



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**SOSTENIBILIDAD URBANA EN REGIONES
TROPICALES. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN
COMPARATIVA DE LAS INTERRELACIONES
ESPACIALES DE TULUM**

TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN GEOGRAFÍA

PRESENTA
PEDRO CITLAC CHARGOY LOUSTAUNAU

DIRECTOR
DR. RAFAEL I. ROMERO MAYO

ASESORES
DR. DAVID VELÁZQUEZ TORRES
DR. OSCAR FRAUSTO MARTÍNEZ
DR. JUAN CARLOS ARRIAGA RODRÍGUEZ

DRA. HERLINDA DEL S. SILVA POOT
DRA. BONNIE LUCÍA CAMPOS CAMARA
DR. RICARDO ENRIQUE VEGA AZAMAR



CHETUMAL, QUINTANA ROO, SEPTIEMBRE



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TRABAJO DE TESIS BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DEL PROGRAMA
DE DOCTORADO Y APROBADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL
GRADO DE

DOCTOR EN GEOGRAFÍA

DIRECTOR:

DR. RAFAEL I. ROMERO MAYO

ASESOR:

DR. DAVID TELLAZQUEZ TORRES

ASESOR:

DR. OSCAR FRAUSTO MARTÍNEZ

ASESOR:

DR. JUAN CARLOS ARRAGA RODRÍGUEZ

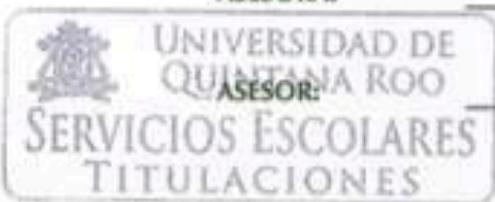
ASESORA:

DRA. HERLINDA DEL S. SILVA POOT

ASESORA:

DRA. BONNIE LUCÍA CAMPOS CÁMARA

DR. RICARDO ENRIQUE VEGA AZAMAR



Contenido

INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO 1. ANÁLISIS SISTÉMICO DEL DESARROLLO URBANO SOSTENIBLE	15
1.1. CARACTERIZACIONES TEÓRICAS DEL ESPACIO URBANO.	17
1.1.1. <i>De la Nueva Economía Urbana (NEU) a la Geografía Ambiental.</i>	22
1.1.2. <i>El debate en la concepción del modelo urbano.</i>	27
1.1.3. <i>La competitividad urbana y el costo social del agua.</i>	36
1.2. EL DESARROLLO SOSTENIBLE Y SU EVALUACIÓN.....	41
1.2.1. <i>Orígenes y desarrollo de la noción: hombre y naturaleza.</i>	43
1.2.2. <i>Evolución y delimitación del Desarrollo Urbano y Territorial Sostenible.</i>	48
1.2.3. <i>Fundamentos teóricos de la evaluación del desarrollo sostenible.</i>	57
1.3. ANÁLISIS SISTÉMICO E INCORPORACIÓN DE VARIABLES	68
1.3.1. <i>El Bioclimatismo urbano.</i>	70
1.3.2. <i>El Efecto Isla de Calor Urbana.</i>	78
1.3.3. <i>El metabolismo urbano.</i>	83
CAPÍTULO 2. PROPUESTA METODOLÓGICA DE EVALUACIÓN ESPACIAL	95
2.1. METODOLOGÍA DE CUANTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS BIOFÍSICOS.....	96
2.1.1. <i>Cuantificación de la huella hídrica de una ciudad.</i>	97
2.1.2. <i>Cuantificación de huella de carbono de los edificios.</i>	102
2.1.3. <i>Densidad urbana. Población y coeficiente de superficie construida.</i>	105
2.2. ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO DE LA ISLA DE CALOR	110
2.2.1. <i>Construcción de la carta psicrométrica y estrategias de diseño.</i>	112
2.2.2. <i>Elaboración de mapas de temperatura con imágenes de satélite.</i>	114
2.3. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE DENSIDADES E IMPACTOS BIOFÍSICOS	118
2.3.1. <i>Construcción de la relación funcional con el espacio.</i>	119
2.3.2. <i>Hipótesis de correlación: densidad e impactos.</i>	122
2.3.3. <i>Inclusión de la variable tecnológica o sociocultural τ.</i>	124
CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN DE INTERRELACIONES ESPACIALES. CASO DE ESTUDIO	127
3.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA TERRITORIAL DE TULUM.....	129
3.1.1. <i>Localización.</i>	130
3.1.2. <i>Distribución.</i>	133
3.1.3. <i>Análisis urbano.</i>	137
3.2. CARACTERIZACIÓN DEL SITIO	142
3.2.1. <i>Análisis del medio físico natural de Tulum, Quintana Roo.</i>	143
3.2.2. <i>Análisis climático de la ciudad de Tulum Quintana Roo.</i>	148
3.2.3. <i>Análisis del uso de suelo.</i>	150
3.3. RESULTADOS EMPÍRICOS DE LA EVALUACIÓN ESPACIAL	152
3.3.1. <i>Análisis e interpretación de la variable formal.</i>	154
3.3.2. <i>Resultado del análisis de correlación con la variable espacial.</i>	157
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	162
RECOMENDACIONES	165
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	167

Índice de Tablas

Tabla 1: Evolución de la Economía Urbana	23
Tabla 2: Aproximaciones, practicas y temas de la Geografía Ambiental.....	26
Tabla 3: Posturas sobre la investigación en ciudades sostenibles.....	28
Tabla 4: Tesis y Antítesis de la ciudad compacta	34
Tabla 5: Definiciones de Competitividad Urbana	36
Tabla 6: Índices a desarrollar	37
Tabla 7: Manifestaciones emergentes de ciudad	51
Tabla 8: Taxonomía de los objetivos de desarrollo sostenible.	58
Tabla 9: Diferencias entre sostenibilidad fuerte y débil.	64
Tabla 10: Regionalización geobotánica de las zonas tropicales	71
Tabla 11: Estrategias de diseño para climas Cálido-Húmedos.....	75
Tabla 12: Modelos urbanos en debate	83
Tabla 13: Revisión cronológica de estudios del teóricos de metabolismo urbano.	84
Tabla 14: Revisión cronológica de estudios del metabolismo urbano basados en agua.....	86
Tabla 15: Revisión cronológica de estudios del metabolismo urbano basados en energía.	89
Tabla 16: Factores de Emisiones de GHG incluidas en el Protocolo de Kyoto.	90
Tabla 17: Factores de conversión de energía eléctrica para México.	90
Tabla 18: Emisiones de CO ₂ por unidad de energía de distintos combustibles.....	104
Tabla 19: Costo marginal por m ³ producido de agua potable (\$/m ³)	152
Tabla 20: Costo marginal por m ³ facturado de agua potable (\$/m ³)	152
Tabla 21: Resultados de regresiones donde ρ = Coeficiente de Utilización del Suelo.....	158
Tabla 22: Resultados de regresiones donde ρ =densidad poblacional entre superficie	159
Tabla 23: Resultados de regresiones donde ρ =densidad poblacional en superficie construida ..	161
Anexo T1: Datos para regresión donde ρ = Coeficiente de Utilización del Suelo	180
Anexo T2: Datos para regresión donde ρ =densidad poblacional en superficie total	184
Anexo T3: Datos para regresión donde ρ = Densidad poblacional en superficie construida	188

Índice de Figuras

Figura 1. Evolución de la concepción estructural de la ciudad.....	18
Figura 2. Principales teóricos de utilidad marginal.	38
Figura 3. Principales teóricos de la economía del bienestar.	39
Figura 4. Diferenciación del desarrollo espacial sostenible.....	55
Figura 5. Origen filosófico de las perspectivas de valoración.	60
Figura 6. Planisferio del clima tropical lluvioso de Köpen	71
Figura 7. Unidades Climáticas de la República Mexicana	72
Figura 8. Grandes regiones ecológicas de México	73
Figura 9. Traza urbana tropical con base en el viento.	76
Figura 10. El efecto Isla de Calor Urbana.....	78
Figura 11. Factores de la Isla de Calor Urbana.....	79
Figura 12. Metabolismo lineal en una ciudad.....	84
Figura 13. Metabolismo circular en una ciudad.....	85
Figura 14. Ubicación de datos con intersección de cuatro manzanas.....	98
Figura 15. Ubicación de datos con intersección de tres manzanas	98
Figura 16. Ubicación de datos entre calle y dos manzanas.....	99
Figura 17. Mapeado de los consumos hídricos anuales por manzana urbana	100
Figura 18. Esquema de distribución de un ciclo a nivel urbano.	102
Figura 19. Esquema de distribución de las rutas a nivel urbano.....	103
Figura 20. Densidad poblacional por manzana urbana.....	105
Figura 21. Componentes para integrar el Coeficiente de Uso del Suelo.	106
Figura 22. trazo de polígonos de superficies construidas de Tulum.....	107
Figura 23. Alturas de construcciones por manzana urbana.	107
Figura 24. Densidad de superficie construida por manzana urbana.	108
Figura 25. Datos climáticos de Tulum en carta psicométrica.	112
Figura 26. Mediciones radiométricas satelitales.....	115
Figura 27. Desplazamiento de temperaturas extremas en el rango de 2 a 4 °C.....	116
Figura 28. Construcción de la relación funcional espacial de la densidad.	120
Figura 29. Primera hipótesis de función continua.	122

Figura 30. Segunda hipótesis de función continua.	123
Figura 31. Incorporación de la variable tecnológica o sociocultural τ en la función lineal.....	125
Figura 32. Incorporación de variable tecnológica o sociocultural τ en la función exponencial ..	126
Figura 33. Ubicación territorial de Tulum.	130
Figura 34. Límite del Centro de Población de Tulum.	132
Figura 35. Componente del crecimiento de la localidad de Tulum	133
Figura 36. Crecimiento porcentual de la superficie construida de Tulum	134
Figura 37. Crecimiento superficial sobrepuesto de la localidad de Tulum.....	135
Figura 38. Trama Urbana de la ciudad de Tulum, Quintana Roo, México.....	137
Figura 39. Medio Físico Transformado de Tulum, Quintana Roo, México.	138
Figura 40. Vialidades y Circulación de Tulum, Quintana Roo, México.	140
Figura 41. Topografía de Tulum, Quintana Roo, México.	143
Figura 42. Humedad del suelo de Tulum.....	144
Figura 43. Cobertura del suelo de Tulum.	144
Figura 44. Geología de Tulum.	145
Figura 45. Hidrología superficial.....	147
Figura 46. Hidrología subterránea.	147
Figura 47. Temperatura superficial promedio por manzana urbana	148
Figura 48. Distribución espacial de los usos de suelo actuales.....	151
Figura 49. Desplazamiento de temperaturas extremas en el rango de 2 a 4 °C. Tulum Q. Roo..	154
Figura 50. Modelado 3D de Tulum, Quintana Roo, México.	155
Figura 51. Modelado 3D de Tulum, Quintana Roo, México.	155
Figura 52. Análisis eólico de Tulum, Quintana Roo, México.	156
Figura 53. Gráfica donde ρ = Coeficiente de Utilización del Suelo (%).....	157
Figura 54. Gráfica donde ρ =densidad de población en superficie total (hab/m ²).....	159
Figura 55. Gráfica donde ρ = Densidad de población en superficie construida (hab/m ²).	161

Índice de Fórmulas

$M \pm R \pm Cv \pm Cd - E = \Delta S (W)$	(1)	79
$WF = WF_{verde} + WF_{azul} + WF_{gris}$	(2)	87
$WF_{azul} = \text{evaporación}_{\text{Agua azul}} + \text{Incorporación}_{\text{Agua Azul}} + \text{Pérdida de flujo}$	(3)	87
$WF_{verde} = \text{Evaporación}_{\text{Agua Verde}} + \text{Incorporación}_{\text{Agua Verde}}$	(4)	87
$WF_{gris} = Lcmax - cnat$	(5).....	88
$CFP = i = 1nj = 1nGWPi * Qi, j$	(6).....	89
$Da = \sum m_{1234} \dots \dots 12$	(7).....	97
$Ct = \sum r_{1234} \dots \dots n$	(8)	98
$Cm_{1234} = (Ct)4$	(9).....	98
$Cm_{12} = Ct4$	(10).....	99
$Cm_3 = Ct2$	(11)	99
$Cm_{12} = Ct2$	(12).....	99
$Ce = (Cc)Tmu$	(13).....	103
$Ce = (Rt)Tmu$	(14).....	103
$CO_2 = Ce(Fc)$	(15).....	104
$CUS = A1 + A2 + A3AT$	(16).....	106
$\rho = a/E$	(17).....	119
$R = a\rho + U$	(18).....	122
$R = a\rho\gamma + U \quad 0 < \gamma < 1$	(19).....	123
$R = a(\rho/\tau) + U$	(20)	125
$R = a[(\rho\gamma)/\tau] + U$	(21).....	125

INTRODUCCIÓN

Las ciudades son los centros generadores de producción y consumo donde se concentran la población y los servicios del territorio. Por sus características, los complejos y transversales problemas urbanos pueden ser abordados desde múltiples enfoques disciplinarios; en ocasiones, al ser combinados, pueden ofrecer una visión alternativa de los fenómenos. La identificación y explicación de algunas de estas inquietudes académicas pueden incluso llegar a transformarse en políticas públicas que incidan en el bienestar de la población.

