

# Análisis de Propuestas Enfocadas en *Smart Cities* para el Desarrollo Sostenible en Movilidad y Energía del Municipio de Rionegro Enfocadas en los 3 Pilares de la Norma Técnica ISO 14001:2015

Luis Felipe González Henao<sup>1</sup>, Juan Pablo Botero<sup>1,2</sup>, David Alejandro Granados Morales<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Católica de Oriente, Rionegro - Antioquia

<sup>2</sup> Empresa de Seguridad del Oriente S.A ESP, Rionegro-Antioquia

---

## Resumen

El objetivo principal de este artículo de investigación es analizar propuestas enfocadas en Smart Cities para el desarrollo sostenible en movilidad y energía del municipio de Rionegro enfocadas en los 3 pilares de la norma técnica ISO 14001. Primero, se realizó una búsqueda bibliográfica de ciudades con modelos de desarrollo sostenible en temas de movilidad y energía con el fin de tener un acercamiento a las características de sus modelos empleados en estos temas. Luego, se desagregó la estructura de componentes de cada modelo encontrado para conocer su comportamiento y las condiciones de su implementación. Finalmente, se analizaron los factores de movilidad y energía en el municipio de Rionegro con el fin de hacer una interrelación con los modelos investigados para concluir qué propuestas aplicarían a su contexto. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se relacionaron los modelos aplicables para combatir el crecimiento desmesurado en el parque automotor y por ende los embotellamientos que se presentan en las calles, un sistema de transporte público eficiente, el consumo energético del municipio y la contaminación del medio ambiente. Con el objeto del proyecto se concluyó que los principales modelos que ayudan a mitigar la problemática anterior se basan en sistemas de transporte públicos integrados de gran cobertura, servicio gratuito de vehículos no motorizados como bicicletas, control del tráfico eficiente e inteligente y proyectos de energías alternativas.

## 1. Introducción

Recientemente el municipio de Rionegro ha tenido un crecimiento urbano desmesurado, donde cada vez se construyen más urbanizaciones y edificios que sobrepasan los 10 pisos de altura. Sin embargo, no se está teniendo en cuenta los efectos negativos que esto trae al medio ambiente. La consecuencia más significativa con el crecimiento inmobiliario es que se ha incrementado el número de habitantes, lo cual directamente aumenta el parque automotor, el servicio de transporte público, la capacidad de la infraestructura vial, la necesidad de

movilizarse, el consumo de energía y la contaminación del aire. Para ejemplificar mejor lo anterior, es notoria la enorme cantidad de automóviles que están transitando, los nuevos embotellamientos que se presentan en las calles, los cambios repentinos en el clima, la contaminación del aire y el gran consumo energético por activos municipales como lo son semáforos y alumbrado público.

Rionegro ha tenido un crecimiento considerable en el parque automotor; en los años 2016, 2017 y 2018 el municipio contaba con 112.772, 118.409 y 123.908 respectivamente; a esto no solo se le atribuye los embotellamientos y los 1.654 accidentes de tránsito en el año 2018, sino también el impacto ambiental que esto trae. Rionegro es el municipio del Oriente Antioqueño que más consume combustible y genera emisiones contaminantes, en dióxido de carbono aporta un 78%, en monóxido de Carbono (CO) genera un 97%, en Óxidos de Nitrógeno un 98%; el parque automotor contribuye al material particulado PM-10 con 82% y metano 98% [1]. Consecuentemente, la temperatura promedio del municipio en el casco urbano para el 2017 fue 16,7°C reportando una mínima de 16,6°C y una máxima de 18,2°C; aunque el comportamiento de la temperatura ha sido relativamente estable, se han observado cambios repentinos en el clima y la temperatura [1].

La norma técnica ISO 14001:2015 [2] enmarca la sostenibilidad en 3 pilares fundamentales, social, ambiental y económico; teniendo en cuenta lo anterior, Rionegro hace referencia sobre el pilar ambiental en desarrollar una ciudad con el aprovechamiento y la administración de las fuentes ambientales para beneficiar a todas las personas; no obstante, las operaciones que se realizan y el incremento desmesurado de la población han ocasionado impactos significativos en el territorio como lo son la generación de gases invernaderos y el cambio climático. Lo anterior debe ser una prioridad para la construcción de planes de ordenamiento territorial con el fin de mitigar la vulnerabilidad por medio de mecanismos de adaptación y administración de los servicios públicos para asegurar un mejor bienestar y aumentar la calidad de vida de los habitantes. Las administraciones tienen el compromiso de tomar acciones que se refieran a superar desafíos que presenta el territorio en su ordenamiento para proteger la población y aumentar el progreso de la región de manera sostenible y armónica con su entorno. Seguidamente, el pilar social y económico señalan que ante el crecimiento poblacional del municipio influyen dos fuertes hechos: el primero es la dinámica natural de la demografía y el segundo la migración. Los retos para la movilidad se direccionan en encontrar una distribución espacial equilibrada de actividades, servicios, personas y operación de diferentes sistemas de transporte; dependiendo de las soluciones a estos retos, se posibilitan relaciones económicas y se mejoran las condiciones de habitar en condiciones más sostenibles. La movilidad debe garantizar un ambiente saludable y funcional que permita sostener los recursos; se deben identificar posibles soluciones de transporte masivo, fomentar la movilidad no motorizada y desincentivar el transporte en vehículo particular para lograr un desarrollo sostenible que brinde bienestar económico y minimice el impacto ambiental [3].

