
Análisis y evaluación de escenarios proyectuales para la optimización y mejora en desarrollos urbano-residenciales. Caso de estudio: sector Independencia, Toluca, Estado de México

Fernando Córdova Canela¹ Jesús Enrique De Hoyos Martínez²
Gilberto Velázquez Angulo³, Edelmira Rodríguez Morales⁴

¹ Profesor Investigador Titular A de Tiempo Completo de la Universidad de Guadalajara.

² Profesor Investigador definitivo de tiempo completo categoría “F” en la Facultad de Arquitectura y Diseño. UAEMex.

³ Docente-Investigador de tiempo completo del Instituto de Ingeniería y Tecnología en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

⁴ Miembro colaborador del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables con sede en la Universidad de Guadalajara.

Resumen

Ante la problemática que ha surgido en la mayoría de las ciudades en México y gran parte del mundo en cuestión ambiental y social, es necesario el conocimiento de la estructura y función de los componentes sociales en relación a los componentes naturales del sistema urbano, es así que en este estudio se evalúa el escenario proyectual o consolidado para proponer un plan estratégico de acciones de optimización y mejora en zonas urbano-residencial. El caso de estudio es el Sector Independencia, área consolidada dentro de la ciudad de Toluca, Estado de México. Con base en la aplicación de indicadores de sustentabilidad urbana en tanto instrumento de valoración y prospectiva de orden cuantitativo y cualitativo del proceso urbanizador en el área de estudio, orientado a la gestión de modelos urbano-arquitectónicos sustentables desde una visión integral y sistémica.

Palabras clave: Indicadores urbanos, sustentabilidad urbana

Introducción

La presión sobre los sistemas de soporte causados por los modelos de urbanización actuales ha presentado grandes consecuencias para los sistemas naturales y sociales, entre ellos una ocupación deficiente del territorio, presencia de dispersión urbana, insularización de

espacios naturales, impermeabilización del suelo, aumento en el consumo energético y contaminación ambiental, distorsión del ciclo hidrológico, movilidad supeditada al vehículo motorizado privado, impactos sociales y baja calidad del espacio urbano.

Ante estas problemáticas, se deben buscar métodos de diseño alternativos que modifiquen el comportamiento de los asentamientos urbanos. Es así que surge la necesidad de este estudio, donde se evalúa el escenario proyectual o consolidado de un caso de estudio para proponer un plan estratégico de acciones de optimización y mejora en una zona urbano-residencial, en este caso, del Sector Independencia, área

consolidada dentro de la ciudad de Toluca, Estado de México.

Se pretende generar, con base a la aplicación de indicadores, líneas base y criterios mínimos de evaluación para el monitoreo y verificación de la sustentabilidad en conjuntos urbanos arquitectónicos de la región

Selección y clasificación de indicadores

El sistema de indicadores urbanos sustentables (Córdova Canela, García Núñez, & Rodríguez Morales, 2015) incluye variables para gestionar el tránsito de la zona urbano-residencial consolidada del Sector Independencia hacia un modelo de sustentabilidad urbana, y su selección responde a tres criterios básicos: relevancia en el modelo de ciudad sustentable, competencias para desarrollar las estrategias y acciones sugeridas y viabilidad en cuanto a la disponibilidad de información.

La clasificación se estructura desde dos ámbitos cuya lógica funciona con base a un desempeño escalable: el primero abarca indicadores que cubren criterios mínimos, mientras que el segundo los optimiza. Así, el documento engloba 19 indicadores desglosados en: indicadores de integración, ocupación de suelo y planeamiento del desarrollo e indicadores de compacidad, habitabilidad y metabolismo urbanos de los asentamientos en el municipio.

Indicadores de integración, ocupación de suelo y planeamiento del desarrollo

Abarcando lo más posible los aspectos de integración, ocupación de suelo y planeación, se desarrollan los siguientes indicadores:

Localización e integración de la acción urbanística

Conectividad no motorizada de la acción urbanística

Proximidad a las paradas de transporte público de la acción urbanística

Densidad de viviendas proyectadas

Movilidad sustentable

Superficie de vialidad destinada al tránsito peatonal

Estacionamiento para bicicletas

Condicionamiento climático de la morfología edificatoria

Integración de la vegetación como instrumento de control ambiental

Superficie de espacios verdes por habitante

Indicadores de compacidad, habitabilidad y metabolismo urbanos de las urbanizaciones en el municipio

La eficiencia conduce a la eliminación de redundancias, y mantener sólo aquellos elementos que son inmediatamente beneficiosos, esto es el objeto de este pool de indicadores, los cuales se describen a continuación:

Compacidad Urbana Absoluta

Compacidad Urbana Corregida

Percepción espacial del verde urbano

Accesibilidad de vialidades proyectadas

Eficiencia del sistema urbano en el consumo hídrico proyectado

Valorización por Reciclaje de los Residuos de Construcción y Demolición de Acción Urbanística proyectada

Dotación proyectada de contenedores o puntos de recolección de Residuos Sólidos Urbanos

Proximidad a los puntos de recolección de Residuos Sólidos Urbanos

Índice Global de Eficiencia y Habitabilidad urbana

Diseño metodológico

Para la ejecución adecuada del sistema de indicadores se numeran los siguientes

pasos donde se incluyen fases de previas y posteriores a la aplicación del instrumento:

Recopilación y procesamiento de la información gráfica y documental de insumo de los indicadores

Evaluación diagnóstica por componentes del proyecto

Aplicación y cálculo de los indicadores

Discusión y modelación de resultados con base a los niveles de desempeño para el escenario actual

Definición de rutas críticas y prospectivas de escenarios deseables de sustentabilidad urbana

Formulación de estrategias y acciones para optimización y mejora

Conformación de fichas técnicas de cálculo de los indicadores, como fundamento para la generación de líneas base de monitoreo y evaluación de sustentabilidad en conjuntos urbano-residenciales

Sector independencia, Toluca

La zona de estudio se ubica en el Sector Independencia, muy cerca del centro histórico de Toluca. Comprende un área de 275.04 hectáreas de las cuales se tomó un área de estudio de 14.59 hectáreas, conteniendo un total de 787 viviendas clasificadas en unifamiliar en desarrollos habitacionales, unifamiliar autoconstruida y plurifamiliar en edificios de 6 niveles.

