
66	Iluminaria Apagada	Tiempo: 65.0	Latitud: -2.0436243901478464	Longitud: -79.948410987854				
67	Iluminaria Apagada	Tiempo: 66.0	Latitud: -2.0436243901478464	Longitud: -79.948410987854				
68	Iluminaria Apagada	Tiempo: 67.0	Latitud: -2.0436243901478464	Longitud: -79.948410987854				
69	Iluminaria Apagada	Tiempo: 68.0	Latitud: -2.0436243901478464	Longitud: -79.948410987854				
70	Iluminaria Apagada	Tiempo: 69.0	Latitud: -2.0436243901478464	Longitud: -79.948410987854				
71	Iluminaria Apagada	Tiempo: 70.0	Latitud: -2.0436243901478464	Longitud: -79.948410987854				
72	Iluminaria Apagada	Tiempo: 71.0	Latitud: -2.0436243901478464	Longitud: -79.948410987854				
73	Iluminaria Apagada	Tiempo: 72.0	Latitud: -2.0436243901478464	Longitud: -79.948410987854				
74	Iluminaria Apagada	Tiempo: 73.0	Latitud: -2.0436243901478464	Longitud: -79.948410987854				
75	Iluminaria Apagada	Tiempo: 74.0	Latitud: -2.0436243901478464	Longitud: -79.948410987854				

Figura 3.7: Datos de la simulación en la consola de Cupcarbon.

Fuente: El Autor



Figura 3.8: Simulación del consumo de energía de cada farola en Cupcarbon.

Fuente: El Autor

En la figura 3.8 se observa el consumo de energía de cada una de las farolas simuladas en Cupcarbon, el consumo de energía varía en base al porcentaje de brillo utilizado por cada una de las farolas, debido a que la temperatura del entorno varía constantemente por el uso de los sensores de gas, el consumo energético puede ser diferente si se deja una temperatura ideal constante en el entorno simulado, esto puede llevar a 2 tipos de resultados adicionales, uno es un menor consumo de energía si la temperatura es superior a 25 grados centígrados o caso contrario el consumo de energía sería mayor, ya que todas las farolas tienen al 100% su brillo.

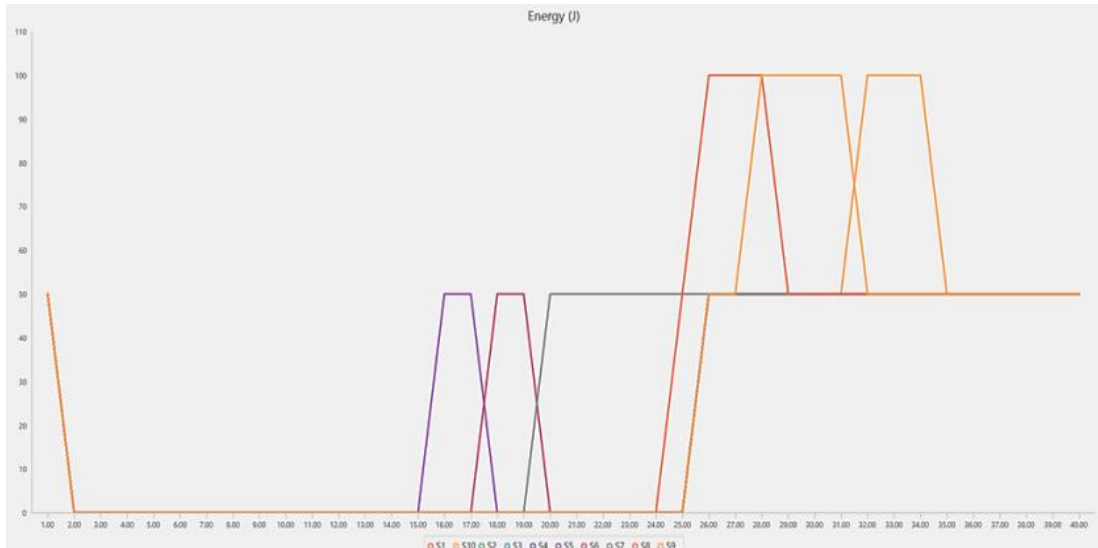


Figura 3.9: Gráfica del consumo de energía de las primeras 10 farolas en Cupcarbon.

Fuente: El Autor

En la figura 3.9 se observa una gráfica del consumo de las primeras diez farolas simuladas en Cupcarbon, el consumo de energía es eficiente porque una vez que la farola deja de detectar al vehículo o peatón en su rango de detección de 100 metros, esta se apaga para evitar el consumo de energía innecesario, en comparación a un alumbrado público convencional, que no posea este tipo de sistemas, el cual está funcionando al 100% toda la noche y mañana, el consumo de energía es muy elevado en comparación a un sistema de alumbrado inteligente.

CONCLUSIONES

La iluminaria inteligente es una parte fundamental e importante en las ciudades inteligentes. El alumbrado de calles, carreteras, áreas públicas y estacionamiento permite a las personas prolongar sus actividades hasta la noche, por lo cual es importante proporcionar un servicio de iluminación correcto que genere seguridad a las personas. El inconveniente de los alumbrados no inteligentes es el consumo eléctrico elevado, ya que se mantiene en constante funcionamiento, lo que genera un gran gasto económico para el estado o municipios, por lo cual optan por disminuir el número de iluminarias en los espacios públicos, dando como resultado un posible peligro a la integridad de los peatones y conductores.

Este problema se lo puede solventar a través del uso de alumbrado inteligente, ya que a través de las nuevas tecnologías que ofrece el mercado, se puede conseguir un sistema de alta eficiencia. Los sistemas de alumbrado inteligente logran que la iluminación exterior sea más eficiente en el consumo energético, seguro y sostenible para el estado o municipios, que lo implementen.

El fin de este trabajo de simulación fue diseñar y simular un sistema de alumbrado inteligente, el cual consta de farolas con tecnología LED, sensores de temperatura y movimiento, los cuales se comunican entre sí, de forma inalámbrica.

El sistema de alumbrado inteligente tiene la característica de detectar el movimiento de los vehículos y peatones, una vez detecte a su objetivo, este sistema inteligente evalúa el porcentaje de brillo a utilizar, dependiendo la temperatura de su entorno en dicho momento. Si se implementa este tipo de alumbrados en las ciudades de un país, se ahorraría grandes cantidades de energía eléctrica, lo que a su vez generaría una disminución en el coste de la energía eléctrica, ya que las farolas en base a su entorno funcionarían al 50% o 100% de iluminación y si no detecta ningún movimiento estas farolas se apagan. Otro de los objetivos de este alumbrado inteligente es proporcionar seguridad y fiabilidad a los ciudadanos, ya que, si detectan algún movimiento, estas farolas se encienden sin importar, si es de noche o de día.

El mantenimiento de un sistema de alumbrado inteligente sería menor al de los convencionales, ya que, las farolas trabajan con tecnología LED. El tiempo de vida útil de este tipo de iluminarias LED es de alrededor de 50000 horas, lo que convertido en años sería alrededor de 5.70 años, teniendo en cuenta que esté funcionando las 24 horas del día, el tiempo de vida de estas farolas es superior a las convencionales, ya que, estas rondan alrededor de 13000 horas de vida útil al estar compuestas por vapor de sodio de alta presión. Además, se debe tener en cuenta que las farolas LED, no estarán funcionando siempre al 100%, y en algunos casos estarán apagadas, lo que les permitirá extender aún más su tiempo de vida útil.

En conclusión, el sistema de alumbrado inteligente asegura un menor consumo eléctrico, ya que, comparado al alumbrado convencional, este gestiona de manera eficiente el porcentaje de iluminación, lo cual le permite extender el tiempo de vida útil de la farola.

RECOMENDACIONES

Las condiciones y parámetros que contienen la programación del sistema de alumbrado inteligente deben ser modificados, ya que, el porcentaje de iluminación en las farolas LED, varía en base a las condiciones de temperatura de la ciudad, donde se instale el sistema de alumbrado inteligente, ya que cada país tiene diferentes temperaturas, algunos el clima es más cálido y en otros el clima es más frío, por lo cual el sistema de alumbrado inteligente tiene que ser calibrado en base a las condiciones climáticas del país, donde se lo vaya a implementar.

Los requisitos del computador tienen que ser altos, si la simulación va a tener un gran número de nodos sensores, ya que exige una gran cantidad de recursos por parte del computador, para ejecutar la simulación de manera correcta.

El montaje de las farolas juega un papel muy importante, ya que dependiendo la altura y el ángulo en el que se lo instale, proporcionará un mayor rango de iluminación en su entorno y su mala colocación representaría un menor alcance en las áreas a iluminar por cada farola.

Referencias Bibliográficas

- Acevedo, J., & Barreto, A. (2018). Desarrollo de un ebook interactivo en el ámbito de las ciudades inteligentes. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/21260>
- Alderete, M. V. (2019). ¿Qué factores influyen en la construcción de ciudades inteligentes? Un modelo multinivel con datos a nivel ciudades y países. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad - CTS*, 14(41), Article 41. <http://ojs.revistacts.net/index.php/CTS/article/view/110>
- Aranda, J., Cabrera, E. J. S., Haro-Mendoza, D., & Salinas, F. A. (2021). 5G networks: A review from the perspectives of architecture, business models, cybersecurity, and research developments. *Novasinerгия*, ISSN 2631-2654, 4(1), 6-41. <https://doi.org/10.37135/ns.01.07.01>
- Bermudez, E. (2021). Um estudo de consumo de energia de LoRaWAN [Universidade Federal de Pernambuco]. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/42031>
- Carugati, I., Funes, M., Donato, P., Strack, J., Orallo, C., & Hadad, M. (2020). Calidad de Energía en Ciudades Inteligentes: Primeros resultados en la ciudad de Mar del Plata. 2020 IEEE Congreso Biental de Argentina (ARGENCON), 1-6. <https://doi.org/10.1109/ARGENCON49523.2020.9505326>
- Collada, J. (2020). Distribución de la energía en el entorno de una Smart City basado en Blockchain. <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/handle/10609/118207>
- Coronado, E. M. S., Valdes, L. G. V., Medina, M. A., Cantero, C. A. T., & Ramirez, G. G. (2017). Detección y diagnóstico de fallos en sensores de temperatura en una columna de destilación fraccionada. *DYNA*, 92(1), 97-105. <https://doi.org/10.6036/7990>
- CupCarbon IoT Simulator. (2021). CupCarbon IoT 5.0. <http://cupcarbon.com/index.html>