Actualmente, la ecología política y las estrategias de aprovechamiento de la naturaleza sostienen que parte de los problemas ambientales se deben a los métodos de desarrollo para la sustentabilidad; teniendo en cuenta la huella que asocia el desarrollo sostenible al crecimiento económico se genera progreso social y político.

La disponibilidad de enormes recursos naturales no ha sido sinónimo de desarrollo en América Latina. Por el contrario, aumentaron la inequidad, la pobreza y los impactos ambientales. La ideología del progreso enmarca a la naturaleza como un recurso que se debe aprovechar de manera que se conserve y sea útil. Además, el desarrollo sostenible requiere tanto de una sociedad civil comprometida como de una participación activa del Estado, donde se busque el equilibrio entre ecología, economía y sociedad. [4]

Un estudio de la planificación de la movilidad sostenible en España [5] dice que se ha contado con una estructura coordinada a partir de estrategias territoriales, energéticas y de transporte en todos los ámbitos. En este sentido, la estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética se materializó en el ámbito local mediante un instrumento adecuado para reducir el consumo energético generado por la movilidad urbana.

En 1994 se celebró la Conferencia Europea sobre Ciudades Sostenibles donde se firmó la Carta de Aalborg, Dinamarca, en ella se afirmaba que las ciudades se comprometían a participar en iniciativas orientadas al desarrollo sostenible. El punto 1.9 de la Carta señalaba que "es imprescindible para una ciudad reducir la movilidad forzada y dejar de fomentar el uso innecesario de los vehículos motorizados y se dará prioridad a los medios de transporte respetuosos con el medio ambiente" [5]

Ahora, referente al tema de energías se tiene que durante los últimos años se ha incrementado la presencia de energías renovables; la causa de esto no solo se encuentra en la creciente preocupación de la sociedad por el medioambiente y el cambio climático sino también en la aparición de un negocio rentable que contribuye al desarrollo sostenible de la sociedad en todos sus pilares: económica, social y medioambiental. Las energías renovables contribuyen notablemente al desarrollo social en un conjunto de aspectos medioambientales y socioeconómicos. [6]

Teniendo en cuenta lo anterior, el municipio de Rionegro tiene políticas públicas establecidas para fomentar el desarrollo sostenible en las cuales se promueva el desarrollo de una ciudad inteligente con aspectos fuertes en movilidad y energía sin comprometer los recursos naturales para las generaciones futuras, velando por el cuidado del medio ambiente, el valor social y el valor económico. Esta investigación tiene como objetivo principal analizar propuestas enfocadas en *Smart Cities* para el desarrollo sostenible en movilidad y energía en el municipio de Rionegro basadas en los 3 pilares de la norma técnica ISO 14001 (Ambiental, Social, Económico).

## **2. Materiales y métodos**

Inicialmente, se realizó una investigación de ciudades con modelos de desarrollo sostenible en temas de movilidad y energía que permitan conocer las características de sus modelos utilizando fuentes secundarias como estudios previos, artículos científicos, directorios y libros. Luego, se analizó la estructura de los diferentes modelos encontrados mediante un proceso de desagregación de sus componentes, las características para su implementación y

su interrelación para promover la movilidad y energía sostenible. Finalmente, se identificó la situación actual de las características que posee el municipio de Rionegro en temas de movilidad y energía sostenible con el fin de determinar qué modelos investigados pueden ser aplicadas al municipio de Rionegro.

### 3. Resultados y análisis

#### 3.1 Modelos de desarrollo sostenible en movilidad y energía

En la figura 1. se muestra el modelo de movilidad sostenible para la ciudad de Singapur, la cual posee una movilidad moderna que opera mediante varios sistemas para promover la movilidad sostenible. Uno de es el Sistema Inteligente de Transporte, el cual es un sistema que gestiona el movimiento del tráfico en tiempo real por medio de cámaras, sensores y dispositivos electrónicos con el fin de establecer un Sistema de Transporte Rápido y así brindar interconectividad nacional eficiente y rápida. Las principales características para este sistema es una alta conexión a internet, infraestructura pública con buenas condiciones para instalación de cámaras, sensores y dispositivos electrónicos, sistema de transporte tecnológico y un centro de operaciones con alta tecnología [7]. Otro componente importante de la movilidad sostenible en esta ciudad es la movilidad con vehículos eléctricos, la cual facilita la reducción de los niveles de polución, ofreciendo mejor eficiencia energética y costos más bajos de energía, las principales características que tiene este componente para su uso son disponer de estaciones de carga eléctrica en sitios públicos o sitios residenciales y tener una topografía plana en su espacio de uso [8]. Esta ciudad también posee vehículos autónomos, los cuales brindan el servicio de transporte colectivo desde determinadas estaciones. Este sistema avanzado utiliza la aplicación SimMobility (Modelo Integrado de suministro y demanda basado en agentes) con el fin que se pueda anticipar la demanda para reducir tiempos de espera y asegurar vehículos disponibles en cada zona, sus principales características son una alta conexión a internet, estaciones de acopio para el servicio de vehículos autónomos, una aplicación móvil para dispositivos electrónicos con sistema de inteligencia artificial para estudio de demanda y oferta [8].