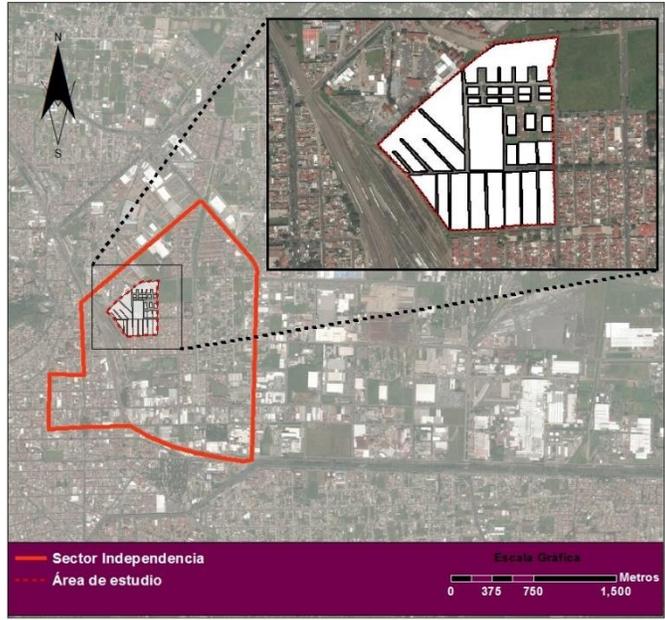


Figura 1. Localización del Sector Independencia en el Municipio de Toluca y el área de estudio. Elaboración propia (Ayuntamiento de Toluca, 2015).

Localización e integración de la acción urbanística

Grado de integración o contigüidad de la acción urbanística con el suelo urbano consolidado y eficiencia del consumo de suelo regulando la dispersión y aparición de espacios vacíos generados en las zonas intersticiales de los nuevos tejidos urbanos.

El cálculo del grado de integración de la acción urbanística se obtiene por medio de dos aspectos a considerar, según el rango porcentual de contacto territorial de su perímetro efectivo con Suelo Urbano o Urbanizado, aplicando la siguiente fórmula:

$$IAU(\%) = \frac{PCAU}{PAU} \times 100$$

Donde *IAU*, es el grado porcentual de integración de la acción urbanística; *PCAU*, es el perímetro efectivo de la acción urbanística en contacto territorial con Suelo Urbano o Urbanizado; y *PAU*, es el perímetro total de la acción urbanística.

El segundo aspecto a considerar es cuando la acción urbanística se localice dentro de un Área de Reserva Urbana, según lo normado para estos efectos en los Planes Parciales de Desarrollo Urbano del Municipio, el valor porcentual del *IAU* será de 100%.

El criterio de evaluación que se considera como el mínimo aceptable de $\geq 25\%$ y óptimo de 100% de integración de la acción urbanística, según el rango porcentual de contacto territorial de su perímetro efectivo con Suelo urbano o Urbanizado.

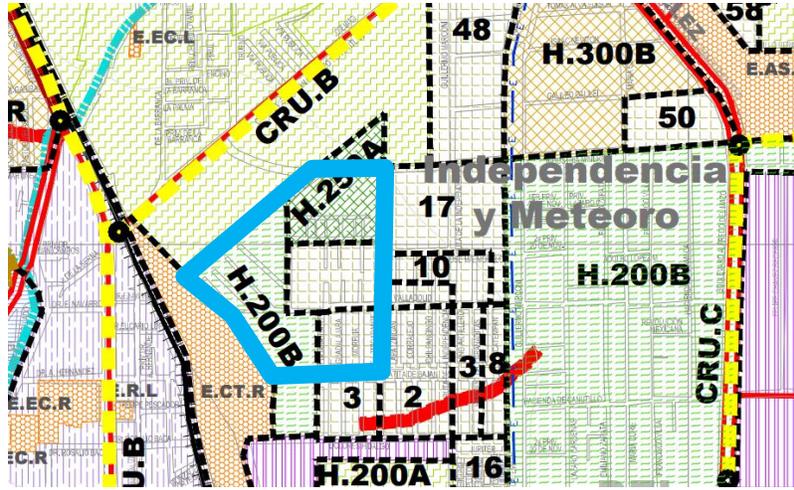


Figura 2. Localización del área de estudio con uso de suelo habitacional dentro de una zona consolidada. Fuente: Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Toluca vigente (Ayuntamiento de Toluca, 2015).

$$IAU (\%) = \frac{1,543.6 m}{1,543.6 m} \times 100$$

$$IAU = 100\%$$

Aplicando lo dicho anteriormente, el Sector Independencia se encuentra debidamente incorporados dentro de una zona consolidada con suelo urbanizado según el plano de uso de suelo del Municipio y encontrándose en una zona consolidada y urbanizada, por lo tanto, el grado porcentual de integración de la acción urbanística equivale al 100% de acuerdo a la información recabada y calculada. El valor del grado porcentual de integración de la acción urbanística equivale al valor optimo/deseable.

Conectividad no motorizada de la acción urbanística

Grado de conectividad potencial exterior de la acción urbanística con los tejidos urbanos existentes, ponderando sólo la movilidad no motorizada: peatonal o en bicicleta.