El lugar que sale de los perímetros privados y constituye una trama en el espacio público, define una ciudad. Todos los fenómenos que ahí ocurren, se expresen desde el enfoque que se expresen, son temas del debate público. Las regulaciones de densidad y altura así como las provisiones de bienes o servicios, son por definición, de importancia pública. En este contexto los estudios geográficos se han caracterizado por abordar temáticas de interés social, donde, a diferencia de otras ciencias, nunca se renunció a ninguna variable que pudieran explicar los fenómenos espaciales.

El presente es un estudio de las relaciones e impactos que el ser humano ha efectuado sobre su ambiente urbano, los cuales, son posteriormente valorados desde la perspectiva del desarrollo sostenible. El trabajo se centra en las particularidades del territorio, ya sean naturales (clima, terreno) o sean humanas (adaptación, tecnología, marco legal y económico).

En cuanto al desarrollo sostenible, este concepto ha resultado un particular reto para las diversas disciplinas que lo han abordado. Y resulta complejo porque el concepto no fue redactado o acotado a manera de pregunta científica. Se trata de una definición más general, más ambigua y sin embargo, deseable para todos. Su objetivo fluctúa en el tiempo, donde todos los seres

humanos mejoran (en un sentido amplio) de manera armoniosa con su entorno (en un contexto diverso). De ahí el interés por construir marcos teóricos que permitan delimitarlo, encajonarlo para hacerlo medible o evaluable. Sin duda esto es objeto de debate filosófico, dónde se puede ser preciso al dejar de contemplar muchas realidades o ser holístico con el riesgo de ser superficial o carente de valor práctico.

En cuanto a la razón para realizar el Doctorado en Geografía se parte del vínculo del perfil profesional del arquitecto y del economista. Como Arquitecto se tiene noción y se trabaja con el espacio, pero resulta diferente ya que no se enfoca al análisis de los fenómenos. Es describable en términos de formas, colores, texturas y proporciones, donde las variables temporales son la luz y las actividades humanas. La sensibilidad y la percepción resultan esenciales, donde la relación del hombre con este medio construido, ocurre y genera, una transformación mutua. La racionalización de este espacio es práctica y periférica, casi siempre supeditada a los fines sensoriales, navegando entre el arte y la técnica. No obstante, llegar a la raíz micro de las nociones humanas que construyen los elementos básicos de una ciudad, es una fortaleza para la comprensión de los fenómenos urbanos.

En cuanto a la compleja economía, en especial las corrientes neoclásicas y neokeynesianas, se renuncia a muchas variables a favor de poder precisar y cuantificar las restantes en el método y los resultados. Tal es el caso de espacio, donde el supuesto de “perfecta movilidad de los factores de producción” simplemente lo elimina de la ecuación. Sin embargo, toda esa intención de objetividad parte de un precepto subjetivo: las elecciones de los consumidores y las empresas. El defender que dicha elección siempre ocurre racionalmente, simplemente aleja la finalidad científica de comprobar o rechazar los supuestos. Finalmente, al vivir en una sociedad con economía mixta y tendencia liberal, resultaría un esfuerzo radical no contemplar estos enfoques que teorizan el funcionamiento de los mercados.

Por su parte, la geografía ha evolucionado en enfoques de estudio de los fenómenos espaciales, abarcándolos desde múltiples escuelas de pensamiento. Eventualmente, la especialización y fragmentación en diversas disciplinas del objeto de estudio geográfico, fomentó un proceso de dispersión. Más recientemente, el desarrollo sostenible ha significado un reto para esta especialización, donde se ha debido retroceder en precisión para tomar una perspectiva más amplia u holística de los fenómenos. Posteriormente, esto ayuda a identificar variables que se consideren relevantes para acercarse nuevamente con estrategias multidisciplinarias de análisis y evaluación. Tal es el caso del presente trabajo, que se inscribe en la tradición de los estudios geográficos sobre las relaciones hombre-tierra.

Una de las motivaciones del estudio fue la de construir indicadores de la actividad humana sobre el ambiente, que sean significantes y agregables. La finalidad, es aportar una metodología que permita, no sólo integrar la escala micro de la dimensión urbana para evaluar la sostenibilidad, sino que tenga énfasis en las particularidades de las regiones tropicales. Entonces se plantea la hipótesis de que, tanto la forma como la dispersión espacial de una ciudad del trópico húmedo, inciden en el peso de las variables que determinan la sostenibilidad de la misma. Resulta evidente que, su desconocimiento, puede hacer se desarrolle de manera adversa, con todas las implicaciones de no ser sostenible.

En consecuencia, se evaluará si lo anterior repercute en el aumento en los consumos energéticos e hídricos, reduciendo las potencialidades de actuación de la tecnología. En el enfoque económico, se resalta la finalidad de un uso eficiente de los recursos públicos para la provisión de servicios básicos de agua y energía eléctrica. Si la forma o la dispersión pueden incrementar los costos de suministro de los servicios, entonces se reduciría la salud de las finanzas públicas y la competitividad misma de la ciudad. Lo anterior ocurre al comprometer el gasto, ya que se renuncia a cualquier asignación alternativa que pudiese ser detonadora del

desarrollo. A la par, si se consumen en exceso recursos energéticos e hídricos (o se generan los residuos vinculados) se pone en riesgo la estabilidad de los ecosistemas soporte, que en el caso de estudio, se encuentran intimamente ligados a la actividad predominante del turismo.

Mucho del éxito de la especie humana, se debe a su capacidad de copiar o replicar técnicas o patrones desarrollados por otros grupos humanos considerados exitosos. En ese entonces, el exceptísimo ante la innovación era precaución ante el posible fracaso. Se debía pues, demostrar empíricamente el éxito, antes de poder siquiera intentar replicarlo. De ahí que, a lo largo de la historia, las innovaciones tecnológicas hayan sido escasas, y sólo en los últimos siglos, se hayan podido reportar avances significativos, impulsados, en gran medida, por el desarrollo y aplicación de los métodos científicos. Ya no se trataba de dar un salto de fe, sino que, racionalmente y a la luz de la confrontación de la evidencia, tomar la mejor elección.

En latinoamérica, sin embargo, hemos estado un paso atrás, siempre dependientes de las corrientes de pensamiento o descubrimientos emanados de Europa o la Norteamérica angloparlante. A nivel urbano resulta evidente la diferencia entre esos ambientes y nuestros climas tropicales. Incluso las coincidencias del clima mediterráneo se alejan de los húmedos paisajes de la península de Yucatán. Más aún difieren los patrones de producción y consumo sociales, así como la fragilidad de los ecosistemas soporte, que también es diversa. Entonces resulta difícil y simplista pensar que un modelo urbano, un decálogo o recomendaciones de densidad puedan ser replicables, tal cual, en otras latitudes. El ignorar toda la realidad social, ambiental y económica, forzando a igualar patrones exitosos importados, niega nuestra racionalidad. Hace décadas existen estudios de la adaptabilidad urbana a los climas, aquí se pretende demostrar su relevancia y la relación que guardan con otras variables económicas y ambientales desde un enfoque de desarrollo sostenible.

El objetivo general del estudio se centra en revelar cómo la forma y dispersión espacial de una ciudad del trópico húmedo incide en el peso de las variables que determinan la sostenibilidad de la misma ciudad. Para esto, se debe distinguir la relación del desarrollo urbano con el medio ambiente, sus tendencias, problemas y retos. Después, se tiene que definir la sostenibilidad urbana y las aproximaciones teóricas que intentan precisar los métodos y procedimientos para alcanzar este fin. Acto seguido, hay que delimitar las variables que inciden entre los elementos del espacio y que generan la realidad geográfica. Posteriormente, se debe describir, de manera explícita, los procedimientos de delimitación, medición, recopilación y cuantificación de información de los intercambios en el sistema. Finalmente, se tiene que llegar a realizar una evaluación comparativa, cuya metodología y resultados, sirva para la toma de decisiones en materia de sostenibilidad urbana.

Por lo anterior, se cree que se pueden precisar los determinantes del desarrollo sostenible para regiones urbanas del trópico húmedo. Esta es la finalidad del primer capítulo, comenzando con los antecedentes y la generación del concepto “desarrollo sostenible”, precisando su vínculo con el desarrollo económico y los objetivos humanos. Más adelante se dibujan las interpretaciones y debates que surgen respecto de su interpretación. Cabe resaltar la construcción teórica del valor social que constituye el sustento y la justificación primaria de las inversiones e intervenciones públicas. Se finaliza el capítulo con la definición de la sostenibilidad urbana y territorial que serán concepciones aplicables a la evaluación propuesta.

El segundo capítulo comienza haciendo una recopilación histórica de modelos teóricos urbanos, el objetivo es delimitar la perspectiva del planificador urbano y los postulados que generan los patrones actuales. En el segundo apartado se introduce la variable climática y la noción de un diseño urbano adaptado a los factores de humedad y temperatura. Además, se realiza un recuento de marcos normativos internacionales que toman en cuenta estas

consideraciones. Para finalizar el capítulo, se presentan métodos de cuantificación de los impactos sistémicos de la actividad humana en el medio urbano y su hinterland. Para lo anterior, se debe generar una visión que conceptualice sistemas y flujos de materia y energía a través del espacio.

Posteriormente, el tercer capítulo presenta la propuesta metodológica de evaluación espacial, la cual pretende ayudar a generar información relevante para la planificación urbana y el ordenamiento del territorio. Se comienza definiendo el método de cuantificación y agregación desde la escala micro. El reto deriva en la carencia de información oficial accesible, por lo que actualmente, se deben obtener datos comerciales no procesados o generarlos en campo. Se cree, que en el futuro, la estandarización y la recuperación de la información puedan simplificarse, ayudando a realizar estudios similares más profundos a lo largo de diversos territorios. El segundo apartado explica el análisis bioclimático del confort urbano, aquí se deben incorporar variables como la humedad y la temperatura locales. Para poder determinar los diferenciales térmicos en el espacio, se debe recurrir a imágenes infrarrojas de satélite. Así la temperatura intraurbana puede verse afectada por los materiales y entornos contruidos, mientras que la ventilación se modifica con la forma la de ciudad. Finalmente, se realiza una propuesta de análisis econométrico donde se caracteriza la densidad como variable explicativa de los impactos urbanos agregados (consumo de agua y energía).

Por último, el cuarto capítulo realiza la evaluación empírica del caso de estudio, Tulum que simboliza la frontera del crecimiento convencional impulsado por la actividad turística. Se encuentra en una coyuntura a la que se pueden enfrentar otras poblaciones del Estado. En este contexto, se realiza un análisis y evaluación de la sostenibilidad urbana de la población para el año 2010. La selección de ese año en particular, radica en que existe confluencia de datos que sólo en ese momento fueron recabados y son comparables; en específico: información climática

por día, fotografías del espectro infrarrojo, la población por cuadra, el consumo de recursos así como la densidad de construcción y poblacional. Se comienza con la sección que analiza el sistema territorial, para posteriormente caracterizar el sitio. Aquí se construye una base de datos y se evalúa el comportamiento ante la forma y dispersión urbanas.

Sin duda la problemática no es nueva o privativa de la zona, pero puede resultar representante de una población en crecimiento del la región. Existen estudios similares respecto de los consumos de materias, recursos o de análisis climáticos urbanos, pero el proceso metodológico de obtención, agregación y evaluación de datos micro, así como su interpretación econométrica resulta en una aportación especial en la investigación.

Capítulo 1. Análisis Sistémico del Desarrollo Urbano Sostenible

La ciudad se constituye por sí misma como el máximo exponente de un ecosistema transformado, entre cuyos fines sobresale el bienestar humano. No obstante, este ambiente transformado puede resultar inadecuado para proporcionar diversas condiciones necesarias para el desarrollo integral de su población. Temas ambientales, económicos y sociales se encuentran diariamente en el debate académico, siendo más o menos integrados los que abordan el desarrollo sostenible. En este contexto, Pires *et al.* (2014, p. 2) afirman que no existe consenso en torno a las metodologías para cuantificar el desarrollo sostenible, ni siquiera a nivel de marcos conceptuales. De ahí que el objeto del presente capítulo sea analizar sistemáticamente el desarrollo sostenible desde un contexto urbano.

