

La evolución tecnológica y la planificación de Drenajes Urbanos Sostenibles como herramientas para mejorar el metabolismo urbano de las ciudades desde la perspectiva de la Infraestructura Crítica.

Caso de estudio: Área de Valor Tradicional (AVT-1)

Municipio Libertador. Mérida-Venezuela¹

The technological evolution and the planning of Sustainable Urban Drains as tools to improve the urban metabolism of cities from the perspective of Critical Infrastructure.

Case study: Traditional Value Area (AVT-1)

Libertador Municipality. Merida-Venezuela.

María Alejandra Rojo de Rangel²

Resumen

El desarrollo de las ciudades está limitado por el espacio físico y la capacidad de su infraestructura. La ciudad de Mérida con una infraestructura de más de medio siglo y gran crecimiento poblacional, su infraestructura se encuentra al límite, y amerita renovarla completamente o limitar el crecimiento de la ciudad, de allí que esta investigación se centra en introducir al estudio de la ciudad la teoría del metabolismo urbano, permitiendo cuantificar los consumos y desperdicios que producen los habitantes de la ciudad de Mérida, automatizando su cuantificación, haciendo énfasis en los sistemas de drenajes urbanos, con la finalidad de desarrollar una metodología aplicable a cualquier ciudad e infraestructura lo que permitirá generar lineamientos que optimicen los actuales sistemas de drenaje urbano,

¹ Este artículo es un extracto de un proyecto en desarrollo para la Maestría en Desarrollo Urbano Local en la Universidad de Los Andes. Mérida Venezuela.

² Arquitecto Magna Cum Laude egresada de la Universidad de Los Andes (2007), Docente de la Facultad de Arquitectura ULA desde 2008, estudiante de la Maestría de Desarrollo Urbano Local - mención Planificación Urbana, de la Universidad de los Andes.

introduciendo teorías de sostenibilidad lo que a largo plazo mejorara la calidad del suelo de la ciudad de Mérida específicamente del Área de Valor Tradicional (AVT-1), garantizando aumentar la vida útil de la actual infraestructura de la ciudad.

Palabras Clave: Metabolismo Urbano, Infraestructura Urbana, Infraestructura Crítica, Drenajes Urbanos Sostenibles, Industria 4.0

Abstract

The development of cities is limited by the physical space and the capacity of their infrastructure. The city of Mérida with an infrastructure of more than half a century and great population growth, its infrastructure is at the limit, and it deserves to completely renew it or limit the growth of the city, hence this research focuses on introducing the study of the city the theory of urban metabolism, allowing to quantify the consumption and waste produced by the inhabitants of the city of Mérida, automating its quantification, emphasizing urban drainage systems, in order to develop a methodology applicable to any city and infrastructure which It will allow generating guidelines that optimize current urban drainage systems, introducing sustainability theories, which in the long term will improve the quality of the soil of the city of Mérida specifically in the Traditional Value Area (AVT-1), guaranteeing to increase the useful life of the current infrastructure of the city.

Key Words: Urban Metabolism, Urban Infrastructure, Critical Infrastructure, Sustainable Urban Drainage, Industry 4.0

1. Introducción

La ciudad es una sumatoria de diversos hechos y actividades, actualmente es un complejo metabolismo donde se conjugan infraestructuras y servicios que permiten su correcto funcionamiento.

Las infraestructuras urbanas son la base material y el soporte físico de la ciudad porque permiten el aprovechamiento del suelo urbano, a través de diversos usos, explotando sus posibilidades constructivas, así como el funcionamiento de las edificaciones. Dicho de otra manera, permiten el funcionamiento de la ciudad, la satisfacción de las necesidades básicas de la población e intercambio y distribución de recurso entre sus habitantes, por ese motivo también se les conoce como infraestructuras críticas, ya que de fallar en algún momento pueden hacer colapsar la ciudad.

Históricamente la infraestructura y el desarrollo de la ciudad se encuentran relacionados y dependen uno del otro, la presencia de infraestructura determina las posibilidades de crecimiento de la ciudad, paralelamente la dinámica de la ciudad determina la demanda de infraestructura y esto va a depender de las características de cada urbe, tanto de su tamaño como de su tipología.

Considerando el tamaño de la ciudad, se puede observar que las grandes urbes tienen un tipo de infraestructura distinto de las pequeñas. Por ejemplo: una ciudad pequeña no demanda un sistema de transporte masivo, ya que la presencia de este depende de grandes flujos de personas que evidentemente esta ciudad no va a tener.

Por otra parte, si se consideran las características funcionales de la ciudad, estas se relacionan con la posibilidad de que una ciudad pueda desarrollar plenamente sus capacidades, potenciar su cooperación y fortalecer su protagonismo, por ejemplo, una ciudad portuaria debería tener una infraestructura acorde a ese rol: bodegas, silos, hoteles, vías, comunicaciones (puertos). etc.

Se puede observar con lo descrito anteriormente que la presencia de infraestructura no es solo una demanda histórica de las ciudades, sino que depende del lugar en que se encuentre y la función que tenga o quiera proyectar la misma, lo que se traduce en dos grandes vertientes que condicionan el desarrollo de la ciudad oferta y demanda de infraestructura.