- García, J. (2019). Tecnologías 3G, 4G y 5G: Una perspectiva económico y social de la carrera por la innovación de las redes de banda ancha. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/27633>
- Labán, J. (2018). Análisis, diseño y selección de alternativas de iluminación para alumbrado público con nuevas tecnologías. Universidad Tecnológica del Perú. <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/972>
- Learte, J. (2019). Desarrollo de un ecosistema IoT para la mejora de la eficiencia energética de edificios—Repositorio Institucional de Documentos [Zaragoza]. <https://zaguan.unizar.es/record/76216>
- Linares, A. M., & Mendoza, E. S. (s. f.). Diseño e Implementación de un Sistema de Iluminación LED Controlado a través de IoT. Recuperado 15 de febrero de 2022, de <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13465>
- López, C., Sendra, S., & Valenzuela, J. (2018). Evaluation of CupCarbon Network Simulator for Wireless Sensor Networks. *Network Protocols and Algorithms*, 10(2), 1-27. <https://doi.org/10.5296/npa.v10i2.13201>
- Luque, G. J. (2020). Análisis del ahorro y beneficios producidos con el reemplazo a luminarias led en las principales calles de Moquegua 2018. Universidad José Carlos Mariátegui. <https://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/952>
- Martín, A. (2020). Diseño de un sistema IoT de bajo consumo para funcionamiento en áreas de baja cobertura. <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/38787>
- Mora Salcedo, J. (2016). Desarrollo y calibración de un sensor de luz direccional mediante fotodiodos [Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/69239>

- Nieto, D. (2019). Medidas de ahorro energético en alumbrado público y polideportivo municipal en una localidad de Madrid (east=-3.77156277545181; north=40.5248319; name=Comunidad de Madrid, España) [Masters, E.T.S.I de Minas y Energía]. <https://oa.upm.es/57294/>
- Osorio, W. (2021). Interventoría al sistema del alumbrado público del municipio de Medellín. <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/24452>
- Pallarés, V. (2018). Interoperabilidad en el futuro ecosistema europeo de ciudades inteligentes [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universitat Politècnica de València]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=250852>
- Parracho, D. S. R. (2018). Desenvolvimento de modelos de capacidade para redes móveis 3G e 4G usando dados de desempenho reais [MasterThesis, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa]. <https://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/10227>
- Perez, J. (2019). Calidad y eficiencia energética en el sistema de iluminación del alumbrado público de la cabecera municipal de san Fernando, Chiapas. <http://repositorio.digital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/handle/123456789/2091>
- Pérez, S., & Luis, J. (2021). Sistema de detonación electrónica secuenciada para demoliciones controladas basado en el microcontrolador PIC18F4550. <https://riunet.upv.es/handle/10251/177784>
- Prado, C., & Daniel, D. (2019). Cobertura y capacidad en redes 2G, 3G y 4G. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/14691>
- Puetate, D. (2022). IOT para la supervisión y control de circuitos de iluminación. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12049>
- Ríos, B. (2020). Ciudades inteligentes, más que tecnología. *Cultura Económica*, 38(100), 39-65. <https://doi.org/10.46553/cecon.38.100.2020.p39-65>

- Romero Amondaray, L., Artigas Fuentes, F. J., Calderón, C. A., Romero Amondaray, L., Artigas Fuentes, F. J., & Calderón, C. A. (2020). Redes de Sensores Inalámbricos Definidas por Software: Revisión del estado del arte. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 41(2), 39-50.
- Rozga, R. E. (2018). Ciudad inteligente - concepto en discusión. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores. <http://ru.iiec.unam.mx/3731/>
- Rózga, R., & Hernández, R. (2019). El concepto de ciudad inteligente y condiciones para su implementación en las ciudades latinoamericanas más importantes: Vol. I. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores. <http://ru.iiec.unam.mx/4652/>
- Salvador, C. (2016). Diseño de un plan estratégico maestro de gestión de activos para urbanismo y vivienda sostenible en Smart Cities «Ciudades inteligentes». <https://riunet.upv.es/handle/10251/71883>
- Scozzina, E. F., Marder, V., Ramírez, J. L., Fontana, J. L., & Lin, A. de J. (2021). Desempeño de productos: Aspectos tecnológicos más relevantes de los dispositivos y luminarias LEDs. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 7(0), 86-99. <https://doi.org/10.30972/eitt.704767>
- Solís Angulo, B. L. (2020). Análisis de los parámetros de eficiencia para una red de sensores inalámbricos en la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Guayaquil. [Thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Carrera de Ingeniería en Teleinformática.]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/54637>

Zaldívar, A., Aguilar, M., Moyeda, D., & Osuna, J. (2018). Factores sociales que influyen en el diseño de ciudades inteligentes. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información*, 6(12), 156-162.

Zaradnik, I. J., Lupi, D., Agüero, A., Behar, C., Lanzilliotti, L., Vázquez, M., & Canziani, M. (2019, abril). Computación en la nube para un sistema de monitoreo de calidad de aire y ruido ambiental. XXI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2019, Universidad Nacional de San Juan). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/77186>

Anexo 1 Guía de ejercicios prácticos

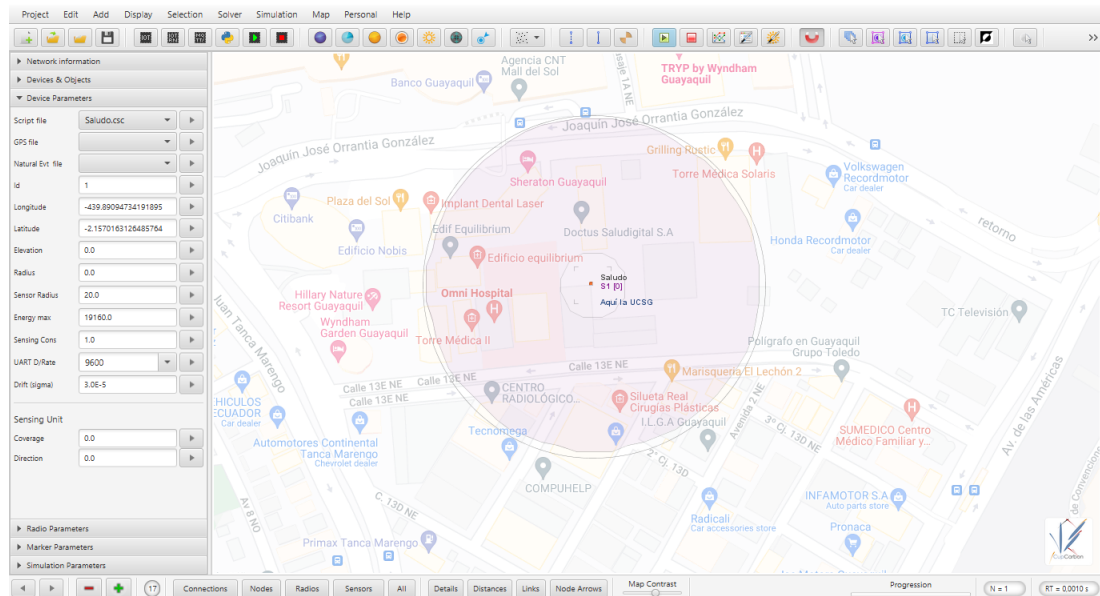
Objetivos:

- Capacitar de manera correcta con el uso del software de CupCarbon IoT.
- Proponer ejercicios prácticos de Cupcarbon a los estudiantes.

Enlace de la carpeta que contiene los ejercicios con sus respectivos videos guías:

https://drive.google.com/drive/folders/1vDjOq7j_xDYTYSSycNKxXDB05qD9d6c3V?usp=sharing

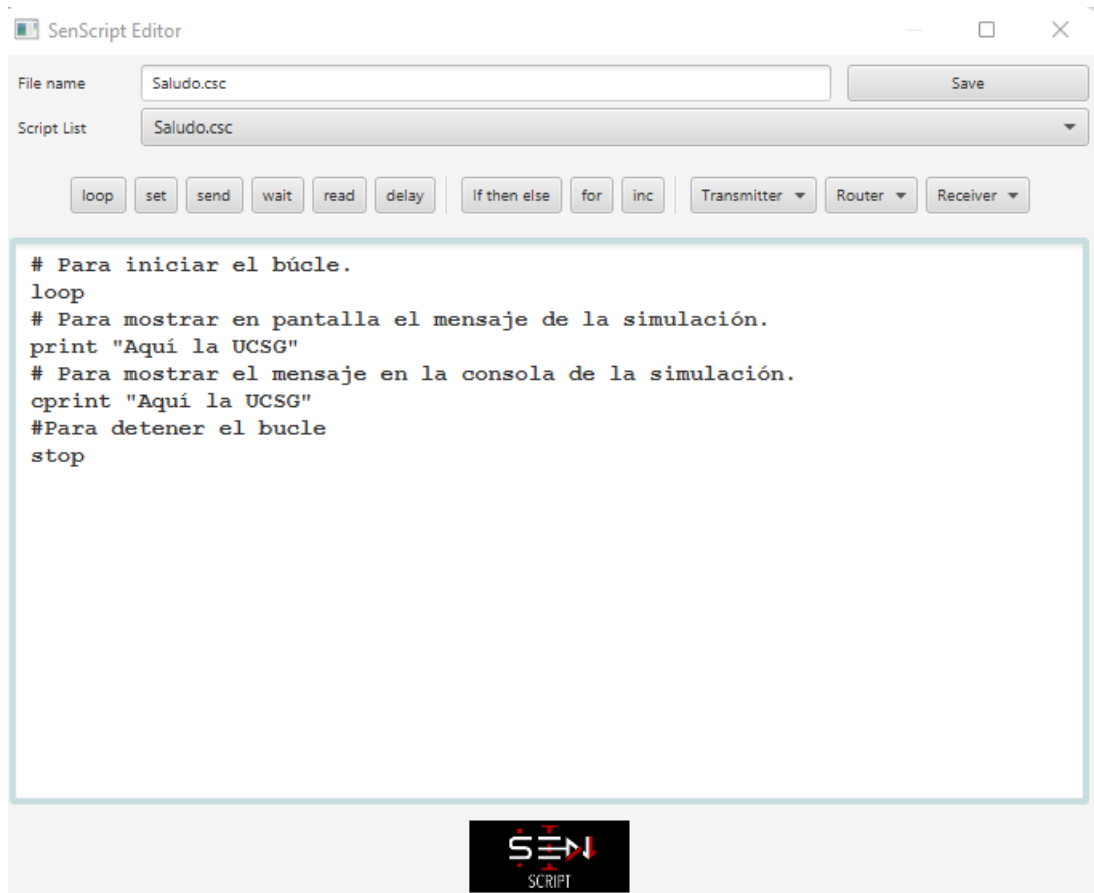
Ejercicio 1: Mensaje en pantalla y consola en Cupcarbon