Para el cálculo de este indicador se utiliza la siguiente fórmula:

$$CAU(\%) = \frac{PPCAU}{PCAU} \times 100$$

Donde CAU, es el grado porcentual de conectividad de la acción urbanística a partir de movilidad no motorizada: peatonal o en bicicleta; PPCAU, es el perímetro de la acción urbanística con potencial de conectividad no motorizada; y PAU, es el perímetro efectivo de la acción urbanística en contacto territorial con Suelo Urbano o Urbanizado.

Como criterio de evaluación del porcentaje de conectividad no motorizada la acción urbanística, según el rango porcentual de contacto de los metros lineales de su perímetro efectivo con Suelo urbano o Urbanizado, se establece como mínimo $\geq 50\%$ y como óptimo el 100% de grado porcentual de conectividad urbanística.



Figura 3. Plano de conectividad no motorizada. Elaboración propia.

$$CAU(\%) = \frac{1543.6}{724.3} \times 100$$

$$CAU = 46.92\%$$

El resultado del porcentaje de Conectividad no motorizada queda por debajo del mínimo aceptable, esto debido a la falta de un medio de articulación directo con el exterior para el usuario no motorizado y el no aprovechamiento de las vías potenciales.

Proximidad a las paradas de transporte público de la acción urbanística

Grado de conectividad de la acción urbanística con los tejidos urbanos existentes, a partir de la presencia, número y cobertura de paradas de transporte público.

Para el cálculo de este indicador, se debe contabilizar el número de paradas de transporte público dentro del área de actuación de la acción urbanística evaluada en base a su perímetro y contabilizar el número de paradas de transporte público dentro del área de influencia de la acción urbanística, marcando un rango de distancias de referencia entre 300 y 500 metros medidos a partir de la línea exterior del perímetro total de la acción urbanística.

Se establece el criterio mínimo deseable de 2 paradas de transporte público para acciones urbanísticas con superficie menor o igual a 16 ha., y de >2 para acciones urbanísticas con superficie mayor a 16 ha al interior de la acción urbanística o dentro de su área de influencia.



Figura 4. Plano de la proximidad a las paradas de transporte público de la acción urbanística.
Elaboración propia.

Al analizar la zona no se identifica mobiliario de paradas de autobús establecidas, sin embargo, las rutas que siguen los autobuses si cumplen con lo establecido de una distancia menor de 300 a 500 m del perímetro del área de estudio.

Densidad de viviendas proyectadas (D_{vp})

Permite dimensionar el rango de ocupación territorial de las viviendas proyectadas respecto al área total destinada al proyecto de acción urbanística, teniendo como unidad de área de referencia cada una de las celdas de una malla de 200mX200m.

Para el cálculo de la densidad de viviendas proyectadas, se emplea la siguiente fórmula:

$$D_{vp}(viv/ha) = \frac{N_v}{U_{sp}(ha)} *$$

(*) Malla de referencia de 200x200m

Donde D_v es la Densidad de Viviendas proyectadas por hectárea destinada al proyecto; N_v es el número de viviendas proyectadas; y U_{sp} es la superficie total destinada al proyecto en hectáreas.

El rango de densidad de viviendas proyectadas y el porcentaje de su cobertura en la superficie de suelo urbano destinado a uso residencial dentro del proyecto de acción urbanística, se considera como mínimo aceptable cuando es >80 viv/ha en el 50% de la superficie del suelo urbano residencial del proyecto, y óptimo >80 viv/ha en el 75% de la superficie del suelo urbano residencial del proyecto.

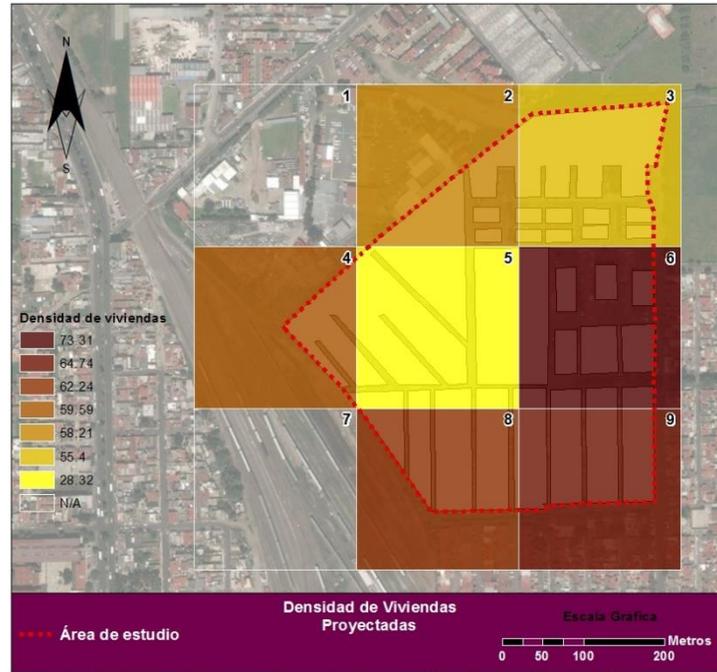


Figura 5. Plano de la densidad de viviendas proyectadas. Elaboración propia.

$$Dvp(viv/ha) = \frac{787}{14.59}$$

$$Dvp = 53.94 \text{ viv/ha}$$

La densidad de vivienda del total de los cuadrantes se encuentra por debajo del Criterio y cobertura mínimos que corresponde a 80 viv/ha. Se tiene un promedio de 53.94 viv/ha, la cual no es aceptable. El cuadrante 5 es el de menor densidad, el cual comprende parte de dos terrenos baldíos.

Superficie de vialidad destinada a tránsito peatonal

Dimensiona el porcentaje y cobertura de superficie de vialidad destinada al tránsito peatonal, con acceso restringido al vehículo motorizado de paso, con relación a la superficie total de la vialidad prevista dentro de la acción urbanística.