2. El problema

El desarrollo de las ciudades no es infinito como lo ha demostrado la historia, las ciudades desaparecen tal es el caso de los primeros asentamientos egipcios y griegos, se reubican o simplemente disminuyen su capacidad de crecimiento motivado a que su desarrollo de infraestructura no da más, pero sin embargo la población en estas ciudades sigue creciendo lo que trae problemas mayores a largo plazo. Es por ello que en la actualidad se está hablando de la sostenibilidad en todos los ámbitos para garantizar el desarrollo de futuras generaciones lo que implica garantizar una ciudad sana, por lo cual, si su infraestructura está al límite, se debe encontrar la manera de alargar su vida útil, logrando identificar en tiempo real oferta y demanda del servicio y mitigando los excesos a través de principios de sostenibilidad.

En los últimos años se han creado acuerdos internacionales que ratifican estas obligaciones. Tanto la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, (2018), como la Nueva Agenda Urbana Hábitat III (2016), reconocen la obligación de proteger a las personas y su calidad de vida mediante estándares de infraestructuras ambientalmente sostenibles (Bresciani, 2019), que mejoren y recuperen ecosistemas, reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero mediante cambios en las formas de transporte urbano, localización y diseño de edificaciones, y obras de infraestructuras, que hagan más resilientes a nuestras ciudades y mitiguen la generación de riesgos de desastres sobre la población.

Para lograr esto se ha cambiado la percepción de la ciudad y en la actualidad hablar de ciudad con principios de sostenibilidad implica ver a la misma como un metabolismo

urbano, idea que, como explica (Paz, 2019), se traduce en un cambio de paradigma al momento de considerar el desarrollo de las ciudades, ya que lo que se busca es, según (Wolman, 1965), “**visualizar a las ciudades como seres vivos** que crecen se desarrollan y, en algún momento, pueden perecer.”.

El metabolismo, en ciudades sanas, debe funcionar de forma cíclica, en el cual el final de la vida útil de un producto, da inicio a uno nuevo, un metabolismo urbano sano, promueve el desarrollo de ciudades mejor integradas en su territorio, más atractivas, más verdes más hermosas, más integradoras, más competitivas, y humanistas, como nos pide la carta de Copenhague presentada en la cumbre de Rio (Rio +20 Conferencia de las Naciones Unidas sobre desarrollo sostenible, 2012)

En ese complejo metabolismo juega un papel importante la infraestructura urbana, que operativamente para (Carrion, 2013) son las redes básicas de conducción y distribución, como vialidad, agua potable, alcantarillado sanitario, agua tratada, saneamiento, agua pluvial, energía eléctrica, gas y oleoductos, telecomunicaciones, así como la eliminación de basura y desechos urbanos sólidos, lo que ha tomado relevancia, debido al tema de riesgos antropogénicos.

La ciudad de Mérida, es fundada sobre una meseta que por su configuración y pendiente permitía inicialmente el desarrollo de infraestructura elemental, acueductos y cloacas, principios básicos para garantizar la habitabilidad de cualquier espacio, posteriormente la vialidad. Con el tiempo la ciudad ha crecido desde el punto de vista tanto demográfico como espacial, este último motivado al desarrollo de la infra estructura vial de la década de los 50`, que fue a la par acompañada de la infraestructura sanitaria que es la vigente en este momento.

A pesar que la infraestructura no se ha actualizado desde los 50`, la ciudad no ha dejado de crecer, lo que ha traído como consecuencias déficit en servicios y desmejoras en la calidad de vida de los habitantes, mayor superficie urbanizada y tratada

artificialmente, por lo cual la escorrentía ha aumentado y generado mayor problema en los sistemas de drenaje de la ciudad que en la mayoría de los casos se presentan como sistemas unitarios sin la capacidad suficiente para absorber tal caudal intermitente de aguas pluviales, pudiendo en un futuro generarse inundaciones en el área urbana de la ciudad por el colapso de los sistemas de drenaje urbano.

Todo lo descrito anteriormente me lleva a plantear la siguiente interrogante:

¿De qué manera los nuevos paradigmas de la infraestructura urbana, aplicados a la infraestructura crítica de la ciudad pueden mejorar el metabolismo urbano del Área de Valor Tradicional (AVT-1) del Municipio Libertador de la ciudad de Mérida al año 2030?

3. Bases Teóricas

3.1. Infraestructura Urbana

Infraestructura, definida por la Real Academia Española (2021) como “obra subterránea o estructura que sirve de base de sustentación a otra, conjunto de elementos, dotaciones o servicios necesarios para el buen funcionamiento de un país, de una ciudad o de una organización cualquiera” y urbana porque es relativo a la formación de la ciudad, partiendo de lo descrito anteriormente Corrales (2008, pág. 232) define la infraestructura urbana como “la red de instalaciones y obras de uso público que hacen posible la convivencia, el desarrollo individual y colectivo y la actividad económica de una sociedad”

La infraestructura de un país constituye la base que permite el desarrollo individual y colectivo de sus habitantes, resulta indispensable para el ejercicio de las actividades económicas y es un instrumento insustituible de las políticas dirigidas a disminuir la exclusión social y aumentar el bienestar colectivo.