Console

```
Mobility: false
Generate Restul File: false
Initialization ...
End of Initialization.
Start Simulation ...
S1 >> Aquila UCSG
Infinite Times!

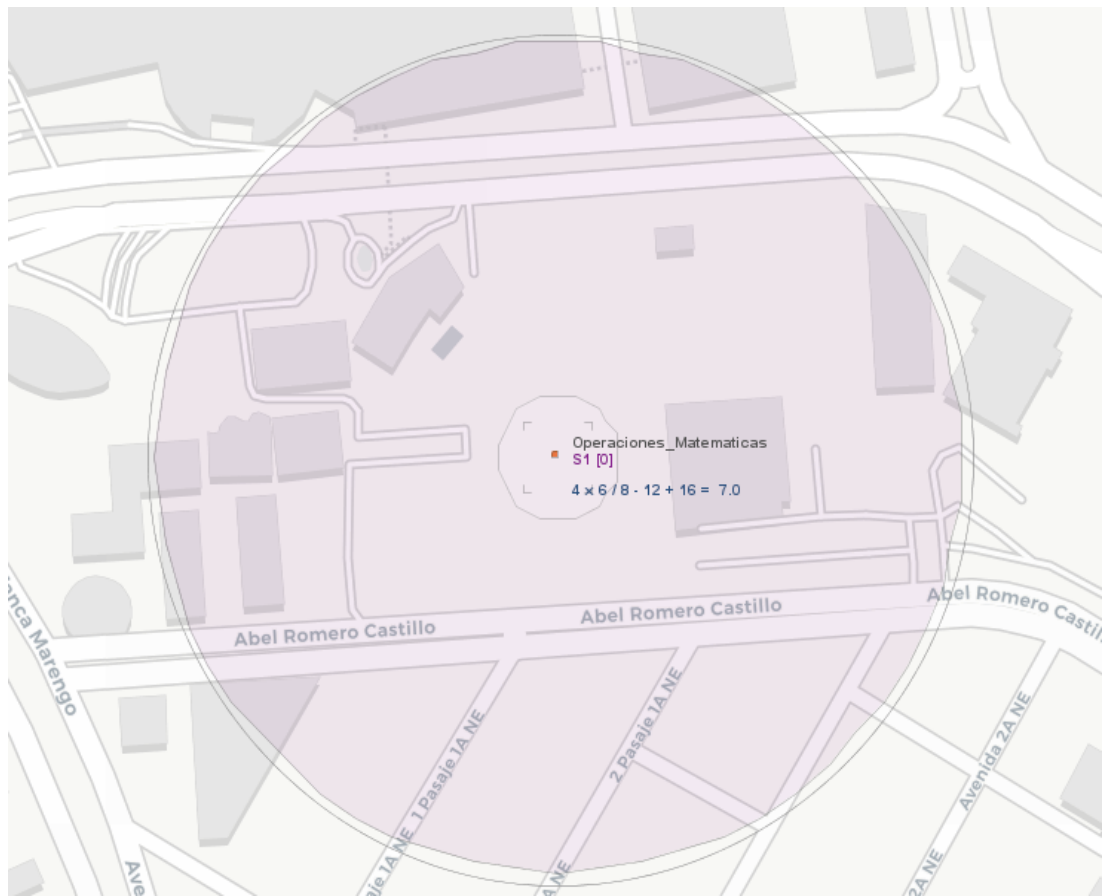
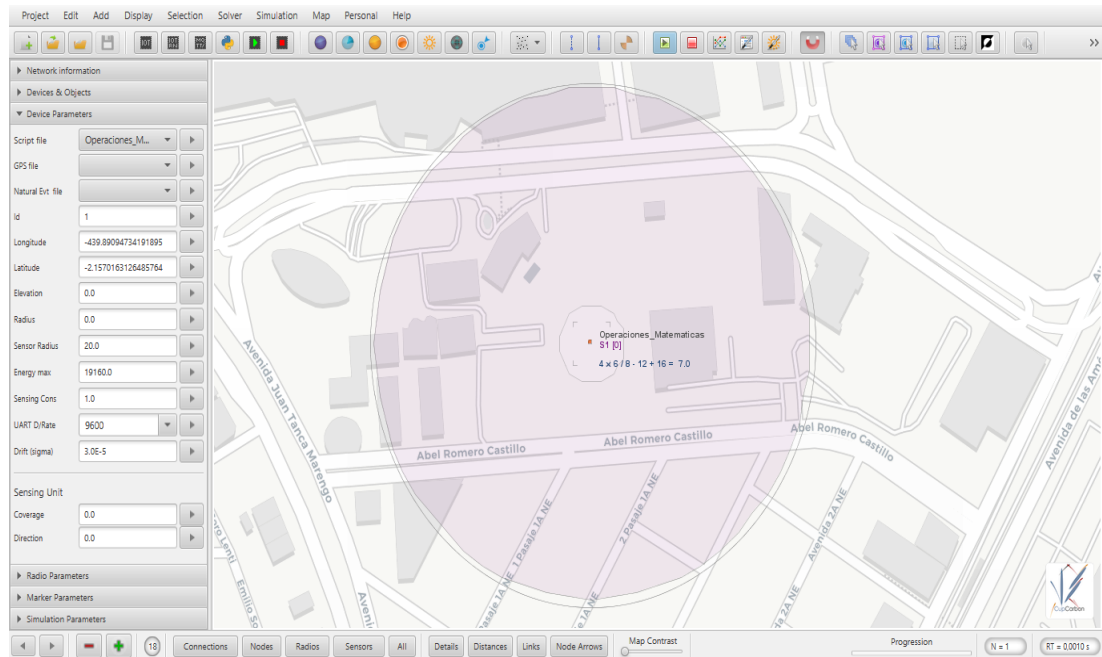
End of Simulation.
0.001 sec
Time: 0.0000 s
Number of SENT messages: 0.0 [0.0]
Number of RECEIVED messages: 0.0 [0.0]
Number of SENT & RECEIVED messages: 0.0 [0.0]
Number of ACK messages: 0.0 [0.0]
Number of LOST messages: 0.0 [0.0]
Number of Marked Sensors: 0
```



En este primer ejercicio se presenta el uso de un nodo sensor, el cual se lo programa a través del SenScript de Cupcarbon, este nodo muestra un mensaje en pantalla y consola de “Aquí la UCSG”.

Ejercicio propuesto: Muestre distintos mensajes en pantalla y consola en diferentes nodos.

Ejercicio 2: Operaciones básicas matemáticas en Cupcarbon



Console

```

Mobility: false
Generate Restul File: false
Initialization ...
End of Initialization.
Start Simulation ...
4.0
6.0
4.0
6.0
S1 >> 4 x 6 / 8 - 12 + 16 = 7.0
Infinite Times!

End of Simulation.
0.001 sec
Time: 0.0000 s
Number of SENT messages: 0.0 [0.0]
Number of RECEIVED messages: 0.0 [0.0]
Number of SENT & RECEIVED messages: 0.0 [0.0]
Number of ACK messages: 0.0 [0.0]
Number of LOST messages: 0.0 [0.0]
Number of Marked Sensors: 0

```

SenScript Editor

File name: Operaciones_Matematicas.csc Save

Script List: Operaciones_Matematicas.csc

loop set send wait read delay If then else for inc Transmitter Router Receiver

```

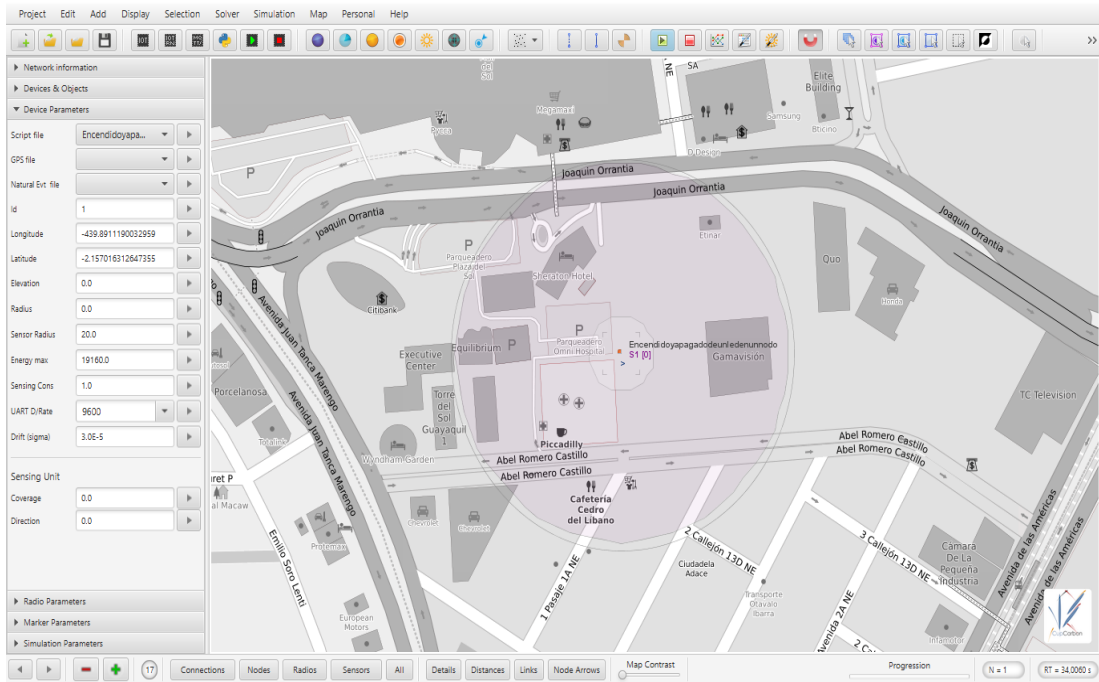
# Para iniciar el bucle.
loop
# Establece un valor de 4 en la variable v
set v 4
# Establece un valor de 6 en la variable w
set w 6
# Establece un valor de 8 en la variable x
set x 8
# Establece un valor de 12 en la variable y
set y 12
# Establece un valor de 16 en la variable z
set z 16
# Establece en la variable a, el resultado de la resolución del ejercicio.
set a v*w/x-y+z
# Para mostrar la resolución del ejercicio en la pantalla de la simulación.
print v "x" w "/" x "-" y "+" z "=" a
# Para mostrar la resolución del ejercicio en la consola de la simulación.
cprint v "x" w "/" x "-" y "+" z "=" a
#Para detener el bucle
stop

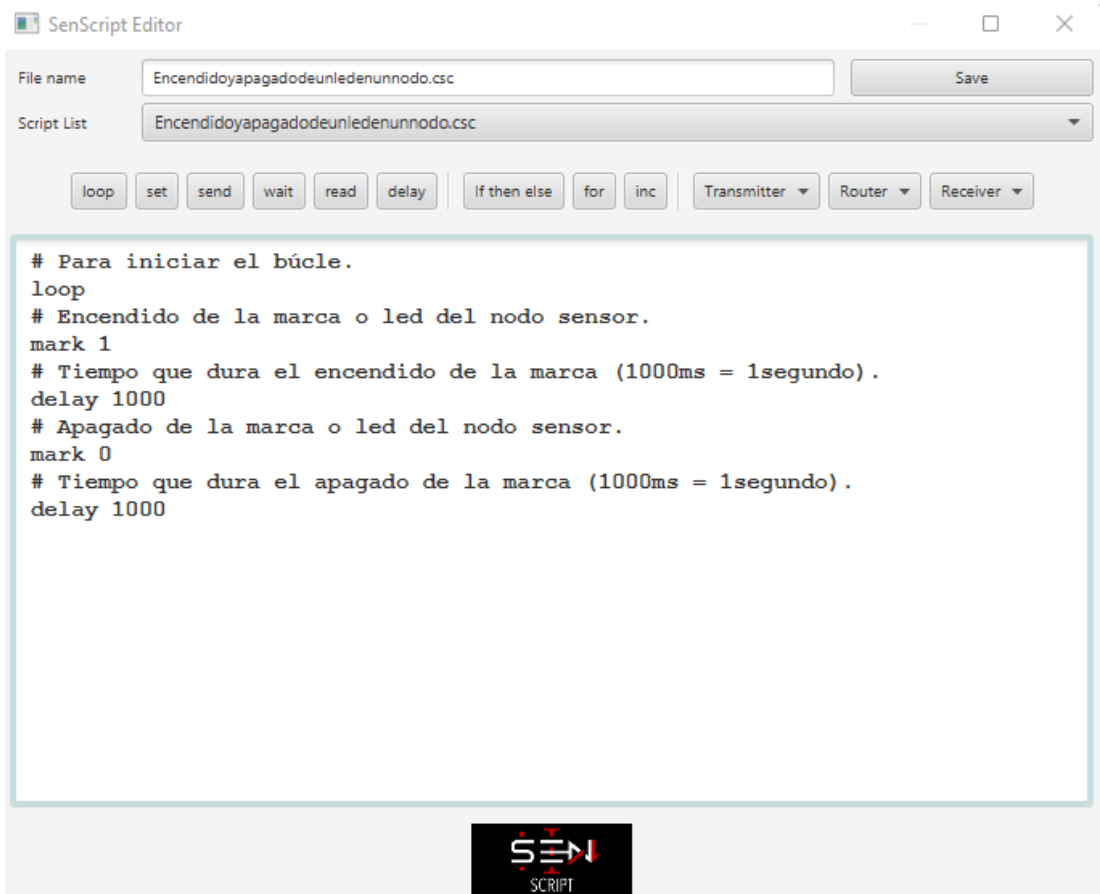
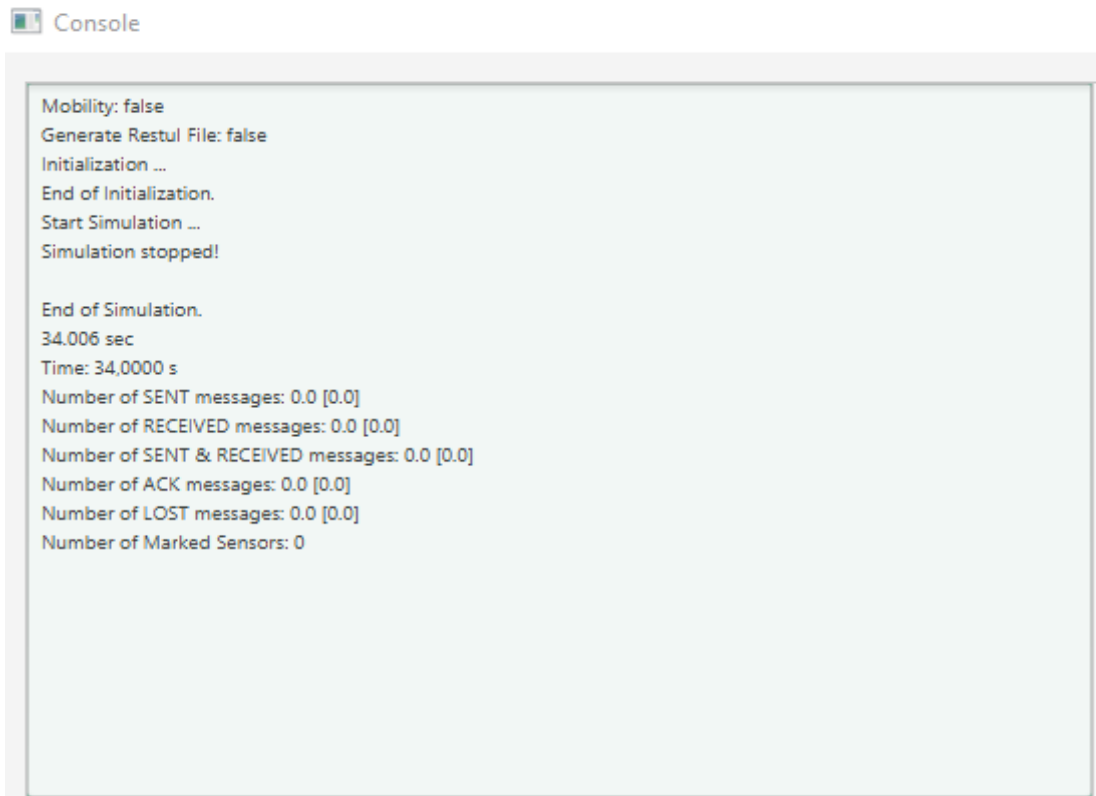
```