Para el cálculo de este indicador, se aplica la siguiente fórmula:

$$PSvp(\%) = \frac{Svp}{Sv} \times 100$$

Dónde PSvp es la proporción porcentual de superficie de vialidad destinada al peatón con respecto a la superficie total de vialidad dentro de la acción urbanística; Svp es la superficie de vialidad destinada al peatón de acceso restringido al vehículo motorizado dentro la acción urbanística, expresada en metros cuadrados; y Sv es la superficie total de vialidad dentro de la acción urbanística, expresada en metros cuadrados.

El valor de la proporción, expresada en porcentaje, de la superficie de vialidad destinada al peatón de acceso restringido al vehículo motorizado de paso, respecto a la superficie total de vialidad dentro de la acción urbanística, se considera como

mínimo aceptable de la proporción de la superficie vial destinada al peatón es

considerado a partir del 50%, como óptimo/deseable al ser superior al 75%.



Figura 6. Plano de la Superficie de vialidad destinada a tránsito peatonal. Elaboración propia.

$$PSvp(\%) = \frac{5,933.71}{42,322.25} \times 100$$

$$PSvp = 14.02\%$$

La superficie de vialidad destinada al peatón con acceso restringido al vehículo motorizado de paso no cubre el criterio de valor de la proporción de superficie vial destinada al peatón mínima, en este caso considerada como tal a partir del 50% del valor proporcional.

Ciclopuertos

Evalúa la dotación de piezas para estacionamientos de bicicleta en la acción urbanística, relacionándola con el tipo de uso de suelo y el área.

Para el cálculo de los ciclopuertos se establece una relación entre la dotación mínima de plazas de estacionamiento para

bicicleta/ número, área de cubierta o suelo por uso y destino.

A partir de la clasificación de uso y destino se establece un determinado número de plazas a partir de lo anterior; en donde para uso habitacional será de 1 plaza/ vivienda o por 100 m² de cubierta, para uso comercial y de servicios 1 plaza/ por 100 m² de cubierta, para equipamiento urbano 2 a 5 plazas / por 100 m² de cubierta, y para recreación y descanso 1 plaza / por 100 m² de suelo. La dimensión mínima de la plaza de estacionamiento para bicicletas será de: 0,70 metros de ancho por 1,90 metros de largo.

En el área de estudio no se identifican ningún espacio ni mobiliario destinado al aparcamiento de bicicletas, incluso en las vialidades no se considera una vía exclusiva para éste tipo de transporte.

Condicionamiento climático de la morfología edificatoria

Dimensiona el porcentaje y cobertura de superficie de vialidad destinada al tránsito peatonal, con acceso restringido al vehículo motorizado de paso, con relación a la superficie total de la vialidad prevista dentro de la acción urbanística.

Observancia, de la adecuada relación entre los parámetros morfológicos con respecto a las orientaciones, en base a las referencias técnicas del presente apartado y a partir de la formulación y entrega documental de una Memoria Técnica que lo fundamente y demuestre.

El criterio de aceptación para certificación será cuando exista evidencia documental de una Memoria Técnica orientada al establecimiento y selección de los criterios morfológicos de las edificaciones dentro de la acción urbanística, de acuerdo a sus orientaciones.

Las características morfológicas, de acuerdo a la referencia general, los bloques de vivienda del fraccionamiento

quedan bajo el esquema lineal. Sin embargo, la disposición que corresponde a la orientación de los ejes se presenta de tres maneras. Los bloques situados en la parte norte de la intervención urbana se encuentran en una orientación ESTE-OESTE en relación a su eje lineal, teniendo sus caras más prolongadas expuestas al ESTE-OESTE y OESTE-ESTE, en las esquinas de manzana se presenta también orientación en sus caras más prolongadas orientación SUR-NORTE. En el caso de los bloques ubicados en la parte sur de la intervención urbana, presentan una dirección ESTE-OESTE en relación a su eje lineal, teniendo sus caras más prolongadas expuestas al ESTE-OESTE y OESTE-ESTE, en las esquinas de manzana se presenta también orientación en sus caras más prolongadas orientación NORTE-SUR. Por Último, el tercer bloque de viviendas analizadas en relación a su eje lineal presenta una orientación NORESTE-SUROESTE. Por lo tanto, si bien la mayoría de los segmentos presenta la orientación debida, en la totalidad no se cumple con el presente indicador.



Figura 7. Plano del condicionamiento climático de la morfología edificatoria. Elaboración propia.

Integración de la vegetación como instrumento de control ambiental

Permite evaluar a la vegetación aplicada como instrumento de control y modificación de algunas variables del clima, con base en la clasificación microclimática de la misma.

Este indicador es meramente proxy, por lo que se evalúa a través de fichas de las características de la vegetación encontrada en la zona de estudio para determinar la viabilidad de las mismas según las condiciones climáticas y funcionales locales.

El arbolado utilizado en los bloques de estudio, que es en su mayoría ciprés, cedro blanco y eucalipto, es muy utilizado en calles y áreas verdes dado su resistencia y fácil cuidado según las características locales.

Superficie de espacios verdes por habitante

Grado de dotación y cobertura de superficie de espacios verdes en relación al número de habitantes proyectado para el fraccionamiento.

$$Psverde(m2/hab) = \frac{Sverde(m2)}{Thab}$$

Dónde *PSverde* es la proporción de superficie de área verde con respecto al número total de habitantes estimado dentro de la acción urbanística; *Sverde* es la superficie total de área verde con más del 40% de cobertura vegetal dentro la acción urbanística; y *Thab* es el número total de habitantes estimado dentro de la acción urbanística.

Los criterios de valor mínimo y óptimo establecidos con fundamento en lo estipulado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y se considera como el mínimo aceptable >9 m2/hab y un criterio óptimo de 12 y 14 m2/hab.