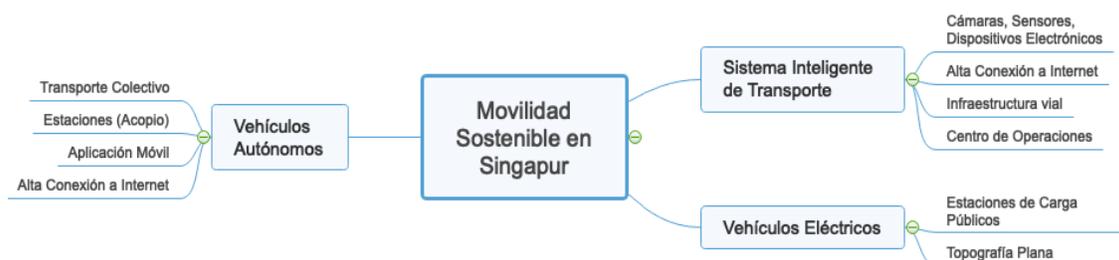


Figura 1. Modelo de movilidad sostenible en Singapur

La figura 2. muestra el modelo de movilidad sostenible en el tema de transporte público integrado para la ciudad de Seúl, donde se opera con características enfocadas a la alta tecnología y rapidez de la información. Esta ciudad brinda movilidad sostenible por medio de un Sistema de Transporte Público Inteligente, el cual integra el centro de la ciudad con todos los alrededores y garantiza un desplazamiento rápido, seguro, accesible y asequible a toda la población, este sistema está compuesto por varias alternativas como lo son bicicletas, tren, taxis y buses [9]. Las principales características que este sistema tiene son redes de transporte público con alta cobertura, sistema de integración de los diferentes medios de

transporte, infraestructura adecuada para la movilidad, estaciones adaptadas para el uso de medios no motorizados. El Sistema de Información de Buses, recolecta información de la localización de los buses en tiempo real y la actualiza en las pantallas que se encuentran en las estaciones, también, dispone de una aplicación móvil, la cual es operada desde un centro de monitoreo, en la que muestra información de los horarios, rutas, localización y tarifas con el fin de brindar correcta información a sus usuarios. Las principales características de este sistema se basan en la operación desde un centro de monitoreo, alta conexión a internet, estaciones de servicio adecuadas con pantallas e información de horario de buses y una aplicación móvil. [10] Dentro de este Sistema de Transporte Público Inteligente se cuenta con Pago Automático de Tarifas, el cual integra todos los servicios (Bus, Tren, Taxis, Bicicletas) en una sola tarjeta electrónica que permite utilizar cualquier medio y efectuar el pago con el saldo disponible. Este sistema tiene características como estaciones de método de recarga en puntos estratégicos de la ciudad y adecuación de pago con esta tarjeta en el servicio [10].

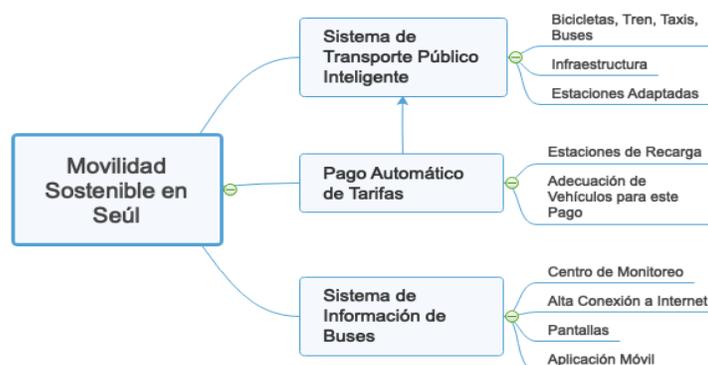


Figura 2. Modelo de movilidad sostenible en Seúl (Transporte Público Integrado)

Adicionalmente, la figura 3. muestra el modelo de movilidad sostenible para la gestión del tráfico, este modelo cuenta con un Sistema de Gestión del Tráfico en Autopistas, el cual recolecta información de las situaciones y eventos que se presentan con el fin de monitorear y actualizar información en tiempo real en las pantallas electrónicas de los conductores, las pantallas en las autopistas y las aplicaciones móviles. Las características más importantes para este sistema son una alta conexión a internet, instalación de cámaras en autopistas de alto flujo e instalación de pantallas en las autopistas [10]. Respecto a la vigilancia del tráfico, la ciudad cuenta con un Sistema Automático de Control del Tráfico, el cual utiliza sensores y cámaras en las calles para regular y controlar las infracciones de los conductores. Estas infracciones son enviadas a un centro de información del tráfico y automáticamente carga la infracción al conductor. Este sistema tiene características como la instalación de cámaras y sensores en las calles y autopistas, alta conexión a internet, un centro de control de infracciones o centro de información del tráfico, acceso a información de todos los conductores y vehículos que transitan [10].

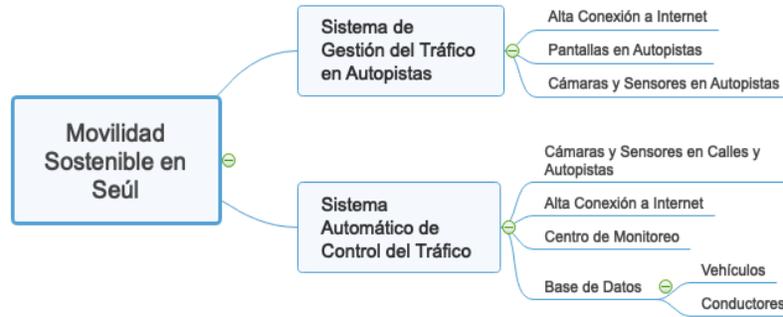


Figura 3. Modelo de movilidad sostenible en Seúl (Gestión del Tráfico)

La figura 4. muestra el modelo de movilidad sostenible para la ciudad de Medellín, la cual es una de las ciudades referentes en temas de movilidad sostenible para latinoamérica. Actualmente, tiene un Sistema de Transporte Público Integrado moderno y sofisticado, el cual está compuesto por redes integradas de metro, metrocable y metroplús (Buses eléctricos). Así mismo, tiene un programa de servicio gratuito de bicicletas con estaciones por gran parte de la ciudad que se integra con este sistema. Otra iniciativa es el “Pico y Placa”, el cual permite reducir y controlar los niveles de polución con la restricción de la movilidad de vehículos motorizados a combustión interna en días específicos y horas establecidas [11]. Este modelo tiene como principales características buena infraestructura en vías, integración de sistemas de transporte público, adquisición de vehículos públicos eléctricos (buses), estaciones adaptadas para préstamo de bicicletas.