SEN SCRIPT

Ejercicio propuesto: Agregue más variables y realice diferentes ejercicios en cada nodo.

Ejercicio 3: Encendido y apagado de marcas en nodos sensores en Cupcarbon

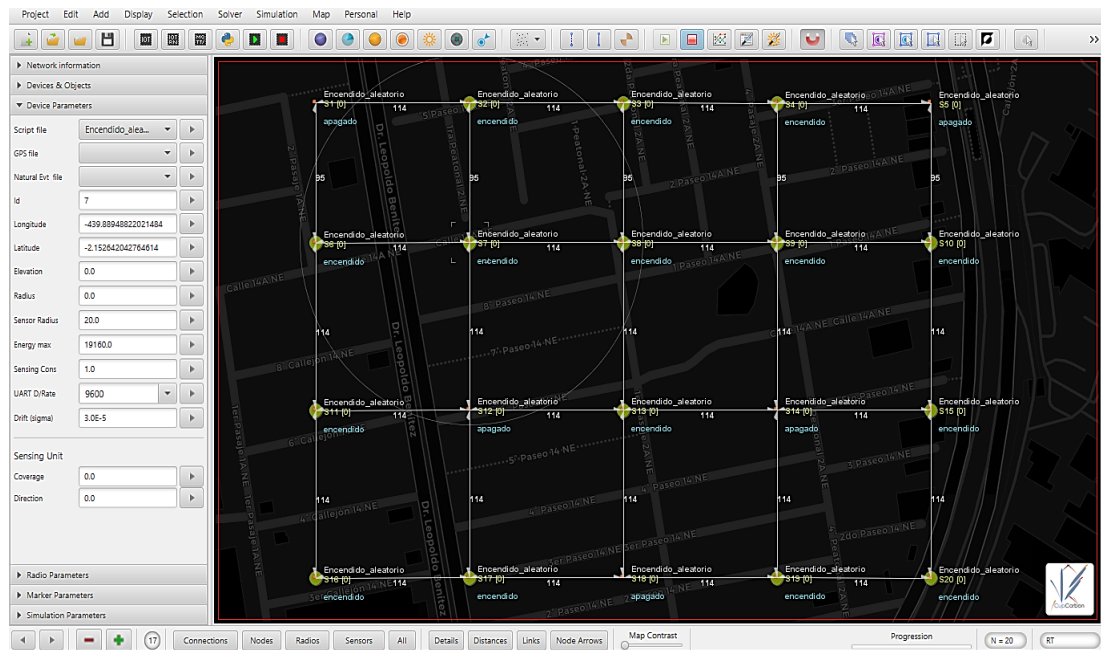




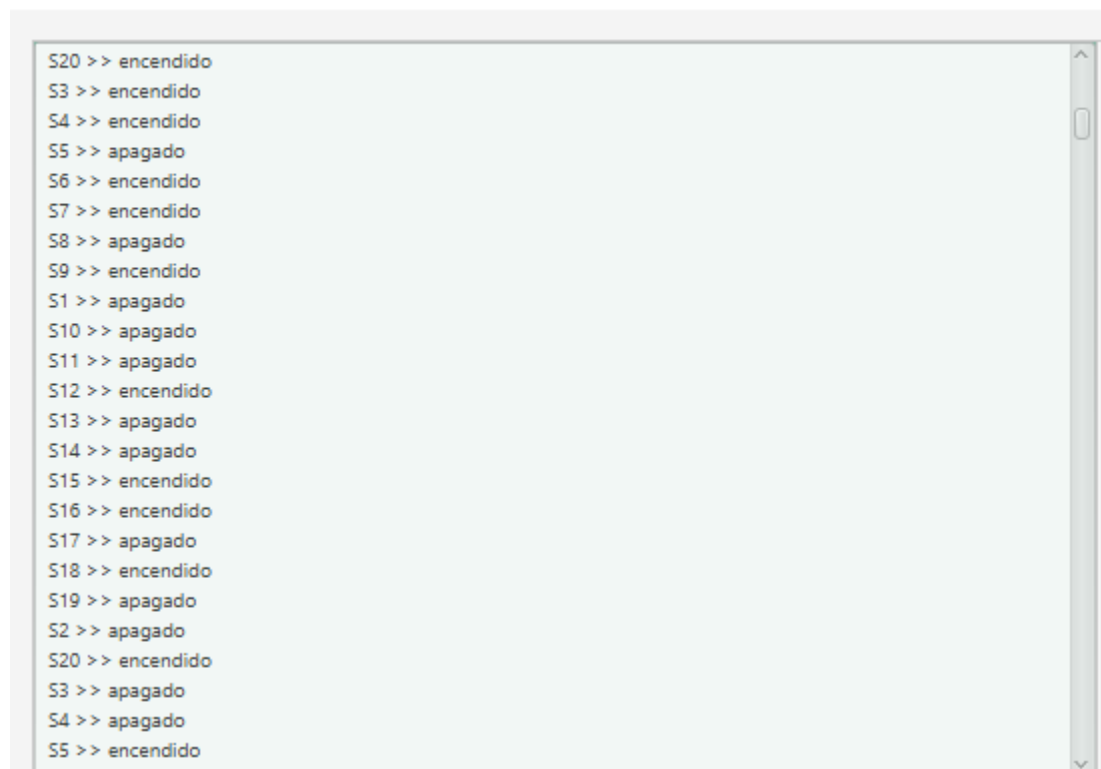
Ejercicio propuesto: Agregue más marcas y establezca diferentes tiempos de encendido y apagado.