En la actualidad se puede clasificar la infraestructura en cuatro categorías (Corrales, 2008):

- A. **Instalaciones asociadas a la prestación de los servicios públicos por redes:** electricidad, agua potable y saneamiento, gas y telecomunicaciones.

- B. **Obras que hacen posible el tránsito y transporte de personas y mercancías:** vialidad, transporte urbano masivo, ferrocarriles, puertos y aeropuertos.
- C. **Los edificios públicos asociados a la prestación de los servicios de educación, salud, deporte y recreación, justicia** y todos aquellos requeridos para garantizar la vida social y ciudadana, y los que definen y garantizan el ordenamiento social.
- D. **Las obras asociadas a la conservación y administración del ambiente y los recursos naturales renovables:** presas y sistemas de riego, manejo y disposición de desechos sólidos, prevención y control de desastres naturales, entre otros.

Debido al alcance e incidencia que tiene el funcionamiento de la infraestructura urbana para la ciudad es prudente conocer que dentro de la categorización anterior se tienen infraestructuras que si llegasen a fallar por algún motivo podrían causar graves daños al funcionamiento de la ciudad, tales infraestructuras se les conoce como infraestructuras críticas.

3.2. Infraestructura Crítica

El concepto de infraestructura crítica (IC) puede variar dependiendo del país, pero indistintamente del país todos consideran elementos que son comunes: instalaciones, sistemas y organizaciones que tienen un significado esencial para el funcionamiento de las sociedades, su falla puede causar perturbaciones significativas de las sociedades, por lo cual debe prestarse principal atención.

La infraestructura crítica según JID (2018) se pueden clasificar en 3 categorías: Básica, socio económica y socio cultural, siendo la básica la base del funcionamiento de la socio económica y esta a su vez la base de la socio cultural.

- La infraestructura básica hace referencia a suministro de energía, transporte, suministro de agua y redes de información y tecnología de la comunicación.
- La infraestructura socio económica se refiere a organismos gubernamentales, servicios de correo, servicios financieros, sistemas

de salud, suministro de alimentos, servicio de protección civil y gestión de emergencia.

- La infraestructura cultural corresponde a bienes culturales, medios de comunicación e institutos de investigación

Al considerarse la teoría de la infraestructura crítica es necesario entender que la amenaza de la misma puede darse por intervención del hombre o por falla natural.

Para la presente investigación es de especial interés la infraestructura crítica básica, ya que estas desde el punto de vista urbano puede predecirse su funcionamiento considerando teóricamente fallas naturales o acción humanas lo que permitirá crear escenarios que resultaran en la generación de acciones para evitar el colapso de dichas infraestructura en un futuro.

En el caso de Venezuela la infraestructura crítica está principalmente orientada a la infraestructura básica de telecomunicaciones y la infraestructura cultural puesto que su falla implica grandes inconvenientes para la sociedad actual según la política de gobierno, dejando en un segundo plano las infraestructuras básicas, las cuales de presentar falla podrían dejar en serios inconvenientes el funcionamiento de las ciudades, como ya se evidenció en el 2019 con la falla del sistema energético, en el cual la conjunción de eventos naturales y falla humana crearon un escenario sin precedente para lo cual las ciudades no estaban preparadas.

3.3. Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles (SUDS)

Como una solución en el marco de la sostenibilidad surgen los sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS) definidos por CIRIA³ (2018) como sistemas de drenaje diseñados para contribuir a los logros de la construcción con relación a la sostenibilidad, por lo cual lo

³ CIRIA is the Construction Industry Research and Information Association, (asociación de investigación e información de la industria de la construcción)

que buscan los SUDS es reproducir lo más fielmente posible el sistema natural de drenaje de un sitio antes de las actuaciones y desarrollos urbanos.

Esta nueva visión de sistemas de drenaje incluye criterios de sostenibilidad que buscan dar respuesta a los problemas de los drenajes urbanos convencionales, utilizando técnicas que permitan controlar la cantidad de agua superficial (reducción de las tasas de flujo fuera de sitio), mejorar la calidad de la misma y darle valor agregado a las comodidades de desarrollo.

El enfoque SUDS es particularmente valioso en las zonas urbanas donde el desarrollo de alta densidad y las superficies impermeables pueden causar inundaciones, ya sea directamente o en conjunto y donde las condiciones de crecimiento de la ciudad no permiten nuevas ampliaciones de los sistemas convencionales de drenaje.

- **Objetivos de los SUDS**

La alternativa de los SUDS, son más sostenibles que los sistemas convencionales de drenaje ya que mitigan los efectos adversos al medio ambiente, según CIRIA (2018), esto se puede conseguir mediante los siguientes objetivos:

- Reducir las tasas de escorrentía, reduciendo los riesgos de inundaciones aguas abajo.
- Reducción de volúmenes y frecuencias de la escorrentía adicional, que tienden a incrementarse como resultado de la urbanización la cual puede agravar el riesgo a las inundaciones.
- Recarga de las aguas subterráneas, minimizando el impacto en los acuíferos y ríos que reciben estas captaciones.
- Reducir los agentes contaminantes en las aguas pluviales, para así proteger la calidad de los cuerpos de agua que reciben estas captaciones ➤ Actuar como amortiguadores para eventos accidentales, previniendo la descarga directa y las altas concentraciones de contaminantes que reciben los cuerpos de agua.
- Reducir el volumen de las aguas superficiales, al sistema de alcantarillado.