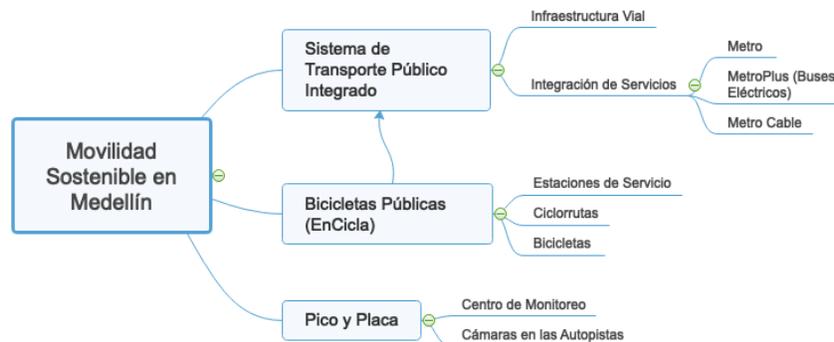


Figura 4. Modelo de movilidad sostenible en Medellín

Durante los últimos años, la ciudad de París ha tenido un gran cambio en infraestructura para fomentar la movilidad sostenible y combatir el cambio climático. Implementando una iniciativa llamada “Una ciudad de 15 minutos”, la cual pretende reducir el uso del vehículo particular para convertirse en una ciudad donde todas las necesidades estén dentro de un radio de 15 minutos a pie o medios no motorizados. Las principales características de esta iniciativa son la adecuación de la infraestructura vial para privilegiar los peatones y los vehículos no motorizados [12].

La figura 5. muestra el modelo de movilidad sostenible para la ciudad de Barcelona, donde se tiene gran tecnología para gestionar la movilidad y aporta a la sostenibilidad por medio de iniciativas que fomentan el uso de los medios no motorizados. Por gran parte de la ciudad se encuentran semáforos inteligentes, los cuales regulan el flujo vehicular por medio de cámaras,

controlando el tráfico de acuerdo a los eventos y situaciones en las vías, estos semáforos tienen la capacidad de autodeterminar el tiempo necesario para retener el tráfico en los cruces. Las principales características de esta red semafórica son la adecuación de los cruces para la instalación de los semáforos y las cámaras, alta conexión a internet y un centro de monitoreo que controla su operación [13]. También, tiene un Sistema Inteligente de Parqueo que muestra a los conductores espacios de parqueo disponibles en la ciudad por medio de pantallas y una aplicación móvil, sus principales características son la integración de los espacios de parqueo en una aplicación móvil, instalación de sensores en todos los espacios de parqueo, alta conexión a internet y pantallas en zonas de parqueo [13]. Otro sistema que aporta a la movilidad sostenible en esta ciudad es un programa Biking o Bicing, el cual brinda servicio de bicicletas públicas para realizar viajes alrededor de la ciudad y cuenta con más de 6.000 bicicletas. Para hacerse usuario de este programa solo se debe inscribir en la página y automáticamente se envía la tarjeta a las casas de los usuarios. Las principales características de este programa es la adecuación de la infraestructura vial para el tránsito de bicicletas, estaciones de parqueo o servicio, una página web y el servicio de entrega de tarjeta miembro [14].

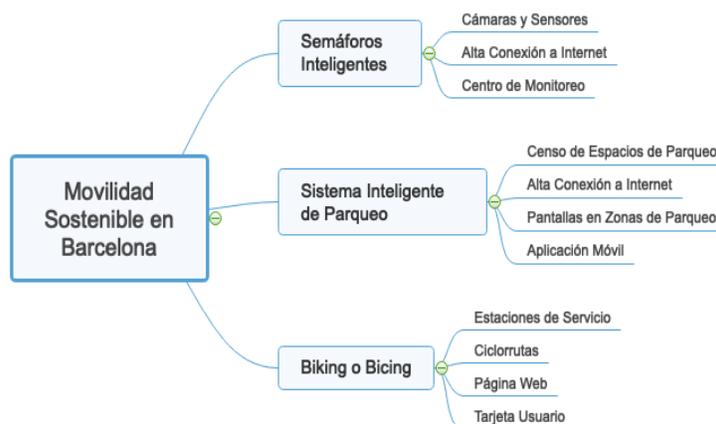


Figura 5. Modelo de movilidad sostenible en Barcelona

Otros modelos que aportan a la movilidad sostenible están enfocados en promover la movilidad compartida y colectiva con el fin de maximizar el porcentaje de ocupación de un vehículo. Implementar Sistemas de Parqueo Verde que privilegien el uso de medios no motorizados o autos compartidos, conceder ayudas económicas para el uso del transporte público, bicicleta o caminar, adquirir vehículos híbridos o eléctricos cuando se requiera cambiar de auto [15].

Por último, los vehículos eléctricos son una gran propuesta para combatir la generación de emisiones contaminantes por parte de los vehículos a combustión interna y durante los últimos años este parque automotor ha tenido un crecimiento considerable por lo que se espera que en los próximos años se tenga un gran avance. Para que se brinde buen servicio de carga se deben construir estaciones de carga inteligente, las cuales son lugares adaptados en espacios públicos que brindan el servicio de carga eléctrica para este tipo de vehículos. Estas estaciones están integradas con tecnologías como la captación de energía solar para ofrecer el servicio de forma sostenible [16].