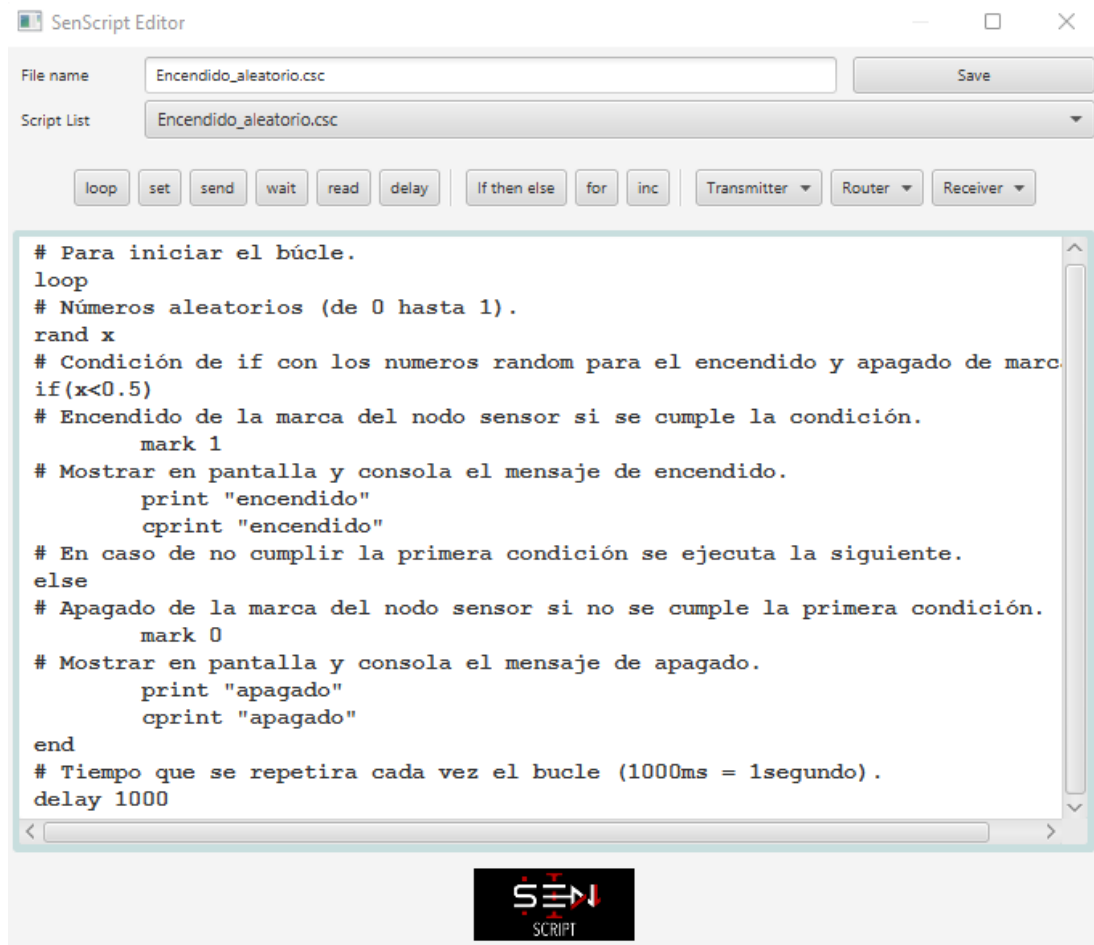
Ejercicio 4: Encendido y apagado aleatorio de marcas de 20 nodos sensores en

Cupcarbon



Console





The screenshot shows the SenScript Editor window. At the top, the title bar reads "SenScript Editor". Below it, the "File name" field contains "Encendido_aleatorio.csc" and a "Save" button is visible. The "Script List" dropdown also shows "Encendido_aleatorio.csc". A toolbar contains buttons for "loop", "set", "send", "wait", "read", "delay", "If then else", "for", "inc", "Transmitter", "Router", and "Receiver". The main text area contains the following code:

```
# Para iniciar el búcle.
loop
# Números aleatorios (de 0 hasta 1).
rand x
# Condici3n de if con los numeros random para el encendido y apagado de marc
if(x<0.5)
# Encendido de la marca del nodo sensor si se cumple la condici3n.
mark 1
# Mostrar en pantalla y consola el mensaje de encendido.
print "encendido"
cprint "encendido"
# En caso de no cumplir la primera condici3n se ejecuta la siguiente.
else
# Apagado de la marca del nodo sensor si no se cumple la primera condici3n.
mark 0
# Mostrar en pantalla y consola el mensaje de apagado.
print "apagado"
cprint "apagado"
end
# Tiempo que se repetira cada vez el bucle (1000ms = 1segundo).
delay 1000
```

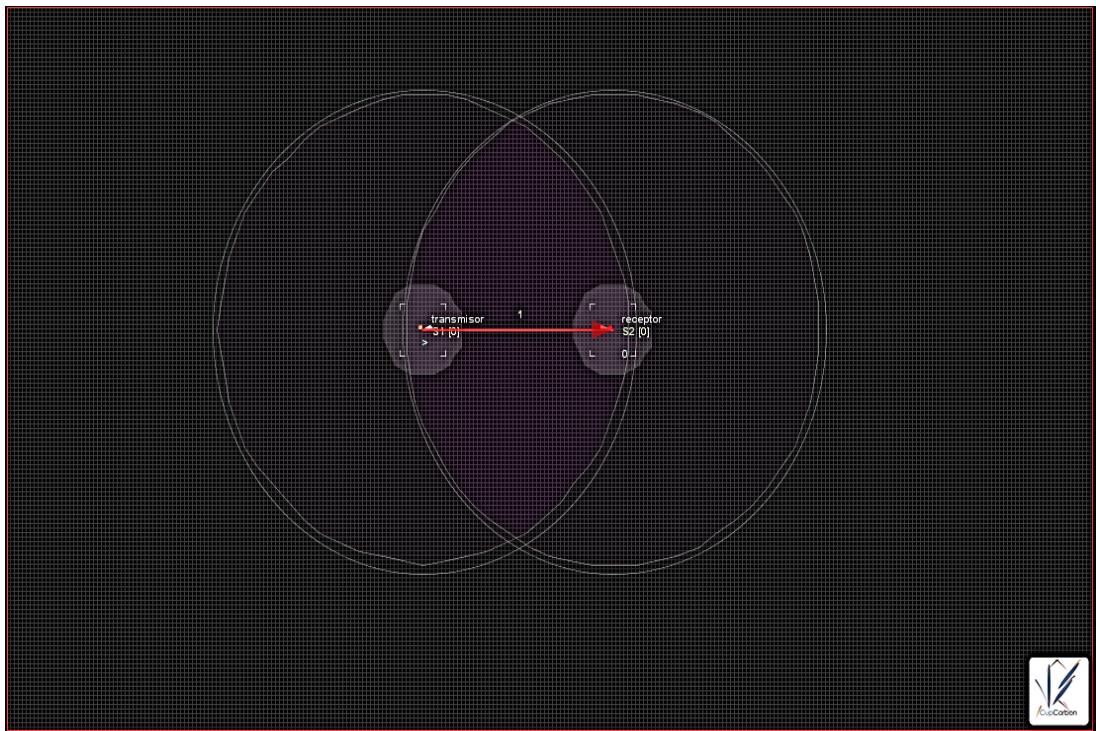
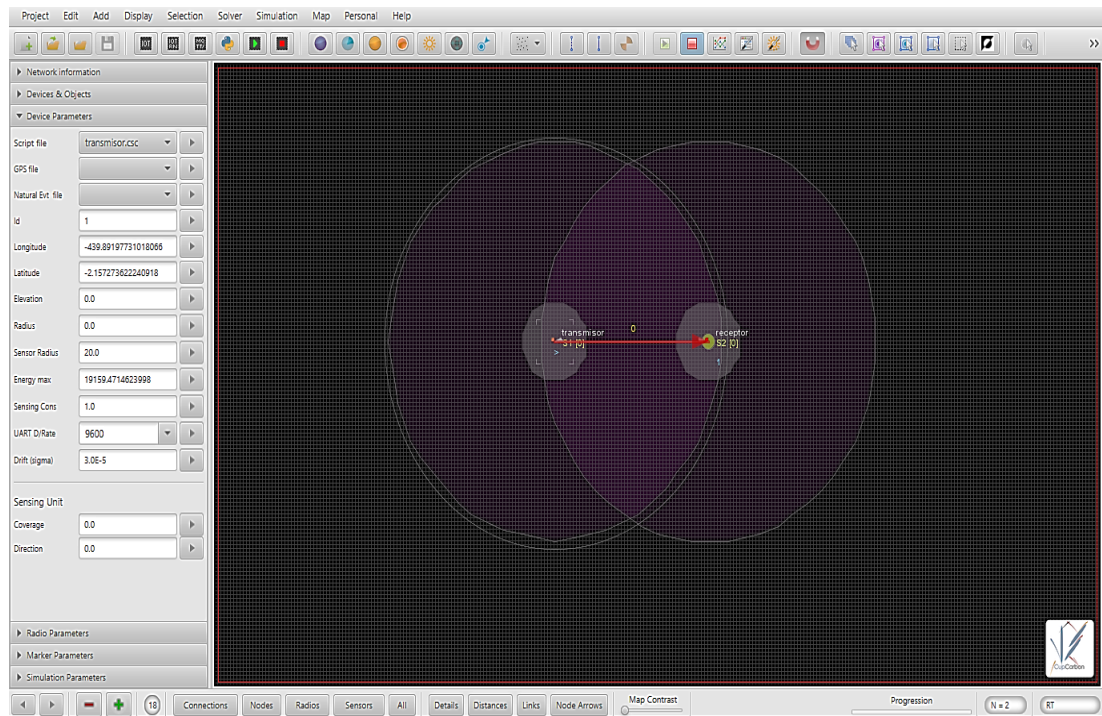
At the bottom center of the editor, there is a logo with the text "SEN SCRIPT" and a red arrow pointing right.

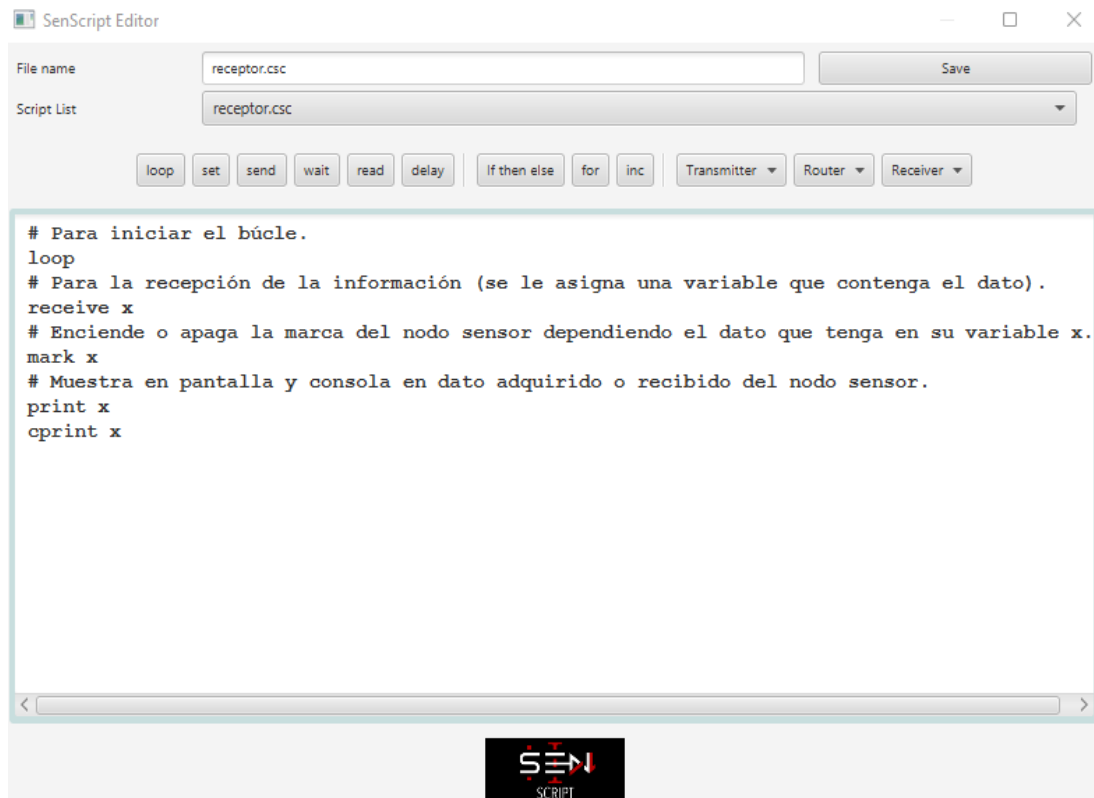
En este tercer ejercicio se usan 20 nodos sensores, los cuales son programados con el SenScript de Cupcarbon, este c3digo ejecuta valores aleatorios de 0 hasta 1, estos valores ser3n evaluados con una condici3n de if, que har3 que se enciendan o apaguen las marcas o led de cada nodo sensor de forma aleatoria y esto a su vez muestra un mensaje de encendido o apagado en la pantalla y consola del simulador.