- Contribuir a la amenidad y estética de áreas desarrolladas.
- Proveer a las habitantes oportunidades de biodiversidad.

El enfoque de SUDS puede ser aplicado en todos los sitios de desarrollo, aunque las limitaciones de cada sitio impliquen una obstrucción en el potencial de la solución. La variedad de opciones permite a los diseñadores y planificadores considerar varios aspectos como el uso local del suelo, ocupación del suelo, gestión de escenarios futuros; haciendo un adecuado equilibrio entre los riesgos asociados a cada opción.

•Tipología de SUDS.

Hay varios procesos que se pueden utilizar para la gestión del agua de escorrentía de las zonas urbanizables. Cada opción provee características únicas para el control del agua lluvia, para controlar las inundaciones, conservación del agua y dar la posibilidad para la recarga de los acuíferos, Aunque no existe un consenso universal para la clasificación de las diferentes tipologías de SUDS, una de las más recurrentes es la que se muestra a continuación (Perales Momparler & Andres-Doménech, s.f).

a) No estructurales

Las medidas no estructurales previenen por una parte la contaminación del agua reduciendo las fuentes potenciales de contaminantes y por otra evitan parcialmente el tránsito de las escorrentías hacia aguas abajo y su contacto con contaminantes.

Entre las medidas no estructurales de mayor difusión cabe citar las siguientes:

- ✓ Educación y programas de participación ciudadana.
- ✓ Planificar y diseñar minimizando las superficies impermeables para reducir la escorrentía.
- ✓ Limpieza frecuente de superficies impermeables para reducir la acumulación de contaminantes.
- ✓ Controlar la aplicación de herbicidas y fungicidas en parques y jardines.

- ✓ Controlar las zonas en obras para evitar el arrastre de sedimentos.
- ✓ Asegurar la existencia de procedimientos de actuación y equipamiento adecuado para tratar episodios de vertidos accidentales rápidamente y con técnicas secas en lugar de limpieza con agua.
- ✓ Limitar el riesgo de que la escorrentía entre en contacto con contaminantes.
- ✓ Control de las conexiones ilegales al sistema.

b) Estructurales

Se consideran medidas estructurales aquellas que gestionan la escorrentía contaminada mediante actuaciones que contengan en mayor o menor grado algún elemento constructivo o supongan la adopción de criterios urbanísticos.

Las medidas estructurales más utilizadas son las siguientes:

- **Cubiertas vegetadas:** Sistemas multicapa con cubierta vegetal que recubren tejados y terrazas de todo tipo. Están concebidas para interceptar y retener las aguas pluviales, reduciendo el volumen de escorrentía y atenuando el caudal pico. Además, retienen contaminantes, actúan como capa de aislante térmico en el edificio y ayudan a compensar el efecto “isla de calor” que se produce en las ciudades.
- **Superficies Permeables:** Pavimentos que permiten el paso del agua a su través, abriendo la posibilidad a que ésta se infiltre en el terreno o bien sea captada y retenida en capas sub-superficiales para su posterior reutilización o evacuación. Existen diversas tipologías, entre ellas: césped o gravas (con o sin refuerzo), bloques impermeables con juntas permeables, bloques y baldosas porosos, pavimentos continuos porosos (asfalto, hormigón, resinas, etc.).
- **Franjas Filtrantes:** Franjas de suelo vegetadas, anchas y con poca pendiente, localizadas entre una superficie dura y el medio receptor de la escorrentía (curso de agua o sistema de captación, tratamiento, y/o evacuación o infiltración). Propician la sedimentación de las partículas y contaminantes arrastrados por el agua, así como la infiltración y disminución de la escorrentía.

- **Pozos y Zanjas de Infiltración:** Pozos y zanjas poco profundos (1 a 3 m) rellenos de material drenante (granular o sintético), a los que vierte escorrentía de superficies impermeables contiguas. Se conciben como estructuras de infiltración capaces de absorber totalmente la escorrentía generada por la tormenta de diseño para la que han sido diseñadas.
- **Drenes Filtrantes o Franceses:** Zanjas poco profundas rellenos de material filtrante (granular o sintético), con o sin conducto inferior de transporte, concebidas para captar y filtrar la escorrentía de superficies impermeables contiguas con el fin de transportarlas hacia aguas abajo. Además, pueden permitir la infiltración y la laminación de los volúmenes de escorrentía.
- **Cunetas Verdes:** Estructuras lineales vegetadas de base ancha ($> 0,5$ m) y talud tendido ($< 1V:3H$) diseñadas para almacenar y transportar superficialmente la escorrentía. Deben generar bajas velocidades ($< 1-2$ m/s) que permitan la sedimentación de las partículas para una eliminación eficaz de contaminantes. Adicionalmente pueden permitir la infiltración a capas inferiores.
- **Depósitos de Infiltración:** Depresiones del terreno vegetadas diseñadas para almacenar e infiltrar gradualmente la escorrentía generada en superficies contiguas. Se promueve así la transformación de un flujo superficial en subterráneo, consiguiendo adicionalmente la eliminación de contaminantes mediante filtración, adsorción y transformaciones biológicas. superficie.
- **Depósitos de Detención En Superficie:** Depósitos superficiales diseñados para almacenar temporalmente los volúmenes de escorrentía generados aguas arriba, laminando los caudales punta. Favorecen la sedimentación y con ello la reducción de la contaminación. Pueden emplazarse en “zonas muertas” o ser compaginados con otros usos, como los recreacionales, en parques e instalaciones deportivas.
- **Depósitos de Detención Enterrados:** Cuando no se dispone de terrenos en superficie, o en los casos en que las condiciones del entorno no recomiendan una infraestructura a cielo abierto, estos depósitos se construyen en el subsuelo. Se