En una primera instancia, se abordarán las caracterizaciones teóricas del espacio urbano. Se comienza este apartado con la evolución del pensamiento geográfico, desde la Nueva Economía Urbana hasta la Geografía Ambiental. Acto seguido, se introducen los debates en las concepciones de los modelos urbanos planteados. Para cerrar este punto se analiza la competitividad urbana y se presenta el costo social, el caso en específico del agua.

Después, en el segundo apartado relaciona la creación y evolución de la concepción del “desarrollo sostenible”. Se mostrará cómo, con base en diversas posturas filosóficas, surgen interpretaciones respecto de los métodos o estrategias para alcanzar la sostenibilidad. Así, se generan interpretaciones y métodos de valoración bien diferenciados, los cuales deben ser identificados, a fin de no confundir las unidades que los componen.

Ante la coyuntura anteriormente descrita, se pretende construir teóricamente el concepto de ciudad y territorios sostenibles, a fin de identificar sus factores más determinantes. Dicha

construcción y definición ayudará a establecer lo que se incluirá como variables en el estudio. Se introducirá la caracterización teórica de los componentes de una ciudad sostenible y la construcción de indicadores de sostenibilidad para las ciudades. Aquí se describen las teorías que definen y dan forma a indicadores de desarrollo sostenible.

Para completar el marco referencial, el último apartado presenta el análisis sistémico e incorporación de variables. Se introducen términos como el bioclimatismo, la isla de calor y el metabolismo, todos desde una perspectiva de análisis de los fenómenos urbanos. La relevancia de estas posturas para las regiones tropicales así como la confluencia en las variables apoyará en la conformación del modelo de evaluación.

1.1. Caracterizaciones teóricas del espacio urbano.

Harvey en 1996, argumentó que el espacio es hecho por procesos (biológicos, físicos, sociales, culturales) y que éstos son constituidos por si mismo entre diferentes tipos de entidades. De igual manera, Thrift (1996) lo concibe como no representacional, un sitio en proceso que tiene que estar constantemente en acto y a través de numerosas prácticas cotidianas. En cambio, los espacios permanentes son sólo alguna vez estabilizados provisionalmente, porque la multitud de entidades en relación están constituidas a partir de ellos. Teniendo la referencia de un autor más, se cuenta con Massey (2005, p. 9) que aporta 3 características del espacio: La primera es que éste es el producto de las interrelaciones; por lo tanto se debe reconocerle “En su composición a través de interacciones, de la inmensidad, de lo global a lo íntimamente minúsculo”; la segunda consiste en que es el ámbito de la posibilidad de la existencia de la multiplicidad; lo que da a entender es que el espacio es “como la esfera en la cual distintas trayectorias coexisten; por lo tanto en la esfera coexiste la heterogeneidad' y la tercera es que está siempre bajo la construcción; "siempre está en el proceso de ser hecho. Nunca es terminado y nunca cerrado”.

Por lo tanto siempre habrá conexiones aun por hacerse, yuxtaposiciones aún a flor en interacción, relaciones que pueden o no pueden ser logradas. Esta combinación significa que el espacio es la condición para lo inesperado; y viéndolo en un plano, se puede decir que es el paisaje en la cual se presencian una serie de sucesos o fenómenos que se pueden apreciar, mientras se van por trayectos. Por eso, Massey supone que los componentes de un sitio estarán distribuidos en diversas etapas y velocidades (Massey, 2005, p. 11).

Continuando con el espacio pero ahora como ciudad, Lefèvre (2009) explica las posibles ciudades con relación a la distribución espacial de los viajes. Donde la forma urbana que más ha

inspirado a modelos económicos de la dinámica urbana es la ciudad monocéntrica con un "Distrito Central de Negocios" (DCN). Trabajos con los de Alonso (1964), Mills (1967) y Muth (1969) sobre los gradientes de densidad en las zonas urbanas, están basados en un supuesto de ciudad monocéntrica. Con paso el tiempo, llegó a estar claro que muchas estructuras de la ciudad no siguen el modelo monocéntrico y que las actividades generadoras de viaje se distribuyen en "clusters (grupos)" en toda la zona urbana y fuera del DCN. Bertaud identifica cuatro casos para describir la distribución espacial de viajes de una ciudad

El primero se refiere al modelo monocéntrico, donde dice que el mercado de trabajo puede permanecer unificado desde desplazamientos de los suburbios al centro, es fácilmente alcanzado a lo largo de los caminos radiales o medio de transporte ferroviario (Figura 1). Si los mercados de tierras y bienes raíces son casi o completamente libre de regulación, la densidad tiende a seguir el precio de la tierra y el gradiente de densidad tiene una pendiente negativa del centro a la periferia¹ (Lefèvre, 2009).

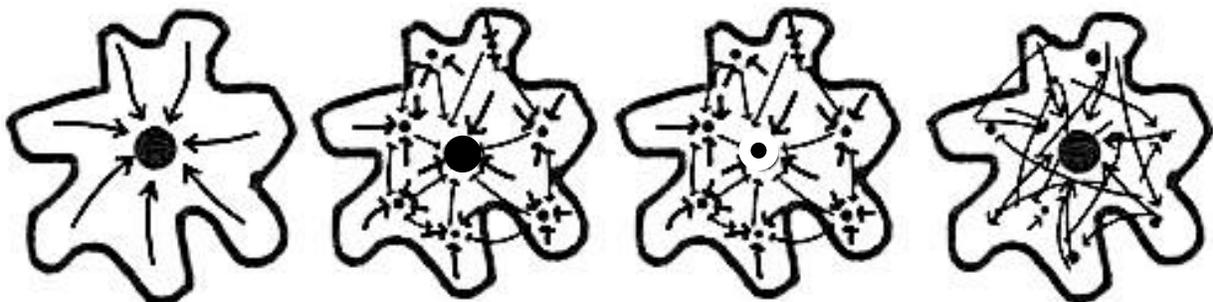


Figura 1. Evolución de la concepción estructural de la ciudad

Fuente: Elaboración propia con base en Lefèvre (2009).

Después, también representada en la Figura 3, se encuentra la ciudad policéntrica del tipo de "aldea urbana". Algunos urbanistas ven este modelo como una especie de ideal con las comunidades emergentes alrededor de un grupo de trabajo. Estos "pueblos urbanos" autoportantes se agregan para formar una extensa ciudad policéntrica con una densidad media a

¹ Londres y Nueva York y, curiosamente, también de Shangai, la cual es una ilustración del hecho de que, en ausencia de un mercado, el mismo resultado puede obtenerse a través de la planificación.

veces bastante baja. A pesar de la dispersión, en tales ciudades, los viajes son extremadamente cortos. Idealmente, todo el mundo puede caminar o pedalear al trabajo. Según Bertaud, estas condiciones ideales nunca, por desgracia, se han observado en cualquier ciudad. Suman a una fragmentación extrema del mercado laboral. Esta visión de "pueblos urbanos autoportantes" es, por lo tanto, una contradicción de lo que es para muchos la razón de ser de las megaciudades: economía de escala obtenida a través de un mercado de trabajo amplio e integrado. Y sin embargo, esta visión utópica es persistente en la mente de muchos planificadores urbanos.

Las ciudades satélites están directamente relacionadas con la construcción de viviendas y la existencia de empleo local. De hecho la mayoría de las personas que viven en estas ciudades satélites viajan a trabajar en la ciudad mientras que habitantes de la ciudad ocupan los puestos de trabajo disponibles en las ciudades satélite. El resultado es un tercer tipo de ciudad: la ciudad policéntrica con movimientos casi tipo "Browniano" (Lefèvre, 2009).

El cuarto tipo de ciudad es el resultado de un desarrollo inicialmente de grandes ciudades monocéntricas cuyas estructuras han evolucionado gradualmente hacia un modelo policéntrico. El Distrito Central de Negocios (DCN) pierde su primacía y sus grupos de actividades generadoras de viajes están distribuidos en las zonas urbanas edificadas (Figura 3).

Las Mega-ciudades no nacieron policéntricas, evolucionaron gradualmente a esa formación. Ciertas circunstancias tienden a acelerar esta mutación hacia el policentrismo. Lo anterior puede ser un centro histórico con pocas comodidades, una alta tasa de motorización, bajo costo de tierra, topografía plana, una red viaria de la cuadrícula. Otros factores tendería a frenar tal mutación: un centro histórico con buenas comodidades, el transporte público basado en el ferrocarril, una red de calles originalmente de tipo radial y topografía desfavorable para facilitar la comunicación entre barrios (Lefèvre, 2009).

En una ciudad policéntrica, cada centro secundario genera viajar toda la zona urbana. Los puntos de origen y destino se encuentran altamente dispersos para estos viajes; lo cuales son casi al azar. Por lo tanto tienden a ser más largos que en una ciudad de monocéntrica, todo lo demás sigue igual. Bertaud considera que también es de esperarse que las ciudades policéntricas tengan una pendiente negativa en gradiente de densidad centrada en el "centro de gravedad" de la zona urbana, que puede o no ser el DCN. Pero la pendiente no puede ser tan empinada como para una ciudad de monocéntrica, ya que la proximidad del centro de gravedad proporciona menos accesibilidad a todo el conjunto de destinos que es el caso en una ciudad de monocéntrica. Así, la organización de las ciudades es dictada por los mercados de bienes, donde el tamaño relativo de la ciudad es una función de los tipos de bienes de consumo vendidos (Lefèvre, 2009).

El Banco Mundial (2005, p. 34) llegó a la conclusión de que tanto las ciudades con estructuras compactas como en la muy común dispersa, tienen un crecimiento que va en declive en densidad. Tal conclusión fue obtenida a través de un estudio sobre la expansión urbana global. A continuación se denotan los diferentes enfoques con los que se ha estudiado la relación entre dispersión y policentrismo (con estrategias cuantitativas) por García & Muñiz (2007).

Hay trabajos nuevos con enfoque cuantitativo que incluye al policentrismo como una de las dimensiones de la dispersión. Por lo tanto el policentrismo es un modelo que vuelve como característica principal la dispersión (Galster *et al.*, 2001; Tsai, 2005; Glaeser y Kahn, 2004; Wolman *et al.*, 2002).

Desde otra perspectiva, el policentrismo y dispersión son dos términos opuestos. Para los planificadores con formación sólida y que para quienes trabajan en Europa les resulta molesto estos términos. Puesto que para volver una ciudad monocéntrica, se debería enfatizar más en forzar densidades periféricas de población y empleo con la planificación que al ser llevada a cabo podría mejorar esencialmente el modelo de crecimiento. Los seguidores de Howard, Geddes y

Mumford (Hall, 1996) han regido una excelente experiencia en la planificación de ciudades policéntricas en países europeos; algo más reciente que dio propuestas urbanistas es el Libro Verde sobre Medio Ambiente Urbano (CE, 1990), o el popular libro de Richard Rogers Ciudades para un pequeño planeta, (Rogers & Gumuchdjian, 2000).

Otra postura indica que la dispersión es un estadio de desarrollo urbano posterior al policentrismo (Gordon & Richardson, 1996). Aquí, la baja densidad y la discontinuidad son la clave principal para que un modelo de localización de la actividad económica tenga éxito (García & Muñiz, 2007, pp. 29-30). La idea es que la fricción por la dispersión espacial puede ser reducida con mejoras en las comunicaciones (p. 31). Algunos autores defienden al policentrismo como la “forma más ambientalmente sostenible” respecto de las existentes, debido a que ofrece una base para el servicio de transporte público así como apuntalar el uso eficiente del espacio (Lambregts, 2009, p. 13).

1.1.1. De la Nueva Economía Urbana (NEU) a la Geografía Ambiental.

La importancia de la ubicación ha sido abordada por la economía espacial y la geografía económica desde inicios del siglo XIX; con obras como la “teoría del desarrollo concéntrico” de von Thünen², la “teoría de los lugares centrales” de Christaller³ y las contribuciones hacia la “economía espacial” de Hotelling⁴. Estas teorías clásicas de Christaller, Hotelling, von Thünen son clasificadas por Button (1998, p. 13) como la primera ola. La segunda fue la Nueva Economía Urbana (NEU), la cual parte de postulados de la economía neoclásica y cuenta con una perspectiva de que la renta ofertada (*bid rent*), la cual puede aumentar la distancia al Distrito Central de Negocios (DCN) (Alonso, 1964, p. 27).

Antes de la década de 1970, una variedad de autores⁵ comenzó a desarrollar modelos matemáticos para explicar el crecimiento dinámico de formas urbanas simples (Button, 1998, p. 2). Incluso al añadir atributos ambientales como fuerzas centrífugas, Mirrlees en 1972 había utilizado la densidad de población como un proxy y posteriormente Roback en 1985 adoptó un aire limpio, delincuencia baja y un buen clima como atributos ambientales (Citados en: Button, 1998, p.6). Así, la NEU pretende explicar la dinámica espacial capitalista incorporando a la ciudad como factor, donde toda actividad económica requiere un donde localizarse (Garza, 2013,

² Johann Heinrich von Thünen (1783-1850) plantea la teoría en sus trabajos de 1826 y de 1842: *Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*; que se traduce como: “El estado de aislamiento en relación con la agricultura y la economía” y *Untersuchungen über den Einfluss, den die Getreidepreise, der Reichtum des Bodens und die Abgaben auf den Ackerbau ausüben*; que en español se traduce como: “Análisis sobre la influencia que ejercen los precios de los granos de la riqueza de la tierra y los impuestos sobre la agricultura” respectivamente.