En temas de energía sostenible existen varios modelos que se aprovechan de diferentes fuentes de generación, entre ellas se encuentra la energía eólica, la cual aprovecha la energía cinética del viento y la convierte en energía eléctrica por medio de una aeroturbina, este tipo de generación se debe emplear en espacios abiertos donde se generan vientos que logren diferentes velocidades. Este sistema se puede instalar en espacios abiertos con buen flujo de viento y constante [17]. Otro modelo importante que ha cogido mucha fuerza para la generación de energía sostenible es la energía solar, la cual tiene como fuente principal de generación el sol, funciona por medio de un colector que capta la energía solar y la convierte en energía eléctrica, una ventaja es que puede ser instalada en edificaciones o campos abiertos. Las características para emplear este tipo de energía son disponer de espacios amplios con buena captación de luz solar, infraestructura para el almacenamiento de la energía y su distribución [18]. Debido a la gran cantidad de polución que se produce por las emisiones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se están desarrollando una serie de tecnologías que permiten la captura, utilización y almacenamiento de estas emisiones generadas por fuentes fósiles con el fin de almacenarlo temporalmente para emplearlo como insumo para otros procesos [19].

Otro modelo que le aporta a la energía sostenible son los Edificios de Energía Neta Cero, los cuales son una forma avanzada de edificios de energía casi nula, es decir, se adaptan a las características climáticas y las condiciones del sitio, utilizando un diseño de construcción apropiado para reducir la necesidad de calefacción, aire acondicionado e iluminación al aprovechar las condiciones naturales y la fuerza de la naturaleza. Para impulsar este tipo de edificaciones se deben crear políticas que exijan estas características [19]. Otra certificación similar son las Edificaciones o Residencias WELL, las cuales se basan en un sistema empleado para monitorear y controlar las características del entorno que impactan la salud y el bienestar humano a través del aire, el agua, la luz, el estado físico, la comodidad y la mente. Las principales características de este modelo son políticas que mejoren la calidad del aire dentro de los edificios, eliminar o reducir fuentes de contaminación, ventilación natural, filtros de aire, prohibición de fumar, protección de espacios sensibles [19].

Otro tipo de generación de energía sostenible que se está desarrollando es la Energía Geotérmica, la cual se beneficia del calor del subsuelo para climatizar y obtener agua caliente de forma ecológica. La bomba geotérmica se instala a una profundidad entre 50 y 100 metros por debajo de la construcción, de modo que en lugar de realizar el intercambio térmico con la temperatura ambiente lo hace con la temperatura del subsuelo, que es constante y se sitúa en torno a unos 20 grados. Por eso los sistemas geotérmicos también se pueden desarrollar para obtener refrigeración mediante la cesión de calor al subsuelo. Este modelo tiene las siguientes características: una bomba geotérmica que realiza el aprovechamiento energético de la tierra. Un intercambiador instalado en el subsuelo y una bomba hidráulica, que bombea la solución de agua con glicol que fluye por los colectores [15].

Por otro lado, existe otro tipo de generación de energía por medio de Biomasa que se produce a partir de materia orgánica vegetal o residuos forestales, restos de industrias como las agroalimentarias, madereras, papeleras, almazaras o residuos como la cáscara. Estos materiales, se secan y luego se queman en calderas con características diferentes a las convencionales. La biomasa se puede aplicar en la mayor parte de los sectores productivos y puede abarcar todos los usos térmicos comunes, tales como la preparación y suministro de

agua caliente sanitaria o para procesos, aceite térmico y vapor, secaderos y hornos industriales [15].

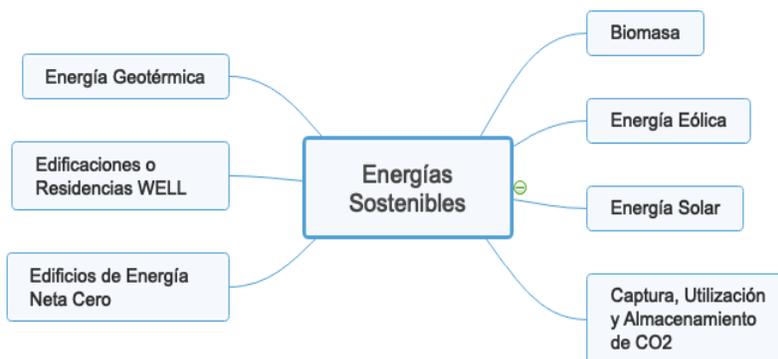


Figura 6. Modelo de energías alternativas sostenibles

A partir de los modelos estudiados anteriormente se pueden identificar algunos factores de vital importancia para que estos modelos funcionen de forma correcta. Rionegro ha venido presentando grandes avances en temas relacionados con estrategias de ciudad moderna y sostenible, la cual parte de un desarrollo urbano compacto que promueve el desarrollo sostenible con calidad en servicios públicos, movilidad, transporte y territorio verde. El municipio tiene como principio fundamental la conservación y recuperación de los ecosistemas naturales que proveen de alimento, agua y energía a sus habitantes; el uso y aprovechamiento racional de los recursos naturales debe satisfacer las necesidades económicas, sociales y ambientales de las generaciones, sin comprometer la capacidad para futuros herederos y puedan cubrir sus necesidades [20].