fabrican con materiales diversos, siendo los de hormigón armado y los de materiales plásticos los más habituales.

- **Estanques de Retención:** Lagunas artificiales con lámina permanente de agua (de profundidad entre 1,2 y 2 m) con vegetación acuática, tanto emergente como sumergida. Están diseñadas para garantizar largos periodos de retención de la escorrentía (2-3 semanas), promoviendo la sedimentación y la absorción de nutrientes por parte de la vegetación. Contienen un volumen de almacenamiento adicional para la laminación de los caudales punta.

- **Humedales:** Similares a los anteriores, pero de menor profundidad y con mayor densidad de vegetación emergente, aportan un gran potencial ecológico, estético, educacional y recreativo.

Para concluir es importante tener presente que, aunque el uso de SUDS parece evidente para zonas de nuevo desarrollo, no deben descartarse en zonas ya consolidadas, como ejemplo cabe citar las actuaciones que se están dando en la ciudad de Nijmegen (Holanda), que se centran en la idea de desconectar los caudales de las áreas de tejados y superficies pavimentadas de la red de colectores, utilizando en su lugar soluciones tipo SUDS para gestionar estas escorrentías.

3.4. Metabolismo Urbano

Caracterizar el metabolismo urbano implica entender inicialmente lo que es metabolismo, definido por la Real Academia Española (2021) como el “Conjunto de reacciones químicas que efectúan las células de los seres vivos con el fin de sintetizar o degradar sustancias”. El funcionamiento de la ciudad es similar a lo descrito anteriormente, requiere de insumos proporcionados por el entorno, los cuales son transformados en diversos productos para el desarrollo y crecimiento de la urbe, para posteriormente desechar los restos, con la diferencia que no existe garantía que estos restos sean utilizados nuevamente para otros productos, por lo que esto sería considerado un ciclo abierto.

El símil ciudad, sistema natural y organismo, explica Diaz Álvarez (2014) es concebido como la “Conceptualización Ecológica de las Ciudades”, en la cual los centros urbanos se piensan y analizan como seres vivientes que crecen, logran desarrollo y que, en algún momento, pueden morir.

El metabolismo urbano puede definirse según Diaz (2014) como “la suma total de los procesos técnicos y socioeconómicos que ocurren en las ciudades, resultando en crecimiento, producción de energía y eliminación de desechos”

Es este proceso el que permite analizar la relación entre el uso de recursos y la actividad económica de su sociedad dentro y fuera de sus fronteras, aunque la idea de metabolismo urbano es rechazada por muchos autores por su corte organicista, la verdad es que en la actualidad su estudio se considera en los proyectos de ciudades de futuro como una dimensión sine qua non de la sostenibilidad urbana, “con la cual la ciudad se reinserta en la naturaleza y la naturaleza en la ciudad” Regolini y Junyent 2009, citado por Diaz Álvarez (2014).

El metabolismo urbano resulta la herramienta perfecta para proyectar el crecimiento de la ciudad porque lo que se busca es medir entradas, consumos y salidas, y obtener valores óptimos que permitan generar lineamientos para garantizar la vida útil de la ciudad a generaciones futuras.

- **Componentes**

Poder estudiar la ciudad desde el metabolismo urbano implica reconocer los componentes del mismo es por ello que Higuera (2009), explica que el metabolismo urbano de una ciudad puede dividirse principalmente en 4 ciclos: el ciclo atmosférico, el ciclo hidrológico, el de la materia orgánica y residuos y por último el ciclo energético.

Identificado los ciclos, se necesita reconocer los componentes de cada uno de ellos para lograr generar soluciones a futuro con criterios de sostenibilidad, dichas soluciones por cada ciclo como explica Higuera (2009) están enmarcadas por lo siguiente:

- ✓ En el ciclo atmosférico: disminuir la contaminación atmosférica, disminuir el efecto de isla térmica
- ✓ En el ciclo hidrológico: Reducir la escorrentía superficial; reserva y reuso del agua de lluvia, reciclado de las aguas grises con uso apropiado; reducción del consumo de agua potable y control del riego de las zonas verdes
- ✓ En el Ciclo de la materia orgánica y los residuos: el reciclado y la separación de los residuos y el reciclado del residuo orgánico para su tratamiento y gestión (compostaje, biogás)
- ✓ En el ciclo energético: el objetivo es el uso de energías renovables y no contaminantes para todas las actividades urbanas.