Figura 8. Plano de los espacios verdes en el área de estudio. Elaboración propia.

$$Psverde(m2/hab) = \frac{15,808.48 m2}{1,948 hab}$$

$$Psverde = 8.12 m2/hab$$

A pesar de contar con espacios verdes de gran extensión y de que los metros cuadrados casi cumplen con los criterios establecidos con la OMS con la relación establecida al número de habitantes, se cuenta con poca extensión arbolada.

Compacidad urbana absoluta

Medio de evaluación y verificación del rango de concentración de edificación proyectada para el territorio. Se trata de una medida de la eficiencia edificatoria proyectada respecto al consumo de suelo urbano (Rueda, de Cáceres, Cuchí, & Brau, 2012).

Para calcular la compacidad urbana absoluta, se aplica la siguiente fórmula:

$$Ca(m) = \frac{Ve(m3)}{Usp(m2)}$$

Donde CA es la Compacidad Absoluta en metros; Ve es el volumen total de edificación proyectado en metros cúbicos; y Usp es la superficie total destinada al proyecto en metros cuadrados.

Para su evaluación se analiza la proporción de superficie urbana que debe cumplir el criterio de evaluación según la presión edificatoria en el territorio y la cobertura de la superficie de suelo urbano de uso residencial. Se considera como el rango mínimo aceptable >5 m en más del 50% de la superficie total del suelo urbano de uso residencial y se considera óptimo cuando este es >5 m en más del 75%.

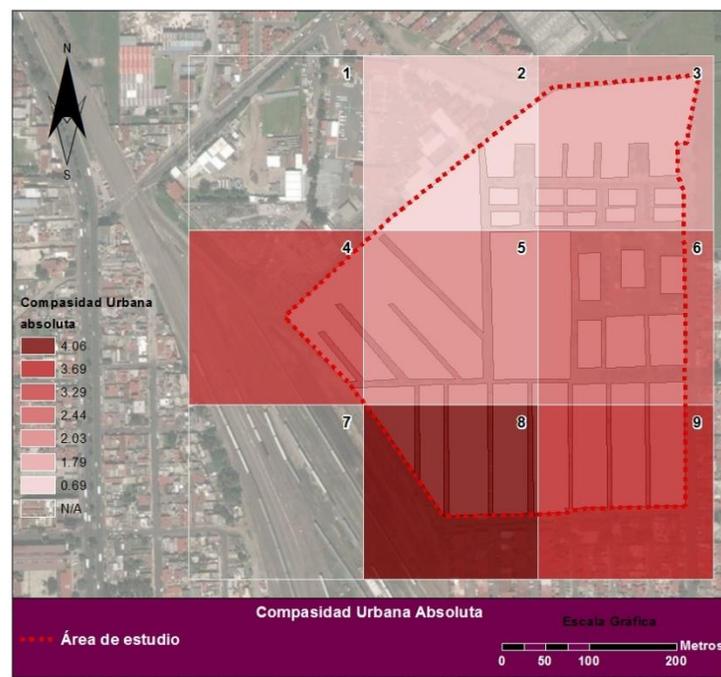


Figura 9. Plano de la compacidad urbana absoluta. Elaboración propia.

$$Ca(m) = \frac{359,705.61m^3}{145,945.17m^2}$$

$$Ca = 2.46m$$

Presenta un resultado por debajo del mínimo por un desaprovechamiento del suelo. El problema radica en el bajo volumen de construcción que comprende el área de estudio.

Compacidad urbana corregida

Permite conocer el factor de corrección necesario para equilibrar y compensar las concentraciones volumétricas de edificación por unidad de superficie urbana con las áreas de espacio urbano público de estancia.

Para calcular la compacidad urbana absoluta, se aplica la siguiente fórmula:

$$CC(m) = \frac{Ve(m^3)}{Ep(m^2)}$$

Donde CC es la Compacidad Corregida en metros; Ve es el volumen edificado total del proyecto en metros cúbicos; y Ep es el área total del espacio público del proyecto en metros cuadrados.

Como criterio de aceptación mínimo se considera de 10-15 m en más del 50% de la superficie del suelo urbano de uso residencial del proyecto y óptimo si presenta de 10-15 m en más del 75%.

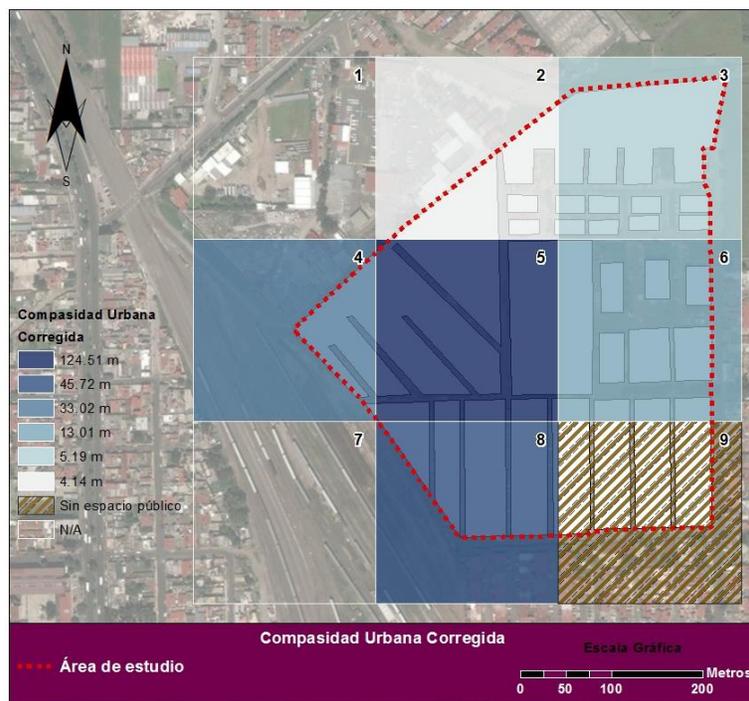


Figura 10. Plano de la compacidad urbana corregida. Elaboración propia.

$$CC(m) = \frac{359,705.61m^3}{17,822.80m^2}$$

$$CC = 20.18$$

Los resultados se encuentran por debajo del rango aceptable, sólo el 29% se encuentra dentro del rango óptimo, sin embargo, si se realiza un promedio de todos los cuadrantes, el resultado queda apenas encima del óptimo. Esto significa que requiere una mejor distribución, pero la relación es buena.