Ejercicio propuesto: Agregue m3s marcas, establezca un valor de condici3n diferente para el encendido de las marcas y genere un rango de tiempo aleatoria de 1 a 10 segundos.

Cabe mencionar que si desea establecer un rango especifico de valores aleatorios del 1 al 20, asignado a la variable x, ya no usaremos el c3digo (rand), en su lugar se utilizar3 (reandb x 1 20).

Ejercicio 5: Envío y recepción de mensajes en Cupcarbon

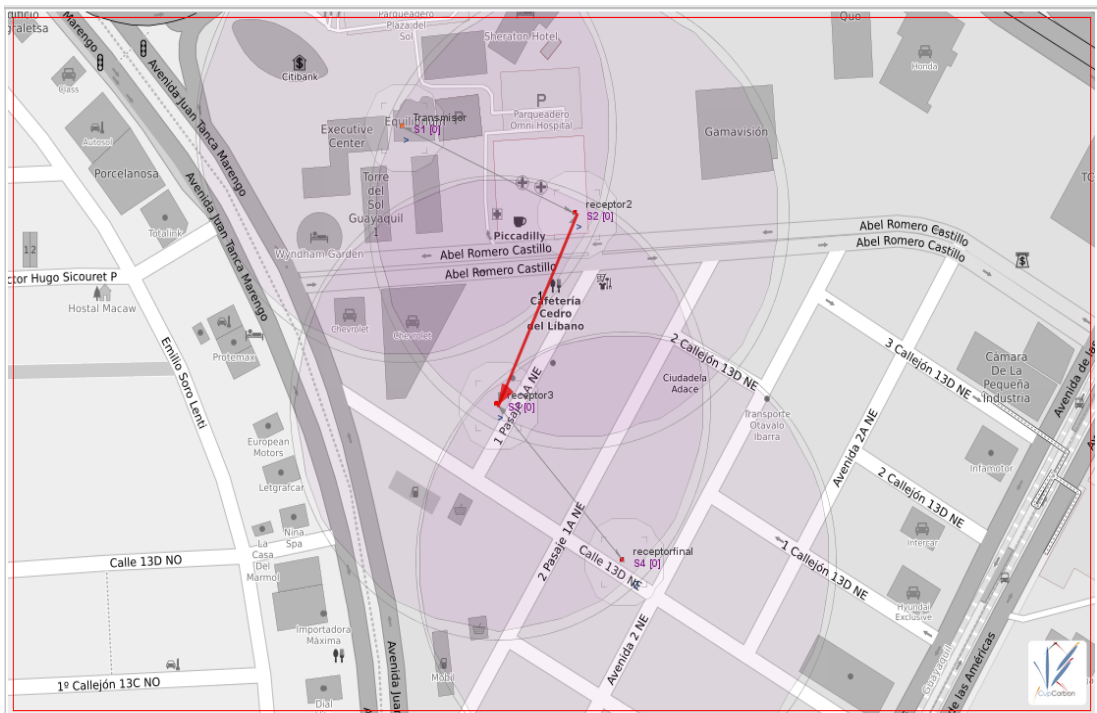
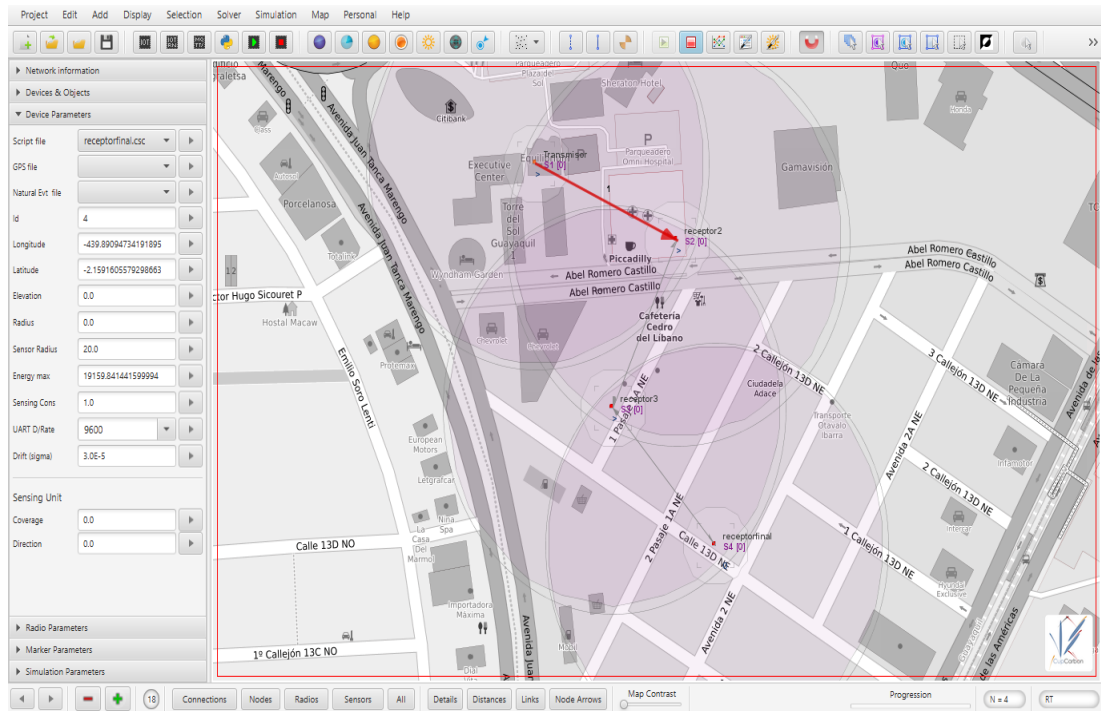


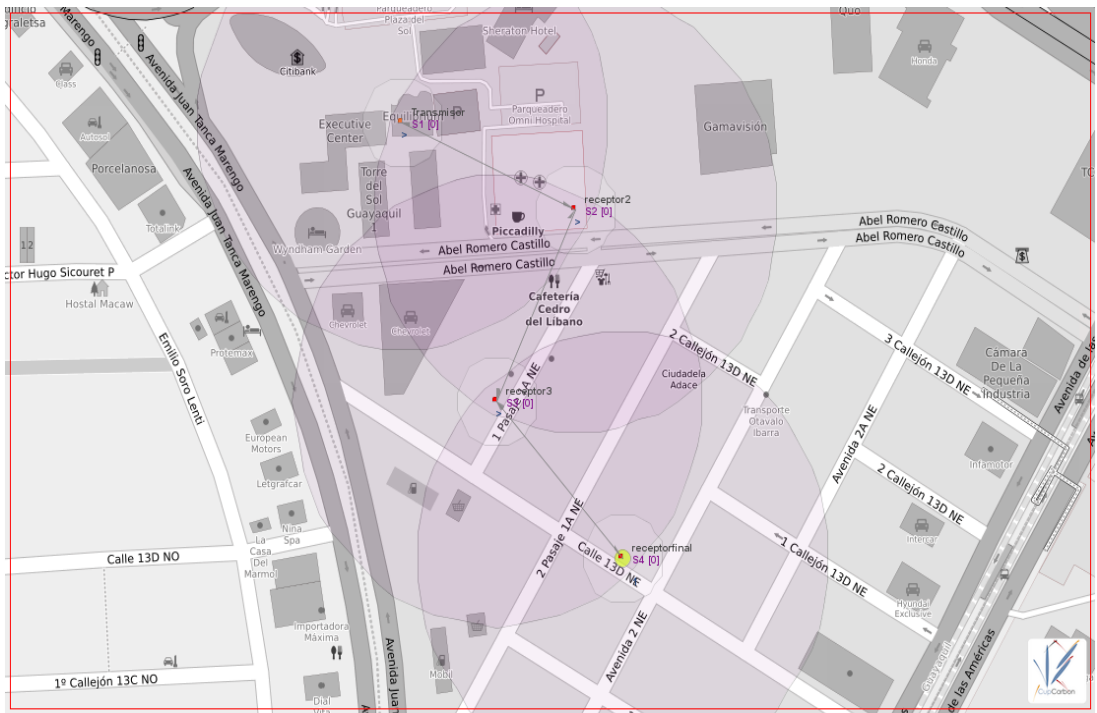
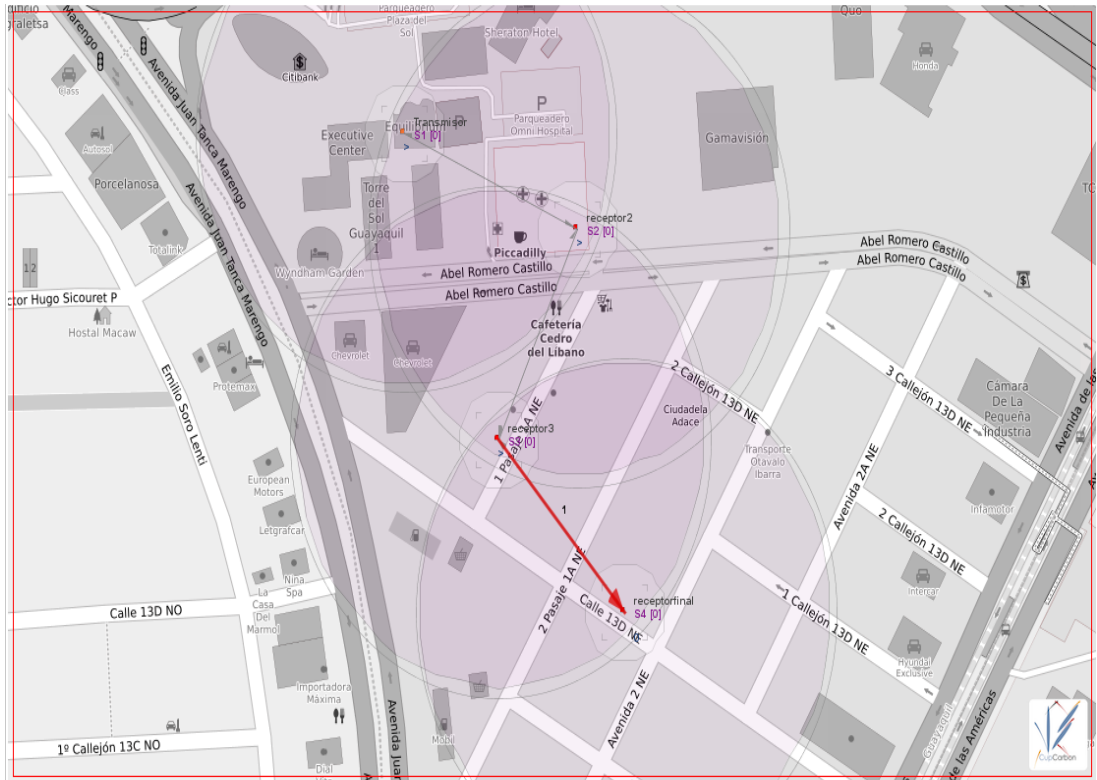


En este cuarto ejercicio se usan 2 nodos sensores, de los cuales uno es el encargado de enviar los mensajes y el otro nodo es el encargado de recibir los mensajes, ambos nodos sensores son programados con el SenScript de Cupcarbon, los mensajes que recibe el nodo sensor son el valor de 1 y 0, estos valores encienden o apagan la marca del nodo sensor y a su vez muestra en pantalla y consola del simulador dicho valor.