Generar criterios para cada una de las soluciones implica evaluar características que en algunos casos se encuentran en el campo de la subjetividad, por lo cual el ecólogo José Manuel Naredo (1999), propone como ejemplo los siguientes indicadores de la calidad de medio ambiente urbano, con referencias a valores ya consensuados internacionalmente desde las Naciones Unidas:

INDICADORES DE LA CALIDAD DEL MEDIO AMBIENTE URBANO (J. M. NAREDO)		
Calidad del agua	a) Agua potable b) Aguas embalsadas	- N° de días/año en que la media de agua potable es rebasada - Concentración de O ₂ en el agua embalsada en mg por litro - Número de días que el PH es mayor 9 o menor 6 - Principales concentraciones anuales
Fuente José M Naredo (1999)		

El cuadro anterior permite vislumbrar que es posible la generación de indicadores medibles con valores reconocidos internacionalmente.

Estudiar a la ciudad desde todos los ciclos implica un trabajo complejo por lo que la presente investigación se centrará en el estudio del metabolismo urbano del agua, específicamente de los drenajes.

- **Metabolismo del agua**

El metabolismo urbano puede ser estudiado como un todo o sobre un tema específico de la ciudad, como el agua, en este caso su estudio puede ser dividido en dos, en agua potable como fuente de consumo y el agua de escorrentía esta última producto de las lluvias.

Es necesario identificar, que elementos se van a considerar para generar variables e indicadores que permitan evaluar la toma de decisiones para garantizar la mejora y permanencia del servicio de agua en todas sus etapas al 2030

Para lograrlo se recomienda la utilización de un método de estimación econométrico (Identificación de variables, construcción de indicadores, correlaciones entre variables) que considere el consumo de agua blancas y aguas servidas de la ciudad, utilizando fuentes oficiales de información estadística.

El flujo metabólico de la ciudad está representado por la apropiación(entradas), transformación - circulación y secreción(salidas) de recursos.

En el caso de aguas pluviales o de escorrentía la **apropiación** del recurso se hace mediante la absorción del líquido por parte de la superficie sobre la cual discurre, el origen está dado por la cantidad de precipitaciones en la zona, a mayor superficie saturada y/o pavimentada mayor será el agua de escorrentía, el agua de exceso que no es capaz de absorber la superficie recorre la misma hasta que es canalizada mediante sistema de drenajes que se interconectan entre si ya sea para llegar en la mayoría de los casos a sistemas unitarios (aguas negras-grises y pluviales) a sistemas de drenaje independientes de aguas pluviales o a nuevas superficies, cuyo destino final es un curso de agua, esto último sería la **salida**.

Como se puede observar este proceso carece del componente de **transformación** y la razón es muy simple en la ideología actual no se percibe a las aguas de lluvia como un elemento de utilidad para el funcionamiento de la ciudad, lo cual es un grave error, las aguas de lluvia pueden ser de gran utilidad si son correctamente canalizadas, pueden servir para

sistemas de riego, para surtir sistemas que no requieran agua potable, entre otros usos, además de disminuir la erosión del suelo, lo cual en las ciudades suele ser un fuerte problema para las zonas pavimentadas.

Estudiar el ciclo del agua de escorrentía desde el metabolismo urbano permite evaluar la utilidad de este recurso para la ciudad, ya que gran parte del tiempo este recurso pasa desapercibido, y solo es recordado cuando se presentan problemas de drenaje (colapso de sistemas unitarios) o inundaciones en la ciudad.

Una sistematización de este proceso permitirá identificar la cantidad de superficie de absorción (áreas verdes) requerida en la ciudad para lograr niveles óptimos de humedad superficial, adicionalmente permitirá cuantificar la cantidad de agua generada por este medio, y así determinar su mejor uso para la ciudad.

La finalidad de estos procesos es poder cuantificar cada una de esas etapas para lo cual es importante considerar como explica Saumet (2016) “la demanda de agua en un ecosistema urbano también depende del grado de urbanización, los sistemas de explotación y distribución, así como las formas de producción agrícola, según los requerimientos de los cultivos, los sistemas de riego, y la producción industrial”.

3.5. Automatización de Procesos-industrias 4.0

La industria 4.0 hace referencia a la cuarta revolución industrial que surge en los países desarrollados en la segunda década del siglo XXI como respuesta de política industrial frente a una nueva fase en la revolución de las tecnologías de la información y comunicación.

La industria 4.0 como explica Erbes y otros (2019) “se basa en los llamados sistemas ciber físicos, en los cuales los procesos de producción (sean físicos o biológicos) son controlados o monitoreados por algoritmos integrados a Internet.”