³ Walter Christaller (1893-1969) plantea la teoría en su trabajo de 1933: *Die zentralen Orte in Süddeutschland: Eine ökonomisch-geographische Untersuchung über die Gesetzmässigkeit der Verbreitung und Entwicklung der Siedlungen mit städtischen Funktionen*; que se traduce como “Lugares centrales en el sur de Alemania: una investigación económico-geográfica dentro de la legalidad de difusión y el desarrollo de los asentamientos urbanos con funciones.

⁴ Harold Hotelling (1895-1973), que en su artículo de 1933 defendía al espacio como algo más que un obstáculo para la circulación de mercancías, sino más similar a un campo en el que los competidores se empujaban para estar más cerca de sus clientes.

⁵ Como Alonso (1964), Mills (1967) y Muth (1969).

p. 15.). Para que la renta del suelo sea analizada, se tiene que estudiar el comportamiento de la densidad de la población. Para la NEU el comportamiento de la renta del suelo puede ser explicado analizando al mismo tiempo dos cosas: la localización de la población en relación al empleo y el costo del transporte residencia-trabajo⁶ (Alonso, 1964, p. 27). Desde sus primeras etapas NEU, al igual que ciencia en su conjunto, ha tomado prestado una variedad de disciplinas para formar sus fundamentos teóricos y empíricos; así como, el número de contribuciones directos e indirectos a la escuela de pensamiento son innumerables (Button, 1998, p. 2).

Se parte de que toda actividad económica requiere un donde localizarse y la concentración de actividades económicas genera “externalidades”, denominadas economías de aglomeración y urbanización (Garza, 2013, p. 15.). Dado que los costos aumentarían por el desplazamiento de la residencia a trabajo, la renta del suelo sería menor; en pocas palabras se haría un menor uso intensivo del suelo, por lo tanto, habría menor densidad (Alonso, 1964, p. 27). La NEU es un enfoque que evolucionó entre las décadas de los 60s y los 90s, y su desarrollo puede caracterizarse por cuatro etapas de la investigación, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Evolución de la Economía Urbana

Nuevo Modelo de Economía Urbana				Problemas
				Modelos monocentricos carecen de realismo Ningún área urbana 100% monocéntrica Ignorar cuestiones políticas e institucionales Ciudades de borde corrompe el modelo estándar
La fase del precursor.	La fase de desarrollo.	La fase de extensión.	La fase de desafío	
60's	70's	80's	90's	

Nota. En modelos posteriores para la localización de una residencia, se agregaron aspectos como el contacto con la naturaleza o las externalidades negativas o positivas de vecindario. Fuente: elaboración propia con base en Button Kenneth (1998). “Where did the 'New Urban Economics' go after 25 Years?”. (p. 2, 10). Artículo para el 38° Congreso de la Asociación Europea de Ciencia Regional. 28 de agosto al 01 de septiembre, Viena.

Entonces resultaría importante recalcar el papel fundamental de los DCN y subcentros, que no son sólo para concentrar los empleos, sino que al hacerlo, las condiciones de densidad de la

⁶ Tiempo después, en modelos posteriores para la localización de una residencia, se agregaron aspectos como el contacto con la naturaleza o las externalidades negativas o positivas de vecindario.

población y del empleo se puede extender en el resto de la región urbana al forzar densidades elevadas en las zonas próximas y bajas en las más alejadas (Alonso, 1964). De manera que, para que un empleo localizado afuera de los DCN pueda tener una economía de aglomeración, se debe tener un mecanismo de compensación que consiste en tener una renta del suelo menor (y por ende una densidad menor) para que el empleo que se encuentre lejos de los DCN tenga para costear en transporte (p. 27).

Estos modelos tienen limitaciones inherentes porque por su poder de análisis se basan en suposiciones muy restrictivas; tienden a limitar la aplicabilidad a la abstracción. Su aislamiento de la realidad parece ser particularmente cierto en la década de 1990, cuando las áreas metropolitanas estaban en un estado de reformulación (Button, 1998). En la década de 1990, se describe la decadencia de la DCN y el surgimiento del centro de empleo suburbano (ciudad de borde⁷) la cual cambia la propia naturaleza de la apariencia de las áreas urbanas (p. 2).

De hecho el gasto de localización en los suburbios ha sido menor que en el DCN, una ventaja suburbana que parece estar disminuyendo a medida que pasa el tiempo. Cierta evidencia empírica sugiere que, respecto de los establecimientos comparables en los suburbios, los del DCN son menos rentables (Dobson & Gerrard 1991). Lo anterior se ve influenciado por que el aumento en la tecnología de la información y la comunicación ha tendido a aumentar la tasa de suburbanización (Chinitz 1991). Después se advirtió que el DCN ya no era el único lugar donde encontrar empleo bien remunerado, ni los suburbios lugares que se puedan simplificar en calidad de vida residencial y comercio al menudeo (Button, 1998, p. 2). Darse cuenta de que las zonas urbanas fueron definidas más por los nodos que por el centro de empleo de Distrito Central de Negocios (DCN) y residencias suburbanas (p. 8).

⁷ A través de la publicación de Garreau's (1991) *Edge City: Life on the New Frontier*, donde las Ciudades de borde pueden generar empleo suburbano y nodos comerciales, que en la década de 1990 tenían un gran efecto sobre la vida suburbana como los centros comerciales lo hicieron a sólo veinte o treinta años (citado en: Button, 1998, p. 2).

El enfoque más reciente en el desarrollo de modelos NEU es abrazar las sutilezas de la no monocentralidad. Está claro que, en realidad, no todo el empleo está en el núcleo urbano y que el desplazamiento no es unidireccional (Button. 1998, p.6). Estudios como el de Chau *et al.* (2007, p. 591) siguen aprovechando herramientas económicas neoclásicas, donde se predice la altura óptima de las edificaciones en ausencia de regulaciones de niveles; las predicciones resultantes del modelo fueron consistentes con las observaciones empíricas. El análisis de las ciudades periféricas se constituye como la tercer ola descrita por Button (1998, p. 13). Más recientemente, términos como: “Ciudad difusa”, “Postmodernismo” y “exópolis”, “peri urbanización” en Europa y “Suburbanización” en Norteamérica han surgido en la nueva construcción teórico-empírica para intentar explicar la nueva realidad urbana (Hoyos, 2012, p. 35).

Para la geografía, la tendencia de realizar un análisis espacial de la influencia de la actividad humana sobre el ambiente se da en la tradición hombre-medio, lo cual ha desembocado en la aparición del concepto “puente”⁸ de la Geografía Ambiental o Geografía del Ambiente (Bocco *et al.*, 2005, p. 24; Reboratti, 2011, p. 36). Se referencia a la Geografía Ambiental como una basada en un compromiso social, con incidencia en el debate público y la sociedad (Klooster, 2011, p. 349). Los geógrafos ambientales estudian en relación algún aspecto de la sociedad o la naturaleza, pretendiendo con ello gestionar adecuadamente estas relaciones socio-naturales (Mathewson, 2011, p. 54-55). Indispensablemente, un geógrafo ambiental, integra conocimientos y metodologías de las ciencias biofísicas y sociales (Castree *et al.*, 2009, p. 7-8, Klooster, 2011, p. 349, Mathewson, 2011, p. 54-55). Las aproximaciones que ha adoptado la Geografía Ambiental, así como las prácticas y temas aracterísticos de esta rama se resumen en la Tabla 2.

⁸ Partiendo de la unión de perspectivas de análisis de la Geografía Humana y la Geografía Física, requeridos ambos enfoques para poder afrontar integralmente cualquier problema ambiental.

Tabla 2: Aproximaciones, practicas y temas de la Geografía Ambiental.

Aproximaciones	Prácticas presentadas	Temas característicos
Ciencia del sistema-tierra ^a	Teledetección	Predicción y gestión de ecosistemas
Cambio en la ocupación de suelo	Modelado y simulaciones	Medio ambiente y desarrollo
Ecología: Natural y política	Evaluación integrada	Peligros naturales
Estudios del cuaternario	Etnografía	Gobernabilidad ambiental
Historia ambiental	Análisis del discurso	Bienes públicos y de libre acceso
Marxismo		Agua
Estudios del paisaje		Transformaciones de energía
		Alimentos y agricultura
		Medio ambiente y salud

Nota. ^a Diferente de “Ciencias de la Tierra”, ya que no se trata de diversas diciplinas estudiando de manera independiente la estructura, morfología, evolución y dinámica del planeta, sino de una integración de varias perspectivas de estudio en búsqueda de comprender la manifestación sistémica de la Tierra. ^b Proporciona herramientas para la toma de decisiones y la asignación eficiente de recursos con base en investigaciones que registran históricamente el cambio en la ocupación del suelo. Fuente: Elaboración propia con base en Mathewson K. (2011). “Sauer’s Berkeley School Legacy: Foundation for an Emergent Environmental Geography?” (p. 55). En Bocco G., Urquijo P. & Vieyra A. (eds.), Geografía y ambiente en América Latina, Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental [CIGA] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], Instituto Nacional de Ecología [INE]. Ciudad de México.

Si bien la describen como una aproximación relativamente reciente, que pretende ser integral, donde los fenómenos humanos que interactúan con el medio ambiente físico (Bocco & Urquijo, 2010). O donde para afrontar la desigualdad, la lectura de patrones espaciales facilita el realizar propuestas que democratizan el territorio de manera sostenible (Cabral, 2011, p. 48).

1.1.2. El debate en la concepción del modelo urbano.

Para Rogers & Gumuchdjian (2000, p. 49) la ciudad sostenible tiene múltiples facetas, entre las que se encuentran que sea justa socialmente que favorezca el contacto y movilidad de sus habitantes, además de bella, creativa, ecológica, diversa, compacta y policéntrica. Cabe resaltar el hecho de que, si bien los primeros puntos son cualidades a nivel de principios, los últimos aspectos son normativos de la disposición espacial de la población.

En otro orden de ideas, Flores (2010, p. 8) se manifiesta a favor de promover ciudades más compactas que favorezcan el desplazamiento peatonal, las rutas verdes, la permanencia, el transporte público y alternativo que en general desincentive el uso del automóvil. De hecho, la postura que pugna por la densidad como principal determinante de la ciudad sostenible ha sido la más privilegiada por la literatura.

A continuación, para Guy & Marvin (1999, p. 269) existe una visión dominante al momento de definir una ciudad sostenible. Entonces resulta que existen, según el tema que se aborde, dos visiones respecto del tratamiento que se le debe dar al diagnóstico, análisis y evaluación de la sostenibilidad urbana. Consecuentemente, a manera de guía en la Tabla 3 se compendian estas posturas, donde la visión dominante de la delimitación física parte del análisis ecológico de los flujos de materiales y energía de la ciudad con su medio ambiente circundante. Aquí se cuantifican para estimar la huella urbana y así evaluar la capacidad de carga de la urbe. A continuación, se sistematizan estrategias para incidir en la movilidad, la energía, el manejo de residuos etc., las cuales son conocidas como “mejores prácticas”. Estas se promocionan y difunden globalmente como la ruta hacia la ciudad sostenible. No obstante, existe una trampa en su implementación, ya que se constituyen en un camino técnico único y predefinido, no adaptado al contexto, factores y circunstancias del espacio geográfico (Guy & Marvin, 1999:, p. 269).

Tabla 3: Posturas sobre la investigación en ciudades sostenibles.

Posturas sobre las ciudades sostenibles	Visión dominante	Visiones alternativas
Definición.	Delimitada físicamente	Socialmente construida
Re-construcción	Mejores prácticas	Innovaciones medioambientales en competencia comercial
Vías hacia	Superando barreras sociales	Coaliciones de interés según contexto
Implementación de políticas	Actuación de políticas (de arriba abajo)	Asociación social (de abajo hacia arriba)

Nota. Fuente: Guy S. & Marvin S. (1999). "Understanding sustainable cities: competing urban futures" (p. 269) en *European Urban and Regional Studies* 0969-7764 (199907) 6:3. SAGE Publications, London, Thousand Oaks and New Delhi, Vol. 6 (3): 268–275.

Finalmente, tal como lo afirman Guy & Marvin (1999, p. 272) ningún modelo descrito tiene la exclusividad respecto de la concepción de "ciudad sostenible" debido a que no puede reducirse a una simple visión o definición estándar. Consecutivamente, en el siguiente apartado se abordará la construcción de indicadores de urbanismo sostenible, a fin de ahondar en los métodos para obtener datos cuantitativos de la sostenibilidad urbana.