### 3.2 Modelos de movilidad y energía sostenible en Rionegro

En la Tabla 1 se resumen los aspectos más relevantes que viene implementando el municipio de Rionegro en temas de movilidad y energía sostenible alineadas al desarrollo de una ciudad inteligente. El nivel de ejecución se calificó con valores desde 0 a 3, donde 0 representa que no se ha implementado, 1 significa que está por debajo del 50% de ejecución, 2 está en un porcentaje de 50% y 3 está en la totalidad de su ejecución.

Tabla 1. Análisis de factores de movilidad y energía sostenible en el municipio de Rionegro

Aspecto	Ejecución	Meta	Unidad de Medida	Nivel de Ejecución			
				0	1	2	3
Fibra óptica	190	257	Km			x	
Zonas WiFi Públicas	7	13	Zonas			x	
Nuevos desarrollos viales	5	20	Km		x		
Ciclorrutas	3,5	100	Km			x	
Sistema de Bicicletas Públicas (Bicirio)	13		Estaciones			x	
Adecuación de zona urbana central para vehículos no motorizados	80	100	%			x	
Sistema de transporte público integrado	40	100	%		x		

Construcción de terminal de transporte central	0	100	%	x			
Estaciones de transferencia para transporte público	4	4	Estaciones				x
Aplicación móvil de transporte público	40	100	%		x		
Estaciones de transporte público inteligentes	16	16	Estaciones				x
Buses adaptados para pago con tarjeta	0	255	Buses	x			
Tren Ligero (APM)	0	100	%	x			
Modernización de la señalización vial	40	90	%		x		
Cruces viales con semáforos inteligentes	14	26	Cruces			x	
Zonas de Estacionamiento Regulado	14		Barrios			x	
Aplicación de Zonas de estacionamiento Regulado	1	1	Aplicación				x
Centro de Monitoreo Vial	100	100	%				x
Proyectos de energías alternativas	1		Proyectos		x		
Estaciones de carga para vehículos eléctricos	0		Estaciones	x			
Estaciones de carga en parques	0		Estaciones	x			
Vehículos de transporte público eléctricos	0	255	Buses	x			
Vehículos autónomos	0		Vehículos	x			

En conexión fibra óptica, la cual es una tecnología de banda ancha con alta velocidad que permite utilizar múltiples canales de datos para emitir información, el municipio tiene como meta instalar 257 km para ofrecer una cobertura del 100%, sin embargo, hasta el momento se tiene instalado 190 km que operan proyectos como el de semaforización, alumbrado público y telegestión, entre otros. Teniendo en cuenta el indicador, la fibra óptica en el municipio se encuentra en un nivel de ejecución 2 [21].

En cuanto a zonas de conexión WiFi públicas se tiene como meta cubrir 13 zonas del municipio, pero, hasta el momento se cuenta con 7 zonas que cubren en la mayoría el casco urbano. El aspecto de Zonas de Conexión WiFi públicas se encuentra en un nivel de ejecución 2 [21].

La infraestructura vial en el municipio ha tenido un gran avance desde el periodo de administración 2017 -2020 que estuvo a cargo del mandatario Andrés Julián Rendón, en el que se tuvo como meta construir 20 km de nuevas vías para el desarrollo vial y social, pero al culminar su periodo de administración el indicador estaba en 5 km ejecutados. Actualmente el municipio se encuentra ejecutando varios proyectos que le atribuyen a este aspecto para cumplir la meta. Es por esto que los 5 km muestran un nivel de ejecución 1. Dentro de este desarrollo de infraestructura vial el municipio incorporó a su plan de acción una meta de construcción de 100 km de ciclorrutas intermunicipales, de los cuales solo se tienen en el casco urbano 3,5 km ejecutados; es por esto que el nivel de ejecución del aspecto ciclorrutas se encuentra en 1 [21].

El programa de bicicletas públicas (Bicirio), es un programa que busca fomentar el uso de la bicicleta como medio de transporte alternativo y amigable con el medio ambiente con el fin de mejorar la movilidad y la calidad de vida de los habitantes. Bicirio está a disposición de jóvenes y adultos para que puedan movilizarse por el municipio, tomando y devolviendo las bicicletas mediante un sistema de tarjetas personalizadas. Actualmente, el programa cuenta con 13 estaciones en sectores estratégicos del municipio. Además, tiene proyectos importantes como el SIREB (Sistema de Rutas Escolares en Bicicletas), el cual brinda el servicio de rutas escolares en bicicleta; Al trabajo Voy en Bici, el cual es un proyecto que va direccionado a empresas para que sus colaboradores hagan uso alternativo de este medio y Bicipaseos que brinda una experiencia de paseos en bicicleta con rutas establecidas para los habitantes del municipio [22]. Este programa tiene una ejecución del 50% y su nivel de ejecución es 2.

Otro proyecto importante que tuvo el municipio fue la remodelación y reestructuración de la infraestructura alrededor del parque principal, donde se tuvo prelación al peatón y a los vehículos no motorizados como la bicicleta. Esta parte central tiene un porcentaje de cobertura del 80% en zonas y espacios que privilegien los medios no motorizados y por este indicador este aspecto tiene un nivel de ejecución 2 [21].

El megaproyecto APM (Air People Moving) o Tren Ligero es un proyecto de sistema de transporte masivo que está conformado por infraestructura ferroviaria elevada y sus respectivas estaciones, las cuales se integran al Sistema de Transporte Público del municipio. Este proyecto se encuentra en un 0% de ejecución por lo que su nivel de ejecución es 0 [23].