Percepción espacial del verde urbano

Evalúa la fracción de espacio del campo visual que ocupará la vegetación en los tramos de calle proyectados para la acción urbanística y se detectarán aquellos tramos de calle con dotación insuficiente.

Para su cálculo se aplica la siguiente fórmula:

$$PEvu(\%) = \frac{SVPt (Pvisar > 10\%)}{SVPt} \times 100$$

Dónde *PEvu* es el indicador de Percepción Espacial del Verde Urbano del proyecto expresado en porcentaje; *SVPt (Pvisar > 10%)* es la superficie total de viario público resultante de la sumatoria de todas las superficies de viario público proyectado con un *Pvisar* superior al 10% del campo visual; y *SVPt* es la superficie total de viario público proyectado.

Como criterio mínimo se considera >10% de volumen verde percibido en más del 50% de la superficie total de viario urbano, mientras que el óptimo se considera el 10% en más del 75% de la superficie.



Figura 11. Plano de la percepción espacial del verde urbano. Elaboración propia.

$$PEvu(\%) = \frac{0.00}{17.80} \times 100$$

$$PEvu = 0.00\%$$

Criterio y cobertura debajo del mínimo debido a que los tramos de calle presentan muy poco arbolado o ningún tipo de arriate para contener vegetación.

Accesibilidad de vialidades proyectadas (avp)

Evaluar el grado de accesibilidad en función del ancho de aceras que estos presenten y de la pendiente del trazado urbano proyectado.

Para el cálculo de la accesibilidad de las vialidades, se aplican las dos siguientes fórmulas:

$$Ptp(\%) = \frac{DE}{Lto} \times 100$$

Dónde Ptp porcentaje de inclinación del tramo de calle proyectado; DE diferencia de elevación entre las cotas geodésicas de los nodos de entrada y salida de tramo de calle proyectado; y Ltp es la longitud total del tramo de calle proyectado.

$$AVp(\%) = \left(\frac{\sum_{i=1}^3 TVAp_i}{TVPt} \right) \times 100$$

Dónde AVp es el porcentaje de cobertura de tramos de calle proyectados en metros lineales que cuentan con un grado de accesibilidad suficiente o mayor;

$$\sum_{i=1}^3 [TVAp_i = TVApS + TVAp$$

B + TVApE] es la sumatoria total de los metros lineales de : 1) los tramos de calle proyectados con accesibilidad suficiente, buena y excelente

El criterio de evaluación se considera como la proporción de cobertura de tramos de calle proyectados (metros lineales) que cumple el criterio de evaluación de un tramo de calle proyectado con Accesibilidad suficiente (Pendiente <5% / 1 acera > 0.9 m. de ancho) y una cobertura >90% de los tramos de la vialidad proyectada.

Las pendientes de las vialidades son adecuadas, sin embargo, en cuanto a la dotación de banquetas se presentan grandes deficiencias teniendo 61.90% de los tramos en malas condiciones o sin banquetas.

Con respecto a los porcentajes de pendientes que presentan las vialidades de la intervención urbanística en cada cuadrante, cabe mencionar que la totalidad de estas quedan dentro del rango de excelentes. Sin embargo, el porcentaje de cobertura de tramos de calle proyectados en metros lineales que cuentan con un grado de accesibilidad suficiente o mayor es de 38.10%, lo que significa que la mayoría no es accesible.



Figura 12. Plano de la accesibilidad de vialidades proyectadas. Elaboración propia.

Eficiencia del sistema urbano en el consumo hídrico proyectado (thp)

Grado de eficiencia de sistema urbano en el consumo hídrico proyectado contrastando la media de dicho consumo con la demanda referencial media del recurso basada en consumos óptimos.

Para el cálculo se requiere la siguiente fórmula:

$$ECHp = \frac{Co}{Cp} \times 100$$

Donde $ECHp$ es el porcentaje de eficiencia en el consumo hídrico proyectado para el sistema urbano; Co es el Consumo Medio

Optimizado Total del sistema urbano proyectado expresado en Lpd , entendido como demanda de referencia; y Cp es el Consumo Medio Proyectado Total del sistema urbano proyectado expresado en Lpd .

Los criterios de evaluación se considera en rangos que van de 90 A 100% para considerarse óptimo, de 75 a 89% como excelente, de 65 a 69% como suficiente y menos de 60 % como insuficiente.

$$ECHp = \frac{149.74}{304.16} \times 100$$

$$ECHp = 49.23\%$$



Figura 13. Plano del sistema urbano en el consumo hídrico proyectado. Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que el consumo de agua en el Sector Independencia (325 lt/hab/día) es el doble del óptimo deseable (160 lt/hab/día), por lo que es entendible el resultado que se encuentra muy por debajo del rango mínimo aceptable.

Dotación proyectada de contenedores o puntos de recolección de residuos sólidos urbanos (DCRSU)

Establece el número de contenedores de RSU's segregados (orgánicos e inorgánicos) contemplados por el proyecto urbano dentro de su perímetro de intervención destinado.

$$DCRSUp (hab/contenedor) = \frac{Pte}{Nc}$$

Donde $DCRSUp$ es la dotación proyectada de contenedores o puntos de recolección de RSU's por habitante potencial dentro del proyecto; Pte es el número total de habitantes estimado en base al número total de viviendas proyectadas y su tipología edificatoria; y Nc es el número total de contenedores o puntos de recolección de RSU's previstos dentro del proyecto.

$$DCRSUp (hab/contenedor) = \frac{1.903 \text{ hab}}{22 \text{ contenedores}}$$

$$DCRSUp = 86.5 \text{ hab/contenedor}$$



Figura 13. Plano de la dotación proyectada de contenedores. Elaboración propia.