La caracterización y generación de alternativas ante los problemas de los espacios urbanos en su relación con el medio ambiente se ha abordado desde diferentes enfoques. En si las ciudades son centros generadores de contaminación del agua y suelo a través de sus residuos sólidos y líquidos, estos se trasladan hacia sus áreas circundantes que, generalmente, se ven alcanzadas por sus cinturones de pobreza generando problemas de salud. En este contexto surgen dos alternativas planteadas como disyuntivas de política pública: la ciudad compacta y la ciudad difusa. En la primera, se plantea que las altas densidades se traducen en una disminución de costo de infraestructura pública y gasto energético. La segunda, permite mejoras en la calidad de vida, la autoproducción de alimentos y el manejo de residuos orgánicos (CCEE, 2007, p. 159).

Cerca del 70% de todo el consumo energético humano se destina a las ciudades, y de este, la energía destinada a las edificaciones fluctúa entre el 25 al 40%. El consumo de electricidad y la climatización artificial generan CO₂, el cual es el principal contribuidor al calentamiento global (Piguet, Blunier, Loïc, Mayer & Ouzilou, 2011, p. 567). En este contexto urbano, se estima que

para el 2050, el incremento de consumo per cápita y el aumento de la población urbana, expandan en un 45% el total del consumo energético atribuido a los edificios (Vettorato, Geneletti & Zambelli, 2011, p. 557). En consecuencia, la búsqueda de soluciones sostenibles van desde los que promueven la búsqueda de energías alternativas y los que pretenden disminuir la tendencia de consumos energéticos per cápita. Pero tal como lo exponen Vettorato, Geneletti & Zambelli (2011, p. 558), no existe un modelo universalmente replicable, ya que se omiten recurrentemente factores físicos y ambientales. Lo anterior se refiere a que, por un lado, la ubicación inapropiada de la edificación disminuye los beneficios de los diseños pasivos. Por otro lado, la captación de energía solar depende de la latitud, la morfología del terreno, así como variables climáticas como la nubosidad y la turbiedad atmosférica⁹.

De ahí que se infiera que respecto al patrón de ciudad expandida, el modelo de ciudad compacta acerque los lugares de trabajo a las viviendas favoreciendo el transporte público, peatonal y alternativo. Actualmente, se realizan numerosos estudios sobre la densidad, uso mixto del suelo y la sostenibilidad. Tal es el caso de la ciudad de Calgary en Canadá y Los Cabos en México, en donde se estudio las implicaciones de los modelos de crecimiento en el costo de infraestructura. En este último se analizaron 19 indicadores de los rubros de infraestructura y equipamiento en dos escenarios. Ambos estudios concluyen que se ven reducidos los gastos de la infraestructura, equipamiento así como los costos de mantenimiento y operatividad (Secretaría de Desarrollo Social, 2012). De ahí que durante el sexenio pasado se promoviera la política pública de control de la expansión urbana, su densificación y adecuada distribución de equipamiento, privilegiando al peatón, el transporte público y el no motorizado (Secretaría de Desarrollo Social, 2012, p. 147).

⁹ Se define como el fenómeno de desvío de la radicación solar directa, ocasionado por la presencia de aerosoles en la atmósfera.

De acuerdo a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE] (2012, p. 73) todavía no se comprende, ni existen estudios que sustenten con bases sólidas, cómo las políticas de ciudad compacta pudieran ayudar a lograr la sostenibilidad urbana. De ahí que recomiende la elaboración de estudios cuantitativos que integren los múltiples objetivos de la sostenibilidad desde diversas perspectivas.

En general, se considera que los modelos de desarrollo urbano sostenible dependen del refuerzo y de la renovación de los tejidos existentes, y de la aplicación de principios bioclimáticos a todas las actividades que en ellos se desarrollan. No obstante, la energía usada en el transporte es semejante a la que utilizan los edificios. Por eso, se están realizando estudios sobre la relación entre los coeficientes de utilización del suelo, el uso mixto y la sostenibilidad medioambiental, incluyendo el transporte, donde se favorece el transporte público y el no motorizado (CCEE, 2007, p. 159).

Barton, Davies & Guise (1995), aseguran que en la “teoría de la forma urbana sostenible” hay distancias umbrales para el funcionamiento efectivo de una forma de ciudad compacta, donde los ciclistas y peatones son importantes. Los asentamientos sostenibles sugieren un máximo de 5km entre la periferia y el centro de la ciudad. Una razón para esto es que 5 kilómetros es la distancia que las personas están dispuestas a recorrer. Mas que la distancia hay una reducción en los conductores. Muy pocas personas recorren regularmente más de 8 km.”

Las densidades altas pueden significar un menor consumo de energía en los edificios, mayor de tamaño de las zonas verdes, mayor uso de transporte público y más posibilidades de utilizar sistemas de calefacción colectivos, como la calefacción urbana. También pueden producir beneficios socioeconómicos; por ejemplo la supervivencia comercial de muchos servicios depende de las densidades relativamente altas que garanticen suficiente número de cliente. El

Ministro del Medio Ambiente británico recomienda “concentrar urbanizaciones residenciales de alta densidad cerca de los centros de transporte público, manteniendo las densidades existentes o aumentándolas cuando sea posible”. La organización Amigos de la Tierra sugiere que, en general, la densidad de las ciudades debería ser aproximadamente equivalente a la de una calle con edificios de dos o tres plantas (CCEE, 2007, p. 159).

Para aprovechar mejor la infraestructura y el espacio urbanos, se recomienda planificar de manera compacta la ciudad. Lo anterior se logra con sistemas eficientes y diversos de transporte público, la eficiencia energética en las edificaciones y el tratamiento y reúso de los residuos (Banco Interamericano de Desarrollo, [BID], 2012, p. 79). El contar con una ciudad compacta, “traería consigo resultados positivos”, como el ahorro sustancial en el presupuesto municipal, además, se agregan aspectos como la aglomeración, que es un factor que genera buenas condiciones para la innovación y el desarrollo económico. Además, se cree que las ciudades más compactas son capaces de conservar componentes importantes del ecosistema natural por fomentar patrones de desarrollo compacto que están situados alrededor de y entre hábitats naturales importantes (Instituto Mexicano para la Competitividad [IMCO], 2012, p. 96-97).

En materia ambiental, con la proximidad, se disminuye el uso del automóvil y hay una reducción de gases de efecto invernadero; incluso se propicia la viabilidad de un transporte público de calidad, y la movilidad no motorizada, promovida con el uso de la bicicleta o el caminar (Secretaría de Desarrollo Social [SEDESOL], 2012, p. 79). Así mismo, hay otros aspectos importantes como mayor utilización de la energía y la generación local de energía en todo el distrito, un uso óptimo de los recursos de tierras y más oportunidades para los vínculos urbano – rurales, e) la prestación de servicios públicos más eficientes ; y un mejor acceso a una diversidad de servicios locales y puestos de trabajo (OCDE. 2012, p. 56). Así, un edificio con

muchos habitantes tiene una demanda de infraestructura menor respecto de lo que necesita a comparación de lo que necesitarían las mismas personas en viviendas unifamiliares por separado (pavimentación, instalaciones de gua, eléctricas, etc) (Parra, 2008).

En Chicago y Cleveland los costos marginales de operación y mantenimiento de los sistemas de aguas residuales son menores en zonas densas en comparación de las poco densas (*Natural Resources Defense Council*, 1998). El éxito está en conservar las características de una ciudad compacta y no caer en el crecimiento fuera o alejados del primer cuadrante, evitando crear nueva infraestructura y usar la ya existente. (International Community Foundation [ICF] *et al.*, 2012, p. 57). La competencia y derroche de conocimiento tienden a aumentar en una ciudad compacta, reduce efectos negativos como emisiones y el uso de recursos para abastecer servicios, promueve una mejor convivencia social con aún más resultados positivos (IMCO, p. 96-97). La ciudad adquiere entonces la capacidad de transformarse de manera sostenible en lo social, económico y ambiental, brindando un mejor entorno urbano para la población residente y el turismo (SEDESOL, 2012, p. 79).

Las políticas de la ciudad compacta ofrecen oportunidades para la sostenibilidad urbana, pero también plantean preocupaciones. Aunque la posibilidad de resultados negativos debe ser considerada cuidadosamente, el potencial de la ciudad compacta no debe descuidarse. Una ciudad compacta tiene el potencial para generar y respaldar el crecimiento económico. Eso puede hacer más eficiente la prestación de servicios públicos y promover las economías de aglomeración. Y eso ha sido, o puede ser utilizado para abordar los tres pilares de la sostenibilidad urbana: ambientales, sociales y económicos.

Existen argumentos a favor tanto de la urbanización de alta densidad como de baja. Por ejemplo, la CCEE (2007) menciona que un área de baja densidad urbana suele tener mejores

servicios, y en el lado negativo puede tener contaminación y carencia de espacios públicos. Breheny (2003) critica que la ciudad compacta sea presentada como "la gran idea" con "nada menos en juego que el futuro del estilo de vida occidental". Para Fulford (2003), la ciudad compacta es a menudo presentada como "la solución visionaria actual" por lo que apresuradamente adoptada por académicos y políticos como la "panacea para todos los males urbanos"¹⁰.

En cuanto a las de urbanización de densidad baja, cuentan con mayor calidad de vida, viviendas con gran amañó de espacios, con la ventaja de usar tal espacio demás en trabajo en casa, jardín o huerto; pero, trae consigo, problemas en cuanto el consumo de transporte puesto que no es tan eficiente (CCEE, p. 159). Por su parte, los edificios altos generan mayores impactos sobre el entorno exterior, tales como turbulencias de viento, sombras solares y pluviométricas (CCEE, 2007). Las personas de escasos recursos económicos tendrían poca accesibilidad a las viviendas si se reduce el tamaño y la densidad para mejorar el microclima; porque los beneficios bajan y se incrementa el costo de inversión. Luego de tanto análisis de varias densidades, los autores llegan a que "la densidad no es el aspecto importante a alcanzar; sino que la forma del edificio es la más significativa" (p. 159).

Sin embargo, autores como Gordon & Richardson (1997, p. 95) consideran que el apoyar por ciudades compactas es un contradicción con relación a la dinámica natural de las ciudades hacia la dispersión. Argumentos a favor y en contra de ambas posturas son sintetizados en la Tabla 4. Al respecto, los defensores de la ciudad compacta testifican que: existen más economías de la aglomeración para empresas, menor dependencia del automóvil en los hogares, disminución del deterioro ambiental, menores niveles de contaminación y mayor calidad en los servicios. Respecto del fenómeno de dispersión, se califica como: minimalismo moral evidenciado por la

¹⁰ En inglés la describen sarcásticamente como: "all-embracing panacea of urban ills".

carencia de involucramiento en asuntos comunitarios y el control social: ayudan a desarrolladores y a sus aliados políticos (teoría de los grupos de interés) (Gordon & Richardson, 1997, p. 95).

Tabla 4: Tesis y Antítesis de la ciudad compacta

Tesis	Antítesis
La presión sobre la tierra agrícola de primera.	No hay falta de alimentos y tierra fértil, sino pobreza y mala repartición (Gordon & Richardson, 1997, p. 96)
Las preferencias residenciales.	La urbanización de baja densidad es donde se prefiere vivir, lo cual no está enlazado a incentivos gubernamentales ni a determinadas políticas de urbanización.
Los ahorros energéticos.	El vínculo entre compacidad urbana y reducción de las VMT* no es claro (Gordon & Richardson, 1997, p. 97).
El potencial de ampliar el uso de transporte TODs**.	Es un gasto costoso si en las bajas densidades invierten en sistemas de transporte público (Gordon & Richardson (1997, p. 97)
Los costos y beneficios de la suburbanización.	La industria laboral se sigue dando a los suburbios, bajando presión en los centros urbanos tradicionales, por efecto la suburbanización disminuye el caos vehicular (Gordon & Richardson, 1997, p. 98).
Los efectos ganados por la compacidad.	Las fuentes de agua potable o las plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales no se ubican en los centros urbanos tradicionales, son gastos de la provisión de infraestructura pública e incrementan en función de la distancia de las instalaciones centrales. Además, es de muy poco significado la diferencia que hay entre los gastos del manejo del congestionamiento vehicular, la disposición, la seguridad pública y la recolección de residuos sólidos (Gordon & Richardson, 1997, p. 99),
El impacto de las comunicaciones en la evolución de la densidad.	La economía de la aglomeración es una ventaja de las ciudades compactas pero una desventaja es la congestión. Las aglomeraciones verticales o urbanizaciones con densidades altas son caras, y en un contrasentido agudo de éste, solo se ve la disminución de costos de transporte y comunicaciones. (Gordon & Richardson, 1997, p. 100).
Las perspectivas de los centros urbanos.	Gordon & Richardson (1997, p. 100) advierte el descenso paulatino de los centros urbanos.
La influencia del “Rent seeking” y la promoción de centros urbanos	Los grupos de interés de los centros urbanos en desperfecto tramitan recursos públicos para reparar sus males. El mantenimiento de estas distorsiones forma ineficiencias económicas (Gordon & Richardson, 1997, p. 101).
La equidad social de la compacidad	Gordon & Richardson (1997, p. 102) excluyen la prueba de que las ciudades compactas sean más equilibradas.
Los efectos en la competitividad entre ciudades.	El aumento de movilidad del capital provoca que las urbes compitan entre sí, consiguientemente la aceptación de políticas públicas de regulan o perturben patrones debe ser cuidadosa (Gordon & Richardson, 1997, p. 102).