Los sistemas ciber físicos se apoyan en la modelización digital de los procesos de producción y en el intercambio de datos generados en el propio proceso de fabricación. Este

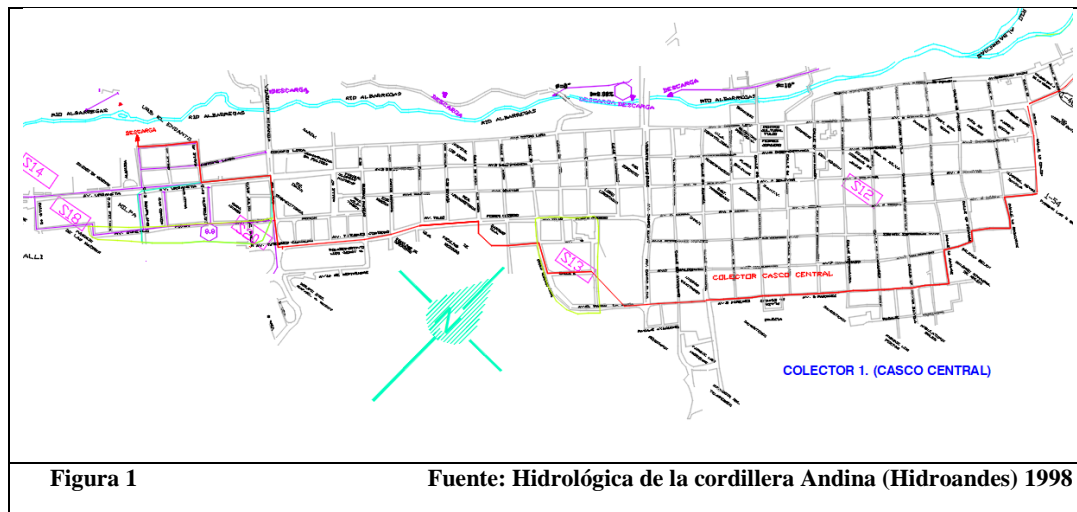
intercambio puede darse entre productos y máquinas, entre distintas máquinas o entre diferentes actores de la cadena de producción.

En el contexto que plantea este trabajo, la industria 4.0 o lo que sería la automatización de los procesos, pasa a jugar un papel importante porque permitirá garantizar el manejo de información en tiempo real y predecir comportamientos a futuro, si bien es cierto que la realidad este lejos de permitir la automatización total de la infraestructura es prudente diseñar, cualquier propuesta que pretenda contabilizar valores para medir eficiencia, sobre esta premisa, ya que se pueden estructurar el manejo de datos de manera tal que puedan a futuro ser usados por modelos automatizados, para garantizar una toma de decisiones eficiente proyectadas a futuro.

4. Caso de estudio

El ámbito del estudio es la ciudad de Mérida específicamente el AVT-1 (ver figura 1), tanto su casco urbano como las áreas periféricas que se interconectan mediante la presencia de infraestructura de alcantarillado y aguas de lluvias que trabajan en la mayoría de los casos como sistemas unitarios. La casi totalidad de la ciudad posee redes y colectores para aguas servidas, algunos muy antiguos y con diámetros insuficientes. No obstante, en las temporadas secas, el sistema se comporta en general adecuadamente, debido a las altas pendientes típicas de la topografía de la ciudad. En temporadas de lluvias, y como consecuencia de incorporaciones indebidas de las aguas pluviales en los colectores de aguas servidas, se presentan inconvenientes

Las aguas residuales generadas en la ciudad, son en su mayoría de origen doméstico y oficial y comerciales, y son vertidas directamente o indirectamente a los cuerpos receptores, sin ningún tipo de tratamiento. Presentan en general un alto grado de dilución, debido a la incorporación de aguas pluviales, fugas del acueducto y aguas subterráneas



Colector Casco Central- Caracterización

La construcción del colector se realizó por etapas, entre los años 1945 y 1990, siendo la sección más antigua la correspondiente al centro de la ciudad, muchas de cuyas tuberías se encuentran dañadas. Este colector recoge el mayor caudal de aguas servidas de la ciudad (Cerca del 30 % de la población) (Tahal, 1998), Comienza en la parte alta del Barrio San Benito, se desvía hacia la Avenida Principal de La Hoyada de Milla, continúa hasta la esquina Nordeste de la Plaza de Milla, desde donde cruza a la izquierda para incorporarse al Casco Central de la ciudad por la Calle 13 (Colón), hasta la esquina Noroeste del Cuartel Rivas Dávila, luego el Colector zigzaguea por Avenidas y Calles, aumentando su diámetro hasta 36” al entrar en la intersección de la Calle 16 (Araure) con la Avenida 7 (Maldonado), donde cambia su sección a un cajón, para discurrir por dicha Calle 16, al final de la cual, cruza hacia la derecha para recorrer la Avenida 8 (Paredes), continuando hasta la Av. Paseo de la Feria.

En la Avenida Paseo La Feria (Domingo Peña), cruza debajo de Edificios del sector hasta una Calle transversal que vuelve a comunicar el colector con la Avenida Paseo La Feria, siguiendo hasta el final del Paseo en su intersección con la Avenida 6 (Rodríguez Suárez). Continúa por la citada Avenida 6, para luego cruzar a la derecha y dirigirse a la Avenida Don Tulio Febres Cordero, para continuar por ésta hasta la intersección con la Avenida Miranda.

En lo que respecta a la intersección antes mencionada, entre la Avenida Don Tulio y la Calle Miranda, se cree que en ese sitio se construyó un sistema de aliviadero (Tahal, 1998), con el objeto de separar las aguas pluviales de las servidas, enviando las primeras hacia la descarga en el río Albarregas (Urb. El Encanto), y las segundas hacia otro colector que discurre por el tramo alto de la Avenida 16 de Septiembre, y a través de éste, al río Chama, pero no se ha podido comprobar la existencia ni el estado actual de dicho aliviadero.