Ejercicio propuesto: Envié números aleatorios del 1 a 10 de un nodo sensor al otro nodo sensor respectivamente, cuya marca del nodo sensor que recibe los números, se encienda con los números mayores a 5.

Ejercicio 6: Enrutamiento de mensajes en Cupcarbon





Console

```
Mobility: false
Generate Restul File: false
Initialization ...
End of Initialization.
Start Simulation ...
S4 >> 1
S4 >> 0
S4 >> 1
S4 >> 0
S4 >> 1
S4 >> 0
S4 >> 1
S4 >> 0
S4 >> 1
S4 >> 0
S4 >> 1
S4 >> 0
S4 >> 1
S4 >> 0
S4 >> 1
S4 >> 0
Simulation stopped!

End of Simulation.
34.891 sec
Time: 14,0000 s
```


SenScript Editor

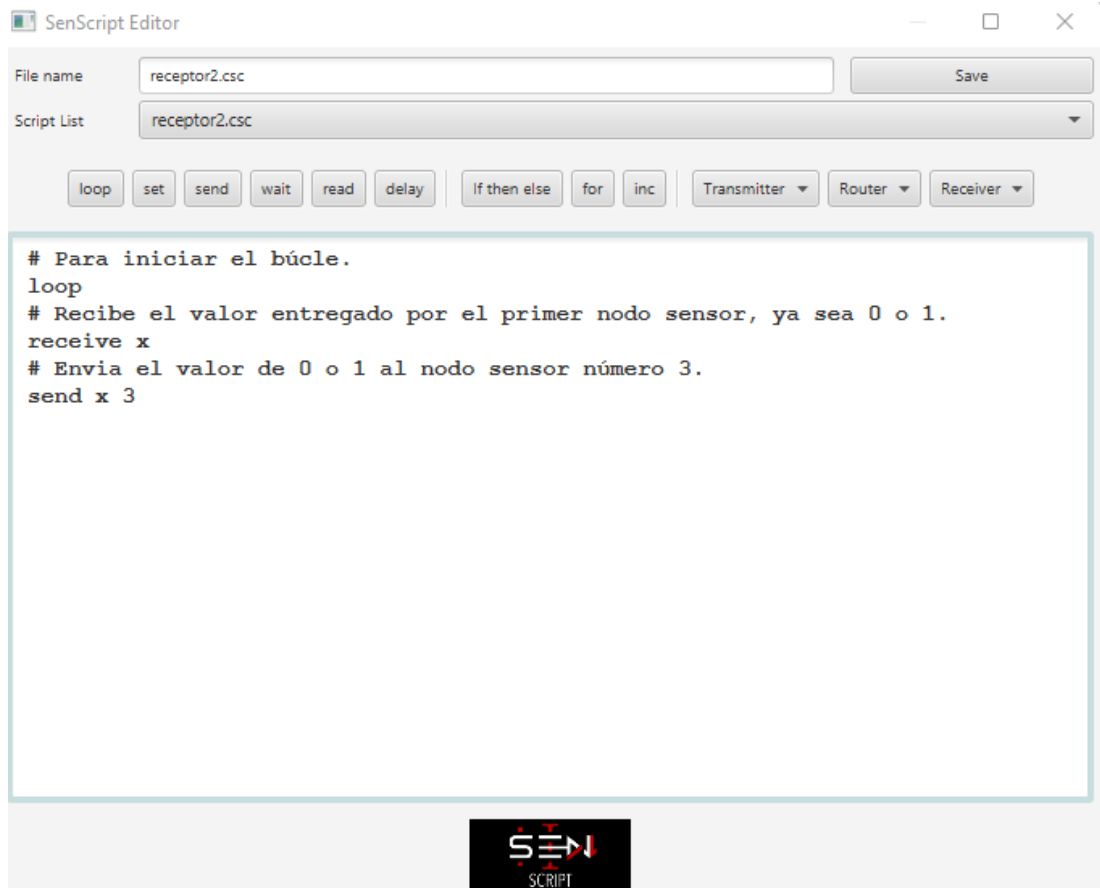
File name: Save

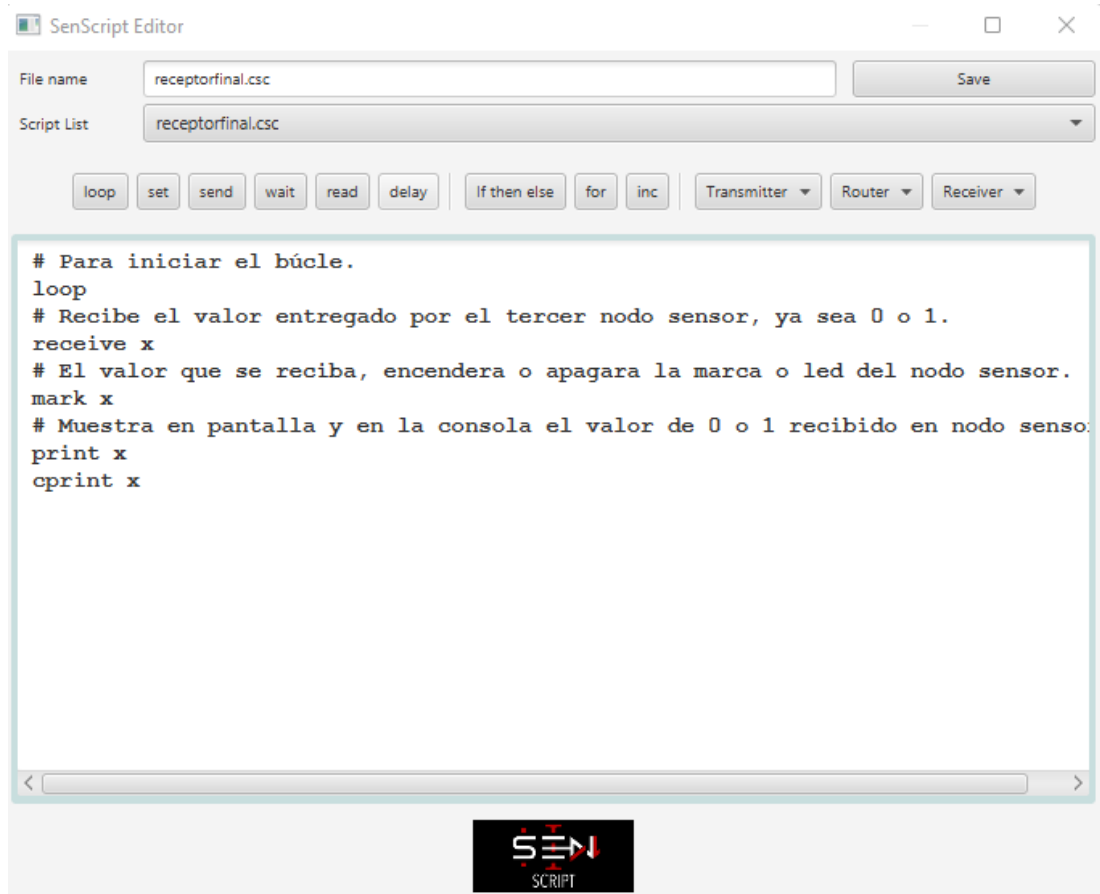
Script List:

loop set send wait read delay If then else for inc Transmitter Router Receiver

```
# Para iniciar el bucle.
loop
# Envia el valor de 1 al nodo sensor número 2.
send 1 2
# Tiempo de un segundo de demora del envio del valor de 1.
delay 1000
# Envia el valor de 0 al nodo sensor número 2.
send 0 2
# Tiempo de un segundo de demora del envio del valor de 0.
delay 1000
```

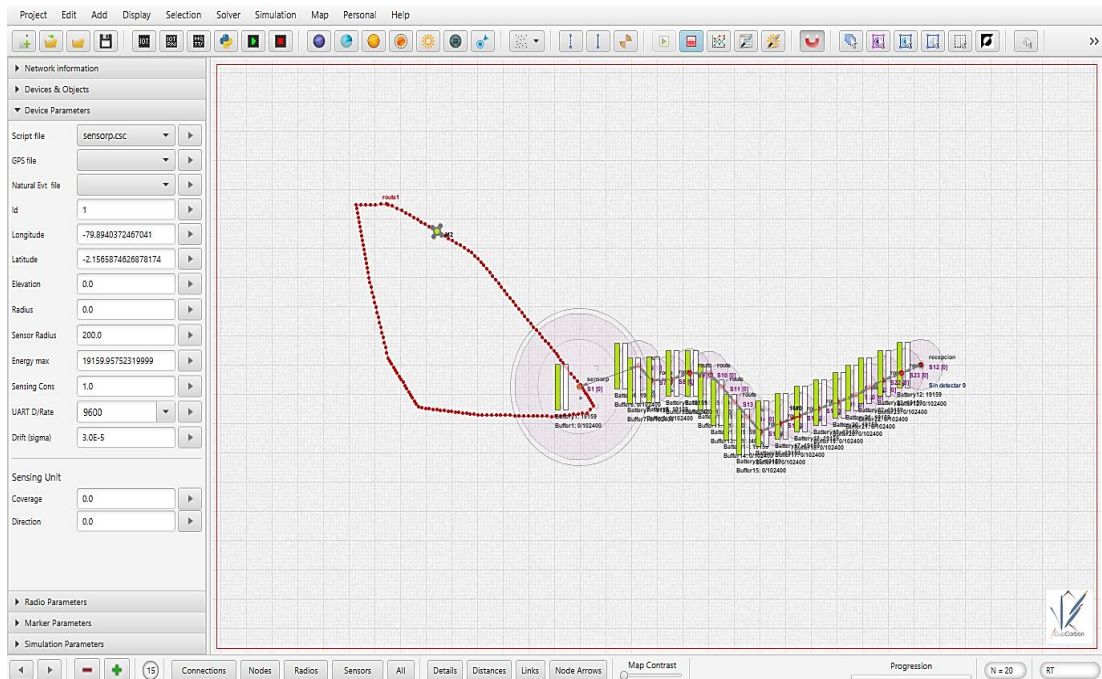






Ejercicio propuesto: Utilice 8 nodos sensores y envié valores aleatorios del 5 al 100, cuya marca del último nodo sensor se encienda con valores menores a 35 y su tiempo varie de forma aleatorio entre un rango de 1 a 5 segundos.