Notas. * Siglas en inglés correspondientes a: “Vehicle Miles Traveled” que se traduce como Millas recorridas por vehículo. ** Siglas en inglés correspondientes a: “Transit Oriented Developments” que se traduce como Desarrollos Orientados al Transporte. Fuente: Elaboración propia con base en Gordon, P., & Richardson H. (1997). “Are Compact Cities a Desirable Planning Goal?”. *Journal of the American Planning Association* 63 (1), pp. 95-106. Chicago.

Para Guy & Marvin (1999, p. 268) con el modelo típico de la ciudad compacta se ha promovido una visión singular que corre con el riesgo de marginar visiones alternativas. Parece inconcebible que nadie se opondrá a la actual tendencia de la opinión pública hacia la promoción de un mayor desarrollo sostenible y de la ciudad compacta en particular (Smyth, 2003, p. 103). Si bien, hay algunas pruebas en cuanto a consumo de energía, costos de infraestructura y la

reducción de emisiones de carbono, sigue existiendo debate sobre si las políticas de la ciudad compacta tienen sólidos y positivos efectos sobre calidad ambiental (Jenks et al., 2003; OCDE, 2012, p.56). A la fecha el pilar medioambiental ha estado en primer plano, dado que los objetivos de sostenibilidad urbana son múltiples, los resultados de política compacta de la ciudad también deben ser examinados desde múltiples perspectivas (OCDE, 2012, p.73). Las políticas se han considerado solamente como una herramienta de planificación para proteger el medio ambiente y sus posibles beneficios en términos de viabilidad económica que a menudo pasado por alto.

Las densidades más adecuadas en las urbes tienen que ser examinadas de manera individual, tomando en cuenta sus propias características y su contexto, puesto que no hay una solución universal no existe (CCEE, 2007, p. 159). La falta de una comprensión clara de los resultados de la política, combinada con otros desafíos de política, incluyendo los costos, barreras de desarrollo y oposición de la comunidad, ayuda a explicar por qué las políticas de ciudad compacta no parecen tener apoyo general (OCDE, 2012, p.56).

1.1.3. La competitividad urbana y el costo social del agua.

En este orden de ideas, se buscaría una ciudad eficiente desde varios sentidos, procurando que se interrelacione, de modo competitivo, al contexto global (Massiris, 2012, p. 29). En consecuencia, desde la esfera de progreso económico y la incidencia que tiene en el bienestar social, se puede vincular el desarrollo con la concepción de “competitividad urbana”. La finalidad sería que cualquier propuesta contemple las mejores condiciones para que la ciudad sea un foco generador de empleo y crecimiento económico. Sin ánimo de profundizar en este tema, pero por considerar que su conocimiento y vinculación son necesarios, la Tabla 5 muestra un compendio de las acepciones de este concepto recopiladas por Sinkiene (2008, p. 13). A través de esta perspectiva, se destaca la íntima relación entre objetivos de progreso económico y social.

Tabla 5: Definiciones de Competitividad Urbana

Autor	Aspectos que enfatiza
OCDE	Competitividad de los productos de la ciudad; aumentar el ingreso de la población local.
Storper (1997)	Atracción / retención de las empresas exitosas; altos niveles de vida.
Webster & Muller (2000)	Incremento de la competitividad de los productos y servicios locales.
Gordon & Cheshire (2001)	Aumento de los recursos de capital, control de mercados, el bienestar de la comunidad local
Kostiainen (2002)	Capacidad para atraer flujos, entornos innovadores, competitividad de las empresas, altos niveles de vida.

Fuente: Sinkiene, J. (2008). “Urban Competitiveness Model” (p. 13). Resumen de disertación doctoral. Kaunas University of Technology, Facultad de Ciencias Sociales, Departamento de Administración Pública. Disponible en: <http://en.ktu.lt/sites/default/files/2008-12-11%20sinkiene.pdf>

Finalmente, el vínculo entre competitividad y el desarrollo sostenible se puede especificar más claramente en la caracterización que Daniels & Lapping (2007, p. 287) los cuales relacionan una “comunidad sostenible”, como la que provee a sus ciudadanos con un buen lugar para vivir y trabajar. Resulta comprensible que el Banco Mundial (2011) ha trabajado en un índice de

competitividad como componente para definir la sostenibilidad urbana tal como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6: Índices a desarrollar

Tema	Futuros índices
Economía	Índice de competitividad
Energía	Indicador del total de energía usada
Medio ambiente	Índice de gas de efecto invernadero
Gobierno	Índice de gobernanza
Cultura y recreación	Índice de cultura y recreación
Igualdad social	Índice de Capital social
Bienestar subjetivo	Índice de bienestar subjetivo
Transporte	Índice de accesibilidad urbana
Tecnología	Índice de creatividad
Agua	Índice de calidad de agua

Nota. Fuente: Banco Mundial (2011) “Importance of Land Use Planning” Modulo 1 Material imprimible del curso *Sustainable Urban Land Planning*. Disponible en <http://www.cityindicators.org/Default.aspx>.

Daniels & Lapping (2007, p. 288) afirman que una comunidad sostenible se logra mediante una combinación adecuada de activos económicos, liderazgo y suerte. Luego, para crear una comunidad sostenible recomiendan utilizar la planificación estratégica, identificando así las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas. Después, a través del manejo del uso de suelo, el diseño y los planes de desarrollo económico se procura mantener las fortalezas, combatir las debilidades, lograr oportunidades y prevenir las amenazas (p. 288).

En cuanto al costo social del agua, se elabora un breve recuento histórico respecto de cómo se constituye la idea del “costo social”. En primer termino se parte de una ancestral idea de la teoría del valor que se remonta a las primeras épocas de la filosofía. Desde entonces el hombre se preguntaba sobre los procesos de valorización. Mucho tiempo después en la época clásica de la economía surge una bifurcación importantísima para el presente tema. El constructo teórico que seguiremos es el adoptado por la escuela neoclásica en la teoría del valor subjetivo. Aquí se supone, en contradicción a la teoría del valor objetivo, que los valores asociados a la compra de un bien o servicio la asignamos individualmente. Basados siempre en los postulados de la escuela

neoclásica se llega a un salto explicativo relevante con la formulación de la utilidad marginal. El anterior esquema, con los teóricos correspondientes, es representado en la Figura 2.



Figura 2. Principales teóricos de utilidad marginal.

Fuente: Elaboración propia con base en Common M. & Stigl S. (2005). Ecological Economics: An Introduction. (p. 3). Editorial Cambridge University Press, 592 p.; Azqueta Oyarzum, D. (2007). Introducción a la economía Ambiental. (p. 70). 2a Edición, Editorial McGraw Hill, Madrid, España, 456 p.; Mankiw G. (2009). Principios de Economía. (p. 3) Cengage Learning Editores S.A. de C.V., México, 872 p.; Gilpin, A. (2010). Economía ambiental: Un análisis crítico. (p. 6). Ediciones Alfaomega Grupo Editor, México, 352 p.; Kolstad C. (2010). Environmental Economics. (p. 139). 2a Edición, editorial Oxford University Press, USA, 496 p.; Daly H. & Farley J. (2011). Ecological Economics: Principles and Applications. (pp. 19-20) 2a edición, editorial Island Press, Washington D.C., 488 p.

Uno de los grandes retos que se presentó a esta perspectiva, fue el de cómo valorar el bienestar social si se parte de una postura subjetiva. Aportaciones teóricas posteriores construyeron lo que hoy se conoce como la “economía del bienestar”. Es de aquí donde se dibuja la teoría de las fallas del mercado, las externalidades y muchas acepciones comunes en el lenguaje económico actual (Figura 3).



Figura 3. Principales teóricos de la economía del bienestar.

Fuente: Elaboración propia con base en Common M. & Stigl S. (2005). *Ecological Economics: An Introduction*. (p. 309). Editorial Cambridge University Press, 592 p.; Mankiw G. (2009). *Principios de Economía*. (p. 137). Cengage Learning Editores S.A. de C.V., México, 872 p.; Eriksson, R. & Andersson, J. (2010). *Elements of ecological economics*. (p. 86). Editorial Routledge, Francis & Taylor Group, New York, 164 p.; Gilpin, A. (2010). *Economía ambiental: Un análisis crítico*. (p. 6). Ediciones Alfaomega Grupo Editor, México, 352 p.; Kolstad C. (2010). *Environmental Economics*. (p. 81). 2a Edición, editorial Oxford University Press, USA, 496 p.; Daly H. & Farley J. (2011). *Ecological Economics: Principles and Applications*. (p. 430). 2a edición, editorial Island Press, Washington D.C., 488 p.

Más recientemente, y con base en lo expuesto con anterioridad surgió la economía ambiental, también conocida como economía del medio ambiente. Precisamente se pudiera englobar la base conceptual de análisis en dos términos: las fallas del mercado y las externalidades. Si además se considera al crecimiento económico como generador de bienestar y al ambiente como suministradora de bienes y servicios, se tiene por resultado que: un exceso de producción o consumo puede provocar pérdida de bienestar. De esta manera, para la economía ambiental la contaminación es un producto ambiental, los cuales se diferencian de los bienes convencionales, en que el mercado falla en asignarlos eficientemente (Kolstad, 2010). Una de las características

que ocasiona estas fallas, es que carecen de precio dada su misma naturaleza, de esta manera, las “externalidades”, los “bienes públicos”, y los “recursos comunes de libre acceso”, como pueden ser los servicios de la biosfera, se entienden como carentes de valor (Azqueta, 2007). Por ende, se puede afirmar que la economía ambiental se basa en que el mercado genera daños a la naturaleza al no asignar bien los recursos en el área ambiental. Se plantea así que, se puede disminuir en cierta medida las ganancias monetarias, siempre y cuando se justifiquen por la ganancia o pérdida de bienestar. Las implicaciones es que se justifica la intervención gubernamental para casos específicos (Muñoz, 2010).

1.2. El desarrollo sostenible y su evaluación

A manera de antecedente, durante los años 70's, se realizó en Argentina una de las primeras aproximaciones de un modelo de desarrollo global. El modelo conocido como Bariloche tuvo su origen en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano¹¹, sostenida en 1972 en Estocolmo, Suecia. El esquema analiza el “trilema” ético al cual está enfrentada la humanidad, donde se plantea la posibilidad de que se puede elegir y promover dos, dejando de lado o ignorando la tercera condicionante, de manera que, existen aparentes incompatibilidades de intereses (citado en: Eriksson & Andersson, 2010, p. 2).

En este contexto, el objetivo de la presente sección es delimitar teóricamente las aproximaciones que pretenden delimitan la concepción del desarrollo sostenible. Dicho concepto surgió como un llamado a atacar la desigualdad social mundial, la cual era y sigue siendo abrumadora. El desarrollo, en un contexto amplio, se tenía que dar en un escenario de uso racional de recursos naturales limitados.

La geografía, por ejemplo, es una visión de amplio espectro, significa tomar dos pasos hacia atrás para poder tener una perspectiva más amplia e integral de los fenómenos. De ahí resulta que Harvey (1996) conceptualiza el espacio formado por una diversidad de entidades con procesos biológicos, físicos, sociales y culturales diversos. En cambio, muchas de las ciencias que emanaron de ella, se acercaron a definir las particularidades de un acontecimiento bien definido. Para poder hacer esto se acotaron las variables y se precisó su marco teórico y conceptual. No obstante, la complejidad de las necesidades actuales nos obliga a utilizar, transversalmente,

¹¹Dicha Conferencia se llevó a cabo en Estocolmo, Suecia, del 5 al 16 de junio de 1972, en Inglés se tituló: *United Nations Conference on the Human Environment*.

diversas perspectivas, como las de amplio espectro acompañada de métodos más particulares para fenómenos específicos.

Para el caso del presente apartado, el término desarrollo sostenible ha sido generalmente aceptado por distintos sectores de la sociedad como algo deseable, trascendiendo diversas esferas de la vida pública y privada. No obstante, en su medición e implementación, surgen los desacuerdos y el debate entre posturas. Ante la complejidad de los objetivos, se propone abordar desde diversas disciplinas. Una de las maneras de abordar la evaluación e implementación de acciones que nos llevan (o nos alejan) hacia los objetivos de desarrollo sostenible es desarrollada a continuación.