Después de la citada intersección, el colector se dirige por la Avenida Miranda hasta la Avenida 3 (Urdaneta), donde cruza hacia la izquierda para continuar hasta la Calle 4ª de la Urbanización El Encanto, donde cruza a la derecha y luego a la izquierda, para hacer un último cruce a la derecha e incorporarse al cajón que conduce a un canal de descarga al río Albarejas.

5. Metodología

Tomando como referencia el objetivo general se determina el tipo de investigación, el cual será proyectiva, que se define según Hurtado (2000) :

“La investigación proyectiva tiene como objetivo diseñar o crear propuestas dirigidas a resolver determinadas situaciones. Los proyectos de arquitectura e ingeniería, el diseño de maquinarias, la creación de programas de intervención social, el diseño de programas de estudio, los inventos, la elaboración de programas informáticos, entre otros, siempre que estén sustentados en un proceso de investigación, son ejemplos de investigación proyectiva. Este tipo de investigación potencia el desarrollo tecnológico.”

En esta investigación se trabajará la relación de causa efecto, considerando que para diseñar una propuesta que permita modificar la situación es necesario primero explicar por qué y cómo ocurre tal situación; de otra manera la propuesta no resultaría viable.

6. Conclusiones

Al desarrollar esta investigación queda demostrado que el estudio de la ciudad puede evolucionar teniendo la sustentabilidad como objetivo futuro, ya que es posible reinterpretar el desarrollo de la ciudad incluyendo criterios de eficiencia como lo es el metabolismo urbano.

Es posible predecir cómo se comportarán las infraestructuras esenciales para el funcionamiento de la ciudad, lo que permitirá establecer estrategias que permitan su correcto funcionamiento en un futuro próximo.

Queda demostrado que en la ciudad de Mérida su sistema de drenaje principalmente está basado en sistemas unitarios (cloacas y pluviales juntos) y lo que este sistema no recoge, queda en la vía pública hasta que el suelo se satura.

El producto deseado con esta investigación es una metodología que permita evaluar la infraestructura crítica de drenajes de cualquier ciudad bajo las premisas de metabolismo urbano, sostenibilidad y automatización de procesos, con lo que se pretende brindar una herramienta al planificador urbano para la toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo.

7. Referencias

- Bresciani, L. E. (31 de Mayo de 2019). Hacia una infraestructura sostenible. Diario La tercera- Chile, pág. 15.
- Carrion, F. (2013). El ensamble de las infraestructuras urbanas:el desafío para la gestión pública. En J. Erazo Espinosa, *Infraestructuras Urbanas en America Latina. Gestion y construccion de obras publicas* (págs. 11-31). Quito: Instituto de Altos Estudios Nacionales (IAEN).
- CIRIA, a. e. (2018). <https://www.susdrain.org/>. Obtenido de <https://www.susdrain.org/>
- Corrales, M. E. (2008). *Infraestructura pública y servicios asociados*. Caracas . Venezuela: Universidad Catololica Andres Bello.

- Diaz Álvarez, C. J. (2014). Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de las ciudades. (Universidad Central de Colombia, Ed.) Interdisciplina, 2(2), 51-70.
- Erbes y otros. (2019). Industria 4.0 oportunidades y desafíos para el desarrollo productivo de la provincia de Santa Fé. Santiago, Chile: Comision Ecoomica Para America Latina y el Caribe (CEPAL).
- Higuera, E. (2009). La ciudad como ecosistema urbano. En E. Higuera, El reto de la ciudad habitable y sostenible. Editorial DAPP.
- Junta Interamericana de Defensa. (27 de ABRIL de 2018). Estudio sobre proteccion de infraestructura critica en caso de desastre natural . Estados Unidos: Organizacion de Estados Americanos (OEA).
- Naciones Unidas. (2012). Rio +20 Conferencia de las Naciones Unidas sobre desarrollo sostenible. (pág. 59). Rio- Brasil: Naciones Unidas.
- Naciones Unidas. (2016). Nueva Agenda Urbana Habitat III. (pág. 59). Quito: Naciones Unidas.
- Naciones Unidas. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivo del Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para America latina y el Caribe. Santiago: Naciones Unidas.
- Naredo, J. M. (19 de Febrero de 1999). Escuela Tecnica Superior de Arquitectura de Madrid. Recuperado el 05 de mayo de 2021, de <http://www.etsav.upc.es/personals/monclus/cursos2002/naredo.htm>
- Paz, V. (31 de Mayo de 2019). El metabolismo de las ciudades. Diario La tercera - Chile, pág. 15.
- Perales Momparler, S., & Andres-Doménech, I. (s.f). Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestion de lluvia.
- Real AcademiaEspañola. (15 de junio de 2021). Real Academia Española. Obtenido de <https://dle.rae.es/>
- Saumeth de las Salas, L. A. (2016). Metabolismo urbano del agua potable.Aproximacion al caso de Cartajena de indas. Barranquilla, Colombia: Universidad del Norte .
- Tahal, C. E. (1998). Alcantarillado sanitario informe de diagnostico. merida: LTD, Tahal Consulting Enginneers.
- Wolman, A. (1965). The metabolism of Cities. Scientific American, 179-190.