En la actualidad, el municipio cuenta con un centro de monitoreo vial adecuado con infraestructura y tecnología moderna que opera para controlar las situaciones y eventos que se presentan en las vías y los semáforos inteligentes. Teniendo en cuenta que el municipio tiene en operación este centro de monitoreo vial su nivel de ejecución es 3 [24].

La figura 7. muestra el modelo de movilidad sostenible en Rionegro para el sistema de transporte público integrado (SONRIO), el cual está planeado con el fin de fomentar la movilidad sostenible en el municipio por medio de la integración del servicio en una tarjeta única. Este sistema estaría compuesto por una terminal de transporte central, (Esta terminal se encuentra en un porcentaje 0 de ejecución por lo que el nivel de ejecución es 0), Estaciones de transferencia para transporte público municipal (El municipio cuenta con 4 estaciones, de 4 proyectadas, estratégicas para esta función por lo que su nivel de ejecución es 3), Estaciones de transporte público inteligentes en el municipio (Actualmente, se tienen 16 estaciones, de 16 proyectadas, de transporte público inteligentes con pantalla de información digital y paradero de buses por lo que su nivel de ejecución es 3), Una aplicación móvil de transporte público, la cual se encargaría de integrar toda la información personal del usuario, actualizar y mostrar en tiempo real el horario con horas de llegada y salida de los buses (Esta aplicación tiene un porcentaje de ejecución de 40 por lo que su nivel de ejecución es 1) y Buses adaptados para pago con tarjeta (Actualmente, el transporte público cuenta con 255 buses de los cuales ninguno está adaptado para pago con tarjeta por lo que su nivel de ejecución es 0). Otros dos proyectos que se integrarían a este Sistema de Transporte Público Inteligente serían el megaproyecto APM o Tren Ligero y el Programa de Bicicletas Públicas mencionados anteriormente [25].



Figura 7. Modelo de movilidad sostenible en Rionegro (Transporte Público Integrado)

El programa de señalización vial tiene como propósito fortalecer el sistema de movilidad para todos los usuarios de las vías públicas, sin importar el medio de transporte que utilice, mejorando las condiciones de accesibilidad para las personas que utilizan medios no motorizados o que se desplazan a pie. Este aspecto tiene un porcentaje de ejecución de 40 por lo que su nivel de ejecución es 1) [26].

Las intersecciones semafóricas inteligentes son componentes tecnológicos para la gestión sostenible de la movilidad vehicular y peatonal, los cuales permiten una mejor circulación de los vehículos y los peatones en las vías de gran congestión. Estos semáforos operan mediante una unidad electrónica de control con tecnología inteligente tipo pedestal y ménsula que controlan autónomamente el tráfico. Actualmente, el municipio cuenta con 14 cruces viales con semáforos inteligentes de 26 cruces, por lo que su nivel de ejecución es 2 [26].

Las Zonas de Estacionamiento Regulado (ZER) son zonas demarcadas con celdas en las vías públicas del municipio, las cuales habilitan el estacionamiento de vehículos con cargo de tarifa por hora o fracción de tiempo utilizada, la cual se cobra por medio de un promotor. Este programa tiene como objetivo principal motivar a que las personas usen otros medios de transporte más sostenibles y amigables con el medio ambiente. Este programa está implementado en 14 barrios por lo que su nivel de ejecución es 2. Además, cuenta con una aplicación móvil que brinda un medio de pago electrónico alternativo, saber la geolocalización de las Zonas de Estacionamiento Regulado, conocer la disponibilidad de espacios de parqueo y tiene interacción con otras aplicaciones como Waze y Google Maps brindando la ruta más cercana para llegar a una Zona de Estacionamiento Regulado. Esta aplicación ya se encuentra en operación por lo que su nivel de ejecución es 3 [27].

En temas de energía sostenible el municipio de Rionegro tiene hasta el momento un proyecto ejecutado, el cual es la expansión, renovación e implementación de sistemas de telegestión de alumbrado público. Este proyecto aportó una reducción del 55% del consumo de energía eléctrica con un ahorro total de 5000 megawatts al año, dejando de producir 3.826 toneladas de dióxido de carbono por medio del cambio de 15.335 luminarias de sodio por luminarias LED, convirtiéndose en el primer municipio de Colombia en tener el 100% del

alumbrado público con luz LED. Como el municipio únicamente tiene este proyecto en energía sostenible su nivel de ejecución es 1 [28].

## **Conclusiones**

Aunque el municipio de Rionegro haya establecido políticas públicas encaminadas al desarrollo sostenible para enfrentar los retos en movilidad y energía, todavía existe una brecha de ejecución considerable de las acciones y proyectos. Sin embargo, se espera que en los próximos años se tenga gran avance con el plan de acción establecido y con los proyectos estipulados para equilibrar la distribución espacial y así ofrecer diferentes actividades y servicios que fomenten el desarrollo sostenible del municipio.

Es significativa la importancia de un sistema de transporte masivo para brindar gran cobertura urbana y rural para los habitantes de las ciudades, contribuyendo al desarrollo social, ambiental y económico. Específicamente, el Sistema de Transporte Público Integrado (transporte colectivo, buses y bicicletas públicas) que el municipio de Rionegro está implementando, ayudaría a reducir los costos de viajes y mejorar la movilidad para brindar valor social y económico a la sociedad. Además, ofrecería servicios como las bicicletas públicas para fomentar la movilidad no motorizada en el municipio con el fin de contribuir al cuidado del medio ambiente. No obstante, a este sistema de transporte público integrado le falta un porcentaje representativo de ejecución y a esto se le suma la adecuación de los buses actuales con el sistema de lectura electrónica para el pago con la tarjeta integrada.