1.2.1. Orígenes y desarrollo de la noción: hombre y naturaleza.

Para iniciar, cabe tener en cuenta que la problemática de la contaminación y la consecuente degradación de la calidad ambiental no son recientes. Desde hace más de cuarenta años se referenciaba a Aldo Leopold¹² que en 1941 identificaba “tres falacias” que afectaban el comportamiento humano. La primera era la suposición de que el crecimiento del sistema económico era guiado por expertos, es decir, personas que cuentan con toda la información y herramientas para tomar las mejores decisiones. En segundo término, la presunción de superioridad humana sobre los ecosistemas: un antropocentrismo que afecta las preferencias entre lo transformado y el ambiente original. En último lugar, se encuentra el desconocimiento del sistema natural, dicho de otro modo, asimetrías de conocimientos sobre las interrelaciones de los flujos de nutrientes y energía en los ecosistemas (Citado en: Odum, 1971).

En este sentido, la Geografía ha evolucionado en sus definiciones del objeto de estudio, las cuales varían según la escuela de pensamiento que se trate, pudiendo ser: el lugar, el medio, el espacio teórico, el espacio concreto, el espacio social, el paisaje, la región, el territorio o la relación hombre-medio (Reboratti, 2011, p. 22). En este contexto, el término “ecodesarrollo” se conforma desde los años setenta (Durán, 2000). El concepto fue propuesto por Maurice Strong en una reunión del Consejo de Administración del PNUMA (Leal, 2008). Así, podría ser el antecedente de una expresión que lleva implícitos objetivos sociales de distribución de riqueza y que considera límites al crecimiento, por considerar que se realiza en perjuicio del medio ambiente. De acuerdo a Leal (2008), en 1980, el término “ecodesarrollo” es sustituido por el de “sostenibilidad”, en el documento “Estrategia Mundial de la Conservación”, debido a lo que denomina como “objeciones de la diplomacia norteamericana ante la ONU”. Lo explícito de la

¹²Fue silvicultor, ecólogo, ambientalista norteamericano (1887,1948), considerado por muchos como el padre de la gestión de la vida silvestre en los Estados Unidos.

ecología en el concepto pudiera ser un referente del conflicto de intereses que el término puede generar. Por esta razón, se requería un término más general, que dé lugar al pensamiento antropocéntrico.

Ante los problemas espaciales de la relación del hombre con la naturaleza en 1987, por medio del documento “Nuestro futuro común”, se logra un consenso global a través del concepto de Desarrollo Sostenible, definido como: “aquel que satisface las necesidades esenciales de la generación presente sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades esenciales de las generaciones futuras”¹³ (Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 1987). La vinculación con el tema de estudio se debe a que regionalmente se ha documentado que, sin una adecuada intervención, las tendencias del modelo de crecimiento urbano llevan hacia la insostenibilidad económica, social y ambiental (Campos, 2009). Para Massiris (2012, p. 26), el Desarrollo Territorial Sostenible debe procurar satisfacer multi-objetivos desde diferentes perspectivas. Se debe conciliar un desarrollo económico incluyente socialmente y respetuoso de los recursos naturales sobre los que se sustenta. Propone las condicionantes de un modelo donde el individuo y su participación es determinante para sostener su propio desarrollo humano.

A continuación, por un lado, a mediados del siglo XX, John Richard Hicks, heredero del pensamiento económico clásico de Smith y Ricardo, define como algo deseable, que la renta mantenga el nivel de consumo a lo largo del tiempo, es decir sin reducir su consumo en un periodo futuro (citado en: Martínez, 2001). Por otro lado, cabe incluir una definición puramente ecológica, como la de Margalef (1981), el cual declara que todo proceso de explotación representa extraer algo de un ecosistema. Algo que, en otro caso, sería capitalizado por el mismo sistema natural y utilizado en hacer avanzar su propia sucesión. De acuerdo a esta concepción,

¹³ Texto original cita: “Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs”.

debe existir una oposición entre explotación humana y sucesión natural. Para Margalef (op. cit.), la conservación absoluta sólo se da en la ausencia total de explotación.

Al contrario, otras visiones se fueron gestando y prosperando a partir de diferentes perspectivas. No consideraban que el problema radicara en el pensamiento que afecta las decisiones de producción o consumo, sino en el tamaño de la población que demanda bienes y servicios. El comienzo del caso más célebre se da en 1971, cuando el “Club de Roma”¹⁴ presenta “Los límites del Crecimiento”, también conocido como reporte Meadows¹⁵. El documento fue desarrollado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts donde, influenciado por ideas Maltusianas, se exhorta a la necesidad de fijar límites al crecimiento económico debido al aumento de la población (Leal, 2008).

El “reporte Meadows” advierte sobre el agotamiento de los recursos naturales, la explotación demográfica y los problemas relacionados con la generación y tratamiento de desechos. Planteaba la disyuntiva respecto de la carencia de recursos o el exceso de contaminación, dando como única respuesta el control poblacional (Meadows *et al.* 1972). Los economistas, como Robert Solow, criticaron intensamente este reporte, justificando que el progreso técnico es capaz de resolver el problema del crecimiento ilimitado¹⁶. Así, se expone un análisis positivo del funcionamiento de los mercados de recursos naturales no renovables (Solow, 1986). De acuerdo a Halvorsen (2009), Solow concluye la regla de Hotelling¹⁷, base para la economía de los recursos naturales, donde el precio neto de un recurso debe aumentar a una tasa de interés. Es decir que, si el precio de un recurso evoluciona a una tasa inferior al tipo de interés, entonces el propietario del recurso

¹⁴ONG fundada en Roma en 1968.

¹⁵Llamado así por la Dra. Donella H. Meadows (1941-2001), biofísica y ambientalista estadounidense, una de los autores del reporte junto con su esposo Dennis L. Meadows, Jørgen Randers y William W. Behrens III.

¹⁶Meadows *et al.* (1976, p. 189) se anticipan a estas críticas llamando a los defensores de la salida tecnológica creyentes del cuerno de la abundancia curador de todos los males: “*And great many others are apt to put their trust in technology, with its supposed cornucopia of cure-all solutions.*”

¹⁷Expuesta por Harold Hotelling en 1931 en “La Economía de los recursos agotables”.

apresurará su extracción hasta el agotamiento. Y si el precio aumenta a una tasa superior a la de interés, entonces no se extraerá el recurso.

Una de las consecuencias del reporte Meadows es la inclusión en el debate respecto de un modelo deseable. Hay que recordar la coyuntura histórica entre la crisis del petróleo de la década de los 70's y la guerra fría. De esta manera, la Conferencia de las Naciones Unidas en 1972 sobre el desarrollo humano, plantea preguntas sobre la equidad y la prudencia ecológica (Naciones Unidas, 1972). Consecuentemente, en 1972, se crean el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUMA y PNUD respectivamente.

A raíz del *Population Panel* de 1973 en el Reino Unido, se crea en 1991 el *Optimum Population Trust*. Tiene como origen la preocupación de sus fundadores ante la sobrepoblación, como causante de la amenaza del cambio climático y las afectaciones al medio ambiente. Este fideicomiso analiza las opciones de la planeación familiar para solventar la carencia de alimentos, la energía y otros recursos (<https://www.populationmatters.org/about/overview/>).

Finalmente, en el contexto actual pareciese que, tal como lo visualizaban Meadows *et al.* (1972, p. 189), existe la prevaencia de las mismas posturas para afrontar los retos ambientales. En primer lugar, el control poblacional inducido, es decir una fuerte intervención para ajustar la población a los límites ambientales. Después, la misma postura pero ocurrida por la automática intervención natural, una suerte de condiciones que reduzcan el crecimiento poblacional. Acto seguido se encuentran los que renuncian a la actuación por considerar que la solución se encuentra por encima del control humano. En otra postura se encuentran los que creen que ajustes menores en las políticas pueden eventualmente conducir al equilibrio. Y finalmente, los que ponen su confianza en la tecnología.

Más adelante, sustentará que no existe una fórmula planetaria para enfrentar estos retos. Es decir que en sociedades con altas tasas de consumo y generación de residuos se debe atacar este problema. De la misma manera donde exista exeso de población comprobable, una deficiencia tecnológica contaminante o una política deficiente. En este contexto, la geografía como disciplina, se encuentra abierta para adoptar diversas teorías que sustenten métodos destinados a comprender cualquier fenómeno espacial. Así se constituye como un paraguas conciliador y rector de la actuación de distintas disciplinas.

1.2.2. Evolución y delimitación del Desarrollo Urbano y Territorial Sostenible.

Luego de la publicación y aceptación por el PNUMA del informe Bruntland en 1987, se han realizado periódicamente cumbres, debates y acuerdos mundiales sobre el desarrollo sostenible. Tiempo después, a partir de la cumbre de Río de 1992 y ante el deterioro del medio ambiente como sostenedor de la vida, se realizó la declaración sobre los derechos y las responsabilidades de los países respecto del Medio Ambiente. El establecimiento de principios colocó al Ser Humano al centro de las preocupaciones del desarrollo sostenible¹⁸, razonablemente consolidó el consenso inicial (Naciones Unidas, 1992). La institución de los derechos de propiedad como mecanismo regulador implementó las ideas del teorema de Coase mencionado con anterioridad. Posteriormente, se instauró la Agenda 21, implantando una serie de indicadores, los cuales trataremos su fundamento en el siguiente apartado y su implementación en la siguiente sección.

Posteriormente en el año 2000, el protocolo de Cartagena abordó el tema de la bio-seguridad, ante el descubrimiento de los riesgos que constituyen los transgénicos. A continuación en el 2002, la cumbre mundial para el desarrollo sostenible de Johannesburgo, incluyó no sólo una declaración política sino un plan de implementación, donde se establecieron disposiciones relativas al agua, la energía, la salud, la agricultura y la biodiversidad. Después, convocada por el Secretario General de las Naciones Unidas y con una duración de 4 años, la “Evaluación de los Ecosistemas del Milenio” del 2005 reportó pérdidas en la diversidad biológica y los servicios que brindan los ecosistemas (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2005).

El consenso, sin embargo, pudiera ser el resultado de la ambigüedad del mismo. Eriksson & Andersson (2010), justifican la abundancia de definiciones de sostenibilidad a la cantidad de intereses en juego. Esta vaguedad del concepto y la dificultad en su aplicación, puede hacer

¹⁸ Principio 1, en el Anexo I de la Declaración de Río.

considerar al desarrollo sostenible como inalcanzable. El ritmo de crecimiento poblacional y la polarización del ingreso per cápita de la humanidad están lejos de ser estabilizados (INEGI & INE, 2000).

La definición de desarrollo, por sí solo, ha llevado un proceso de definición independiente. Así pues, para Sen (2000), el desarrollo se da enfocándose en la expansión de las capacidades de los individuos para poder convertir sus derechos en libertades humanas reales. Como consecuencia de estas ideas, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) generó el Índice de Desarrollo humano (IDH) en 1990. El índice contempla indicadores de esperanza de vida y educación y su relación con el nivel de vida para medir el aumento de capacidades. En resumen, el desarrollo tiene, como fin social, el despliegue y adquisición de capacidades humanas (Arribas, 2007).

En este contexto, hay que contemplar que el mundo pareciera haberse fragmentado en naciones ricas y pobres, desarrolladas y en vías de desarrollo. Por eso, cuando se advierte sobre las necesidades de crecimiento y recursos del Tercer Mundo o la necesidad de disminuir el consumo de los países ricos, la concepción puede ser controvertida. El crecimiento económico, como origen del deterioro ambiental, resulta sin duda conveniente en países desarrollados, ya que se cuenta, con mucho más capital acumulado, a manera de infraestructura, tecnología, maquinaria y equipamiento, respecto a los países en vías de desarrollo. Esto ocasiona que se juzgue a las naciones en vías de desarrollo como las responsables del actual deterioro ambiental o que se vea a su pobreza como la fuente principal de destrucción ambiental (Leal, 2008). Los problemas ambientales son diferentes, ya que pueden ser ligados a la pobreza y al subdesarrollo así como a las sociedades opulentas (Azqueta, 2007). Tal vez, las soluciones debieran ser igualmente diferentes. Como describe Seralgedin (1993), cada postura pondera los objetivos y la solución resultaría en la determinación de las prioridades.

En este sentido, el siguiente apartado describirá el debate en torno a la implementación y medición del desarrollo sostenible. Las dos principales aproximaciones teóricas resultantes se detallarán, con el objeto de definir las bases conceptuales de la evaluación económica de la sostenibilidad urbana en regiones tropicales, tema central de nuestro trabajo.