El cálculo simple dio una resultante de 86,5 hab/contenedor, que, según los parámetros ya antes establecidos, da como resultado óptimo, considerando dos puntos de recolección en cada manzana.

Proximidad a los puntos de recolección de residuos sólidos urbanos (proxrsu)

Indica la distancia entre la vivienda y los puntos de recolección de RSU's. Así, permite establecer de manera bastante precisa qué distancia debe recorrer un habitante desde su vivienda hasta el punto de recogida de residuos más cercano.

$$PROXRSU(m) = \frac{\sum Dmín(RSU) *}{Nc(RSU)}$$

(*) Malla de referencia de 200x200m

Donde *PROXRSU* es la Proximidad de las viviendas proyectadas a los puntos de recolección de RSU's previstos por el proyecto, expresado en metros lineales dentro del perímetro limitado

planimétricamente por la malla de referencia; $\sum Dmín (RSU)$ es la sumatoria total de todas las distancias (metros lineales) de las viviendas proyectadas al punto de recolección de RSU's más cercano dentro del perímetro limitado planimétricamente por la malla de referencia, siendo $Dmín (RSU)$ la distancia mínima entre el punto de recolección de RSU's expresado adimensionalmente en la planimetría y el vértice más cercano a éste del polígono residencial en base a las vialidades proyectadas; y $Nc (RSU)$ es el número de contenedores o envases destinados a la recolección de RSU's dentro del perímetro limitado planimétricamente por la malla de referencia.

En cuanto a los criterios de evaluación, se considera óptimo cuando sea < 50 m, bueno de 50 m a 100m, aceptable de 100 m a 150 m, mejorable de 150 m a 300m y deficiente > 300m.



Figura 14. Plano de la proximidad a los puntos de recolección de residuos sólidos urbanos.
Elaboración propia.

Según el plano general, la distancia considerada para llegar a los puntos de recolección de basura es óptimo ya que la mayoría de las viviendas están ubicadas dentro de un rango de 50 mts., dando un total de 76% en condiciones óptimas, el

14% en condiciones buenas y el 10% en condiciones aceptables. Ninguna vivienda se encuentra en condiciones mejorables o deficientes en cuanto a la proximidad a los puntos de recolección.

Síntesis evaluativa de los indicadores

Integración, ocupación de suelo y planeamiento del desarrollo

Con base a la cantidad de indicadores aceptados (4) contra la cantidad de indicadores rechazados (5) se considera que el comportamiento del caso de estudio

en cuanto a su integración, ocupación del suelo y el planeamiento del desarrollo es bajo, lo que significa que se deben mejorar cuestiones de movilidad y algunas cuestiones de espacios verdes y aprovechamiento del suelo.

INTEGRACIÓN, OCUPACIÓN DE SUELO Y PLANEAMIENTO DEL DESARROLLO	RESULTADO	INDICADORES ACEPTADOS	INDICADORES RECHAZADOS
Localización e integración de la acción urbanística	100.00%		
Conectividad no motorizada de la acción urbanística	46.92%		
Proximidad a las paradas de transporte público de la acción urbanística	Suficiente		
Densidad de viviendas proyectadas	53.94 Viv/ha		
Superficie de vialidad destinada al tránsito peatonal	14.02%		
Cilcopuertos	No cuenta con ellos		
Condicionamiento climático de la morfología edificatoria	-		
Integración de la vegetación como instrumento de control ambiental	-		
Superficie de espacios verdes por habitante	8.12 m ²		

Cuadro 1. Síntesis evaluativa de los indicadores de integración, ocupación de suelo y planeamiento del desarrollo. Elaboración propia,

Compacidad, habitabilidad y metabolismo urbanos

En cuanto a los aspectos de compacidad, habitabilidad y metabolismo urbano del caso de estudio, se obtuvo un resultado igualmente bajo, teniendo 3 indicadores aceptados y 4 rechazados. Ligado con el

grupo de indicadores anterior, los aspectos que se deben mejorar son cuestiones de aprovechamiento del suelo y vegetación en el espacio de vialidades, de igual forma requieren modificarse las condiciones de la accesibilidad a las vialidades y la eficiencia del consumo de agua.

COMPACIDAD, HABITABILIDAD Y METABOLISMO URBANOS	RESULTADO	INDICADORES ACEPTADOS	INDICADORES RECHAZADOS
Compacidad urbana absoluta	2.46 m		
Compacidad urbana corregida	20.18 m		
Percepción espacial del verde urbano	0.00%		
Accesibilidad de vialidades proyectadas	38.10%		
Eficiencia del sistema urbano en el consumo hídrico proyectado	49.23%		
Dotación proyectada de contenedores o puntos de recolección de residuos sólidos urbanos	86.5 hab/cont		
Proximidad a los puntos de recolección de residuos sólidos urbanos	150 m máximo		

Cuadro 2. Síntesis evaluativa de los indicadores de Compacidad, habitabilidad y metabolismo urbanos. Elaboración propia,

Estrategias

Ante los resultados obtenidos de las mediciones se generan las siguientes estrategias con el potencial de mejorar las condiciones urbanas para su mejor funcionamiento metabólico, de mejora en

las condiciones sociales y su integración en el espacio urbano:

Articular el fraccionamiento con el contexto urbano, creando una red de vías

básicas para la circulación no motorizada hacia los asentamientos próximos.

Complementar y desarrollar la implementación de paradas de autobús en puntos estratégicos.

Diseñar rutas de autobús dentro o cercanas a la zona de estudio para ampliar cobertura y tener mayor accesibilidad.