Teniendo en cuenta la ejecución de los factores como la cobertura de fibra óptica (Conexión a Internet), la red semafórica inteligente y el centro de monitoreo vial, el municipio de Rionegro podría diseñar e implementar modelos de sistema de gestión del tráfico en autopistas y el sistema automático de control del tráfico con el fin de controlar y agilizar la movilidad urbana. Además, con la adecuación de la zona urbana central que se tiene actualmente en el municipio para vehículos no motorizados, se podría implementar el modelo de una ciudad de 15 minutos, donde se privilegia el uso de los vehículos no motorizados o el desplazamiento a pie para tener acceso a esta zona y disfrutar de los servicios ofrecidos.

Aunque el municipio de Rionegro en proyectos de energías alternativas únicamente tenga implementado el alumbrado público con luz LED hasta la fecha, existe la carencia de establecer políticas y proyectos que contribuyan al desarrollo de nuevos arquetipos en energías alternativas. Es indispensable que se evalúe la posibilidad de implementar diferentes modelos como lo son parques eólicos o solares con el fin de encontrar nuevas fuentes de energía para brindar a los habitantes del municipio y preservar los recursos naturales a las generaciones futuras. Adicionalmente, sería importante crear políticas y estándares como lo son los lineamientos WELL o edificaciones con energía neta cero con el fin que se pueda mejorar la eficiencia energética y se pueda aprovechar al máximo las condiciones naturales y climáticas (La luz solar, el viento, sensores de movimiento para iluminación, entre otros).

## Referencias

- [1] Rionegro, “Anuario Estadístico,” 2019.
- [2] ICONTEC, “ISO 14001,” 2015.
- [3] Rionegro, “Rionegro: Ciudad sostenible y competitiva,” [https://issuu.com/ciudadeseemergentesysostenibles/docs/city2016\\_pub2019\\_co\\_rionegro](https://issuu.com/ciudadeseemergentesysostenibles/docs/city2016_pub2019_co_rionegro), 2019.
- [4] A. M. Fernández, “Ecología, economía y ética del desarrollo sostenible,” 2003.
- [5] P. Vega, “Una década de planes de movilidad urbana sostenible en España,” 2016.
- [6] X. V. Solaun, “Contribución de las energías renovables al desarrollo sostenible,” 2008.
- [7] C. Houghton and J. Reiners, “Transporte Inteligente,” 2009.
- [8] A. J. Giraldo, “Smart and Sustainable city: Singapore, success case,” 2019.
- [9] M. Rodríguez, “El papel de la administración local en el éxito de la movilidad urbana,” 2014.
- [10] S. Lim, “Standardization of Intelligent Transportation System in Korea,” 2013.
- [11] C. Valencia, “Construcción de una política pública en movilidad sostenible para la región metropolitana del Valle de Aburrá y la ciudad de Medellín,” 2016.
- [12] W. E. Forum, “World Economic Forum,” 2020. [Online]. Available: <https://www.weforum.org>. [Accessed: 01-Nov-2020].
- [13] J. García, “Barcelona Urban Mobility Masterplan,” 2012.
- [14] “Silver Rail: Seamless Mobility.” .
- [15] M. Begoña, “Ahorro y gestión eficiente de la energía,” 2010.
- [16] M. Cheryl and F. Starace, “Electric Vehicles for smarter cities: The future of energy and mobility,” 2018.
- [17] B. Moratilla, “La Energía Eólica,” 2006.
- [18] S. Nandwani, “Energía Solar Conceptos Básicos y su Utilización,” 2005.
- [19] W. E. Forum, “Major Green Technologies and Implementation Mechanisms in Chinese Cities,” 2020. [Online]. Available: <https://www.weforum.org>. [Accessed: 29-Oct-2020].
- [20] Rionegro, “Plan de Ordenamiento Territorial,” 2011.
- [21] Rionegro, “Plan de Acción Anual - Plan de Desarrollo Municipal 2016 - 2019 ‘Rionegro Tarea de Todos,’” 2019.
- [22] SOMOS RIONEGRO S.A.S, “Bicicletas públicas,” <https://somosmovilidad.gov.co>, 2017. [Online]. Available: <https://somosmovilidad.gov.co/sistema-de-bicicletas-bicirio/>. [Accessed: 29-Oct-2020].
- [23] SOMOS RIONEGRO S.A.S, “Tren Ligero (APM),” 2020. [Online]. Available: <https://somosmovilidad.gov.co/tren-ligero/>. [Accessed: 29-Oct-2020].
- [24] SOMOS RIONEGRO S.A.S, “Concesión de Tránsito,” 2020. [Online]. Available: <https://somosmovilidad.gov.co/concesion-transito/>. [Accessed: 29-Oct-2020].
- [25] SOMOS RIONEGRO S.A.S, “Sistema de Transporte Público Integrado,” 2020. [Online]. Available: <https://somosmovilidad.gov.co/sistema-sonrio/>. [Accessed: 29-Oct-2020].
- [26] SOMOS RIONEGRO S.A.S, “Señalización,” 2020. [Online]. Available: <https://somosmovilidad.gov.co/senalizacion-y-semaforizacion-somos/>. [Accessed: 29-Oct-2020].
- [27] SOMOS RIONEGRO S.A.S, “Zonas de Estacionamiento Regulado (ZER),” 2020. [Online]. Available: <https://somosmovilidad.gov.co/zonas-de-estacionamiento->

- regulado-z-e-r/. [Accessed: 29-Oct-2020].
- [28] Empresa de Seguridad del Oriente, “Alumbrado Público,” <https://www.eso.gov.co>, 2018. [Online]. Available: <https://www.eso.gov.co>.