Las agrupaciones humanas en un espacio determinado, su éxito o fracaso, ocurren por diversos motivos y generan un gran número de fenómenos estudiados por las ciencias sociales. Así, la ciudad se interrelaciona con su entorno a través de dinámicas climáticas, económicas, sociales, políticas, estéticas, técnicas y normativas (Comisión de las Comunidades Europeas [CCEE], 2007). En este tenor, está documentado que la población que vive en zonas urbanas ha crecido de manera constante, no solo en número, sino en proporción respecto de la que vive en áreas rurales. Este fenómeno de urbanización continua es más acelerado en las regiones menos desarrolladas, de tal manera que para el 2050, se espera que el 67% de la población mundial sea urbana (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2012).

Lo anterior resulta relevante cuando se cruza con la evidencia de los impactos negativos de las actividades humanas. El crecimiento urbano demanda más materias primas y servicios ambientales de absorción de desechos, lo cual significa aumento de la presión sobre el medio natural (Harvey 2012, p. 6). En la actualidad, las ciudades cubren solo el 3% de la superficie terrestre, pero consumen aproximadamente el 75% de los recursos del planeta, emitiendo una proporción correspondiente de gases de efecto invernadero sin que generen actividades significativas de captura de CO₂. Las tendencias demográficas, enunciadas con anterioridad, cuentan con varias características espaciales y ambientales, como la proximidad a zonas de riesgo como costas, fallas sísmicas, o zonas de afectación de fenómenos climatológicos (Organización de las Naciones Unidas, 2012). Estas tendencias incrementan los costos de adaptación al cambio

climático en países de ingresos bajo y medio, a tal grado que, estimaciones recientes los ubican en decenas de miles de millones de dólares al año para infraestructura y servicios (Ayers, 2009).

Si a lo anterior sumamos los recientes fenómenos urbanos han sido conceptualizados por diferentes autores, Entrena (2005, p. 62) hace una recopilación de la clasificaciones de estas manifestaciones emergentes de ciudad. Lo anterior se resume en la Tabla 7, en la cual las concepciones pretenden englobar fenómenos recientes del proceso de urbanización, los cuales, han transformando notablemente el espacio urbano original. La vinculación con el tema de estudio se debe a que regionalmente se ha documentado que, sin una adecuada intervención, las tendencias del modelo de crecimiento urbano llevan hacia la insostenibilidad económica, social y ambiental (Campos Cámara, 2009).

Tabla 7: Manifestaciones emergentes de ciudad

Concepción	Autor
Ciudad informacional	Castells (1989)
Ciudad difusa	Indovina (1990)
Ciudad global	Sassen (1991)
Metápolis	Ascher (1995)
Ciudad postmoderna	Amendola (1997)
Metrópolis desbordada	Geddes (1997)
Ciudad reticular	Dematteis (1998)
Postmetrópolis	Soja (2000)
Ciudad dispersa	Monclús (1998)

Nota. Fuente: Elaboración propia a partir de Entrena, F. (2005). “Procesos de periurbanización y cambios en los modelos de ciudad. Un estudio europeo de casos sobre sus causas y consecuencias” (p. 62). *Revista de sociología*. Vol. 78, pp. 59-88.

Ya que ningún país ha logrado un crecimiento económico sustancial sin urbanización a gran escala, la rápida industrialización ha ido acompañada de enormes problemas ambientales (Field & Field 2009, p. 401). Para algunos herederos de postulados Maltusianos¹⁹, la solución podría encontrarse en la reducción de la población. No obstante, tal como lo mencionan Field & Field (2009, p. 414), disminuir las tasas de crecimiento poblacional no implica necesariamente a la

¹⁹ En 1798, en su “Ensayo sobre el Principio de la Población”, Thomas Malthus argumentó que los seres humanos y la producción de alimentos estaban creciendo en proporciones diferentes. Consecuentemente, de seguir sin límites se llegaría al colapso del sistema.

reducción de daños. Adicionalmente, en tiempos recientes se han documentado fenómenos urbanos los cuales reflejan la desconcentración o dispersión espacial de la población urbana (Entrena, 2005, p. 62).

Si bien es cierto que la reducción de la población puede incidir en la reducción del agregado de los impactos negativos al medio ambiente, la disminución de las tasas de crecimiento poblacional no necesariamente implica un descenso en automático de las afectaciones (Field & Field, 2009, p. 414). Entonces, para el presente apartado se abandonará cualquier interpretación neo-Maltusiana que implique políticas poblacionales como respuesta, ya que no son sustituto de políticas directas sobre sostenibilidad (Field & Field, 2009, p., 414). Consiguientemente, se pretende vincular las posturas que definen una ciudad sostenible respecto de la concepción original de la Comisión Mundial de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de 1987.

Este apartado aborda las interrelaciones de la ciudad con su entorno, lo cual ocurre a través de dinámicas climáticas, económicas, sociales, políticas, estéticas, técnicas y normativas (CCEE, 2007). En este tenor, está documentado que la población que vive en zonas urbanas ha crecido de manera constante, no solo en número, sino en proporción respecto de la que vive en áreas rurales. El proceso de urbanización se define como el traslado de personas de zonas rurales hacia las ciudades, siendo la rapidez de estos procesos característica de los países en desarrollo (Gilpin, 2010, p. 279). Este fenómeno de urbanización continua es más acelerado en las regiones menos desarrolladas, de tal manera que para el 2050, se espera que el 67 por ciento de la población mundial sea urbana (Naciones Unidas, 2012).

Las tendencias demográficas, enunciadas con anterioridad, cuentan con varias características espaciales y ambientales, como la proximidad a zonas de riesgo como costas, fallas sísmicas, o

zonas de afectación de fenómenos climatológicos (Naciones Unidas, 2012). En la actualidad, las ciudades cubren solo el 3 por ciento de la superficie terrestre, pero consumen aproximadamente el 75 por ciento de los recursos del planeta, emitiendo una proporción correspondiente de gases de efecto invernadero sin que generen actividades significativas de captura de CO₂. Tal como lo afirman Orozco *et al.* (2012, p. 52), los principales problemas ambientales son ocasionados por el incremento desordenado de la urbanización. En este orden de ideas, se pueden relacionar la pérdida de ecosistemas valiosos, el agotamiento de las fuentes de agua, la contaminación hídrica, el aumento de los residuos sólidos y la contaminación atmosférica, así como el agravamiento de los desastres naturales, especialmente en los países en desarrollo con el crecimiento urbano (Azqueta, 2007).

Consecuentemente, al contaminar el medio circundante se genera un efecto rebote con efectos negativo sobre las ciudades (Gudiño, 2010, p. 11). A su vez, esta contaminación ambiental “concentrada” genera implicaciones en la salud humana, que se ven reflejadas en el número total de años de vida sana perdidos por habitante. Este indicador es desproporcionadamente mayor en países en desarrollo, siendo hasta 15 veces más respecto de países desarrollados (Prüss-Üstün y Corvalán, 2006). Dado que el crecimiento urbano demanda más materias primas y servicios ambientales de absorción de desechos, lo cual significa aumento de la presión sobre el medio natural (Harvey, 2013, p. 6). Adicionalmente, las franjas urbanas más pobres muchas veces se localizan en zonas peligrosas, además de que no cuentan con acceso a servicios básicos, transformándolas en focos de contagio (Gilpin, 2010). Estas tendencias incrementan los costos de adaptación al cambio climático en países de ingresos bajo y medio, a tal grado que, estimaciones recientes los ubican en decenas de miles de millones de dólares al año para infraestructura y servicios (Ayers, 2009).

Se debe mejorar la economía y la calidad de vida de las personas a la vez que se minimiza el uso de recursos naturales y los impactos negativos al medio ambiente (Newman, 1999, p. 219). En este sentido, para Massiris (2012, p. 26) el desarrollo territorial sostenible implica armonizar el desarrollo económico con el desarrollo social y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. Lo anterior en un contexto de protección de las condiciones ambientales y activa participación social, descentralización y autonomía de los territorios. Para Azqueta (2007), el análisis debe identificar el lugar en el espacio donde se originan los impactos en el ambiente de las ciudades, así como el lugar donde la contaminación se concentra o genera las mayores afectaciones.

Las posturas son: los objetos más representativos, que son susceptibles de intervención (Tourn *et al.* 2004), la construcción de viviendas de interés social, la localización industrial, el tratamiento-disposición de residuos y la posible implementación de la actividad hortícola; la capacidad que tiene el medio ambiente para absorber los desechos que emite, ya sean residuos sólidos o líquidos contaminando el aire, el agua y el suelo (Azqueta, 2007); Los consumos energéticos de las ciudades ocasionan repercusiones negativas en el medio ambiente inmediato, en el regional y a nivel global. En consecuencia, la intervención en este factor es una manera de contribuir al desarrollo sostenible (CCEE, 2007).

La vinculación entre el manejo del agua y los residuos es estrecha, de manera que la CCEE La vinculación entre el manejo del agua y los residuos es estrecha, de manera que la CCEE (2007) recomienda reducir al mínimo la demanda de agua potable y la cantidad de agua residual que requiera tratamiento mecánico. Adicionalmente, mencionan que es deseable minimizar la producción de residuos sólidos especialmente los no clasificables, los cuales se caracterizan por ser de difícil manejo y recuperación. Finalmente, se afirma que lo anterior contribuirá a la eficiencia económica al reducir los costos de inversión y operación.

De ahí que, para el Banco Interamericano de Desarrollo (2012, p. 82), una ciudad debe procurar establecer un modelo que reduzca su impacto al medio ambiente, las áreas de reserva ambiental y las áreas para fines agrícolas en su medio. Las recomendaciones van en el sentido de controlar y orientar su crecimiento físico con densidades de población adecuada. Debe haber un balance entre la infraestructura y los tiempos de traslado del trabajo a las residencias.

Una abstracción de la relevancia de las interacciones de una ciudad con su región es presentada por Meijer *et al.* (2009, p. 538) en la Figura 4; donde se expone que la planificación urbana, no sólo se debe contemplar la zona del proyecto (círculo interno), sino su región y los posibles impactos de repercusión mundial (como el cambio climático). Así, un desarrollo urbano sostenible que no generen efectos positivos a su entorno regional inmediato (círculo punteado intermedio) repercutirá, con el paso del tiempo en el planeta entero (círculo externo).

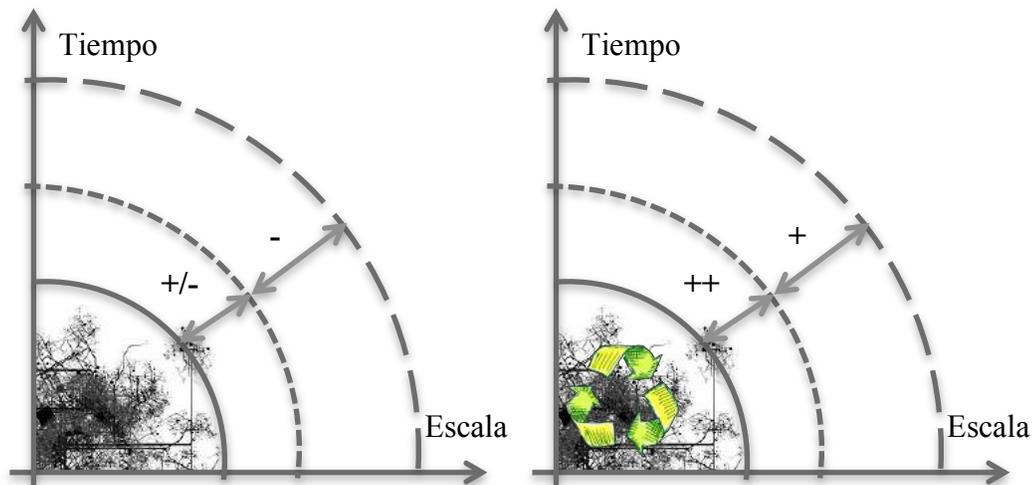


Figura 4. Diferenciación del desarrollo espacial sostenible

Fuente: Elaboración propia con base en Meijer M., Adriaens, F., van der Linden, O. & Schik W. (2009). "A next step for sustainable urban design in the Netherlands" (p. 538-539) en *Cities*, Vol. 28, No. 6 Diciembre 2011, pp. 536-544.

A manera de ejemplo, si se genera un exceso de energía sostenible en la ciudad, el excedente mantendría a la región generando a su vez un efecto positivo sobre el problema del cambio climático. Finalmente definen el desarrollo espacial sostenible como una combinación entre una

planificación urbana durable y flexible y el diseño que usa los recursos naturales y el capital social de una manera responsable (Meijer *et al.*, 2009, p. 544).

Uno de estos modelos es presentado por Kennedy, Cuddihy & Engel-Yan (2007, p. 44), para quienes una ciudad es sostenible cuando los flujos de materiales y energía, así como la disposición de residuos en su región urbana, no exceden la capacidad de sus *hinterlands*