Implementar la construcción densificada de vivienda por medio de la incrementación de la densidad de vivienda utilizando los terrenos baldíos para construir vivienda densa en edificios plurifamiliares.

Disminuir la cobertura de suelo urbano destinada al tránsito vehicular y disminuir la prioridad de este dentro del perímetro de la intervención a través de la simplificación de la malla de vialidades que comunica la acción urbanística.

Incrementar la vialidad destinada al transporte no motorizado y al peatón, dotando de banquetas a las vialidades donde no se tienen e incrementando el ancho de y mejorar la calidad de las banquetas existentes.

Introducir una red interna de transporte alternativo mediante el uso de la bicicleta, a través del diseño e implementación de un sistema de movilidad de bicicleta y destinar zonas de aparcamiento para bicicletas.

Crear un plan de movilidad estratégico para el Sector y sus zonas colindantes, para asegurar la adecuada movilidad y

accesibilidad dentro y fuera de la zona de estudio.

Contemplar barreras para la incidencia solar identificando principalmente las viviendas con orientación norte y determinando los tipos de barreras para la incidencia solar, de preferencia naturales, e implementarlas.

Ordenado de arbolado para que se utilicen los que provean de una mayor sombra, según sus características, en las orientaciones oeste-este y así evitar mayor asoleamiento en época de calor, contemplando de preferencia vegetación de hoja caducifolia para favorecer el asoleamiento en época de invierno.

Mejorar la calidad de las áreas verdes con la creación de espacios con vegetación y la reducción de uso de suelo de vialidad o vivienda unifamiliar.

Mayor aprovechamiento del suelo habitacional con la aplicación de la tipología de vivienda plurifamiliar para aumentar la densidad y el aprovechamiento del suelo y el uso de suelo mixto y vertical que permita abastecer las necesidades del uso plurifamiliar y la apertura a otros usos.

Reducción de uso de suelo para vialidades, creando redes de movilidad vehicular y peatonal que permita la adecuada articulación del fraccionamiento.

Aumentar arbolado en los tramos que sean insuficientes para alcanzar el mínimo requerido.

Disposición de banquetas adecuadas con un área específica para arriate donde se instale la vegetación adecuada.

Mejorar la vialidad peatonal a través de un estudio y levantamiento en campo de las banquetas para identificar deficiencias, realizar rehabilitación de banquetas deficientes y dotar de banquetas a las vialidades que no cuentan con ellas.

Medición y captación de aguas marginales, con la implementación de

tecnologías de captación de agua de lluvia en la vivienda y Captación y redirección de agua de lluvia a nivel urbano para riego de áreas ajardinadas.

Implementación de plantas de tratamiento de aguas para riego de áreas ajardinadas.

Equipamiento en la vivienda y áreas comunes de dispositivos ahorradores con un análisis de tendencia de gasto y la implementación de ahorradores mediante reglamento de fraccionamiento.

Conclusiones

Después de aplicar el instrumento de medición en el caso de estudio, es evidente que las condiciones de planeación urbana en el momento de su construcción no es el mejor considerando aspectos sustentables de movilidad y bienestar socio-ambiental. El 56% de los indicadores fueron rechazados por encontrarse por debajo de los rangos mínimos aceptados, esto representa más de la mitad de los aspectos medidos.

Los aspectos que se detectan como deficientes son, principalmente, la movilidad e integración de la acción urbanística, los aspectos de espacios verdes y vegetación, uso de suelo y aspectos de manejo de recursos naturales. La zona presenta deficientes vialidades peatonales por lo que no es accesible para todo tipo de usuario, el transporte público no presenta un adecuado servicio en el Sector Independencia, los espacios verdes son mínimos o no presentan vegetación adecuada para las condiciones climáticas

que se tienen en el municipio de Toluca. Por otro lado, el aprovechamiento del suelo no se presenta de la mejor manera, existen grandes superficies de viviendas unifamiliares que dirigen a manejar densidades muy bajas y requerir grandes superficies de vialidades en relación al volumen construido. Por último, presenta un deficiente aprovechamiento del recurso agua, ya que no se considera ninguna tecnología para captación de fuentes naturales o reciclaje en la vivienda y el consumo de agua por persona es muy elevado.

Los aspectos de mayor impacto o difícil modificación tienen que ver con los cambios de uso de suelo principalmente, considerando que es una zona ya consolidada dentro de la ciudad, por lo que se deben considerar estos indicadores en el proceso proyectual y de planeación para evitar cambios futuros que son costosos y difícil de aceptar por cuestiones sociales. Para incluirlos en el proceso proyectual,

deben calcularse antes de aceptar y construir los proyectos, esto puede hacerse con la inclusión de estos aspectos en la normativa y los reglamentos de construcción y en la formación de planeadores, tomadores de decisiones, arquitectos y urbanistas, así como en la sociedad en general y en los desarrolladores de nuevos fraccionamientos.

Con todo esto, es evidente que la problemática de las ciudades no se encuentra únicamente en los nuevos desarrollos, sino que se presentan en casos ya consolidados por lo que se debe hacer una planeación integral, aplicando medidas que ayuden al funcionamiento natural y social dentro de las ciudades.

Bibliografía

Ayuntamiento de Toluca. (2015). *Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Toluca*. Obtenido de sitio Web de la Secretaría de Desarrollo Urbano: <http://sedur.edomex.gob.mx/toluca>

Córdova Canela, F., García Núñez, A., & Rodríguez Morales, E. (2015). Sistema de indicadores urbanos sustentables. En F. Córdova Canela, V. L. Díaz Núñez, & G.

Castañeda Nolasco, *Experiencia de vivienda y comunidaes dignas, sustentables y resilientes*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.

Rueda, S., de Cáceres, R., Cuchí, A., & Brau, L. (2012). *El urbanismo ecológico*. Barcelona: Agencia de Ecología urbana de Barcelona.