Ejercicio 7: Envío y recepción de mensajes en CupCarbon



Console

```
Mobility: true
Generate Restul File: true
Initialization ...
End of Initialization.
Start Simulation ...
Simulation stopped!

End of Simulation.
40.063 sec
Time: 79.0479 s
Number of SENT messages: 1396.0 [5188.0]
Number of RECEIVED messages: 1392.0 [5174.0]
Number of SENT & RECEIVED messages: 2788.0 [10362.0]
Number of ACK messages: 0.0 [0.0]
Number of LOST messages: 0.0 [0.0]
Number of Marked Sensors: 1
```

SenScript Editor

File name: Save

Script List:

loop set send wait read delay If then else for inc Transmitter Router Receiver

```
# Identificador del nodo sensor.
atget id id
# Para iniciar el bucle.
loop
# El sensor digital detecta un evento (un nodo móvil)
dreadsensor x
data message id x
# Envio del mensaje
send message
# Tiempo que se repetira cada vez el bucle (1000ms=1segundo)
delay 1000
```




SenScript Editor

File name: route.csc Save

Script List: route.csc

loop set send wait read delay If then else for inc Transmitter Router Receiver

```
# Identificador del nodo sensor.
atget id id
# Para iniciar el bucle.
loop
# Recepcin del mensaje.
receive message
rdata message rid x
data message2 id x
# Envio del mensaje.
send message2 * rid
```




SenScript Editor

File name: recepcion.csc Save

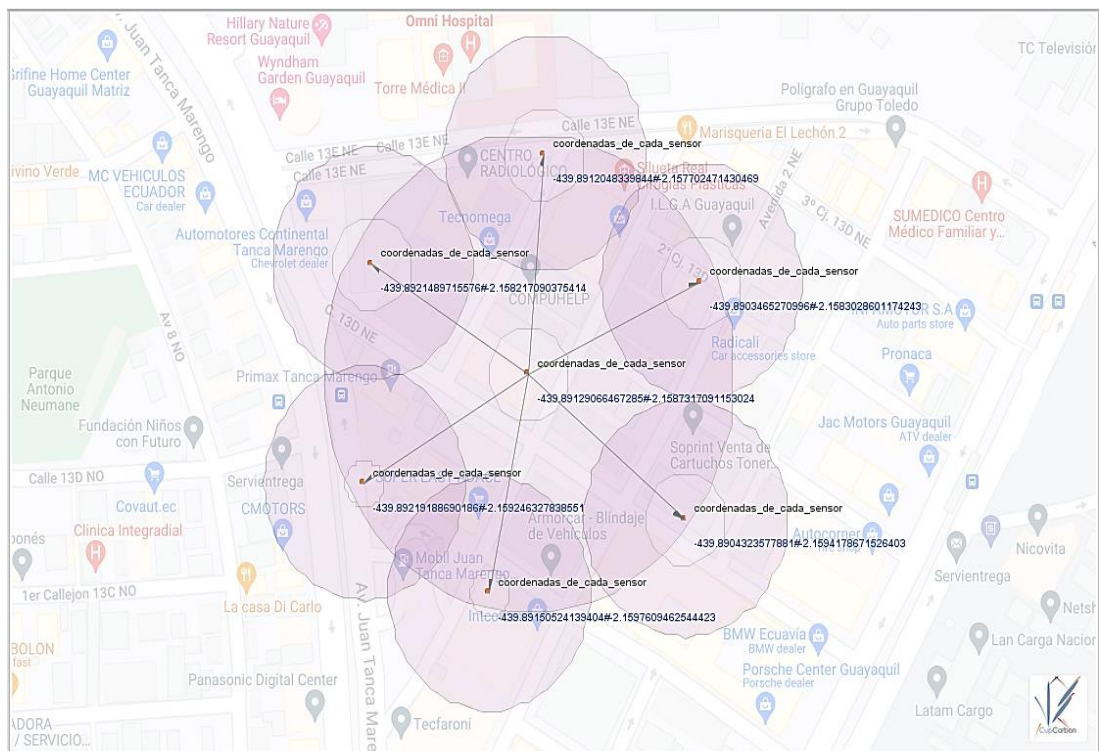
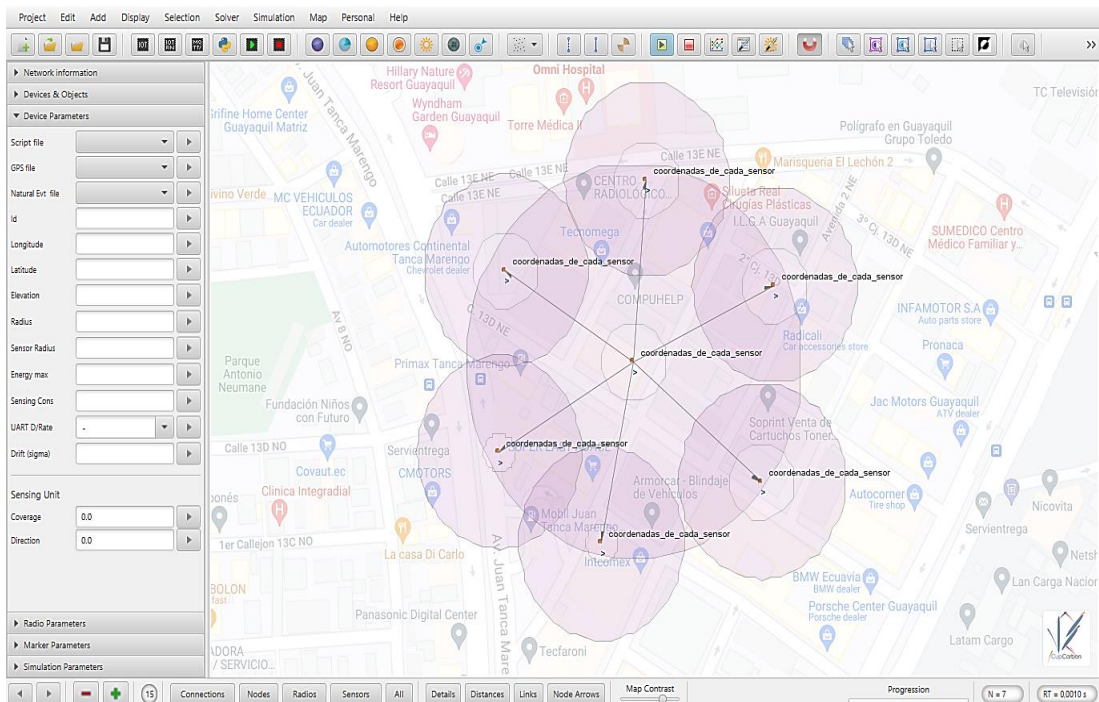
Script List: recepcion.csc

loop set send wait read delay If then else for inc Transmitter Router Receiver

```
# Para iniciar el bucle.
loop
# Recepción del mensaje.
receive message
rdata message rid x
# Condición de if con el valor de 1 y 0 para el encendido o apagado de marca.
if(x==1)
# Mostrar en pantalla el mensaje de detectado.
print "Detectado" x
# Encendido de la marca del nodo sensor si se cumple la condición.
mark 1
else
# Mostrar en pantalla el mensaje de sin detectar.
print "Sin detectar" x
# Apagado de la marca del nodo sensor si no se cumple la condición.
mark 0
end
```



Ejercicio 8: Mostrado de coordenadas de cada nodo sensor en Cupcarbon



Console

```
Mobility: false
Generate Restul File: false
Initialization ...
End of Initialization.
Start Simulation ...
S1 >> -439.89129066467285#-2.1587317091153024
S2 >> -439.8921489715576#-2.158217090375414
S3 >> -439.8912048339844#-2.157702471430469
S4 >> -439.8903465270996#-2.1583028601174243
S5 >> -439.8904323577881#-2.1594178671526403
S6 >> -439.89150524139404#-2.1597609462544423
S8 >> -439.89219188690186#-2.159246327838551
Infinite Times!

End of Simulation.
0.002 sec
Time: 0,0000 s
Number of SENT messages: 0.0 [0.0]
Number of RECEIVED messages: 0.0 [0.0]
Number of SENT & RECEIVED messages: 0.0 [0.0]
Number of ACK messages: 0.0 [0.0]
Number of LOST messages: 0.0 [0.0]
Number of Marked Sensors: 0
```

SenScript Editor

File name: Save

Script List: ▼

loop set send wait read delay If then else for inc Transmitter Router Receiver

```
# Para iniciar el bñcle.
loop
# Permite obtener la coordenadas (latitud y longitud) del nodo sensor.
getpos x
# Muestra en la pantalla y consola la coordenadas del nodo sensor.
println x
cprint x
# Para detener el bñcle.
stop
```





Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Navarrete Millán, Rubén Darío** con C.C: 0952073807 autor del Trabajo de Integración Curricular: **Diseño y simulación de alumbrado público inteligente utilizando Cupcarbon**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Electrónica y Automatización** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de integración curricular para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de integración curricular, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 3 de marzo del 2022

Navarrete Millán, Rubén Darío

C.C: 0952073807



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Diseño y simulación de alumbrado público inteligente utilizando Cupcarbon	
AUTOR(ES)	Navarrete Millán, Rubén Darío	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Philco Asqui, Luis Orlando	
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo	
CARRERA:	Ingeniería Electrónica y Automatización	
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniería Electrónica y Automatización	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	3 de marzo del 2022	No. DE PÁGINAS: 64
ÁREAS TEMÁTICAS:	Internet de las cosas, comunicaciones inalámbricas.	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Ciudades Inteligentes, Cupcarbon, Iluminarias Inteligentes, Internet De Las Cosas, Sensores.	
<p>El presente trabajo de integración curricular aporta con una propuesta de algoritmo para la eficiencia del consumo de energía para el alumbrado público en un escenario de ciudad inteligente, que permite supervisar y controlar el nivel de luminosidad del alumbrado público en el tráfico de vehículos en las ciudades. El objetivo principal contempla el diseño y evaluación de un sistema de alumbrado público inteligente mediante el uso de un simulador de eventos discretos, llamado CupCarbon, el cual es utilizado en el ámbito científico y académico. La metodología por usar es la descriptiva para detallar el despliegue del Iot donde se despliegan los nodos sensores para monitorear diversas variables de interés. Se emplea la metodología analítica para el diseño y propuesta de algoritmos que permita analizar la cobertura y comunicación de nodos sensores presentes en alumbrado público. Finalmente se empleó la metodología empírica por el manejo de un simulador de eventos discretos.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-979518101	E-mail: rnavarrete185@gmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando	
	Teléfono: +593-9-67608298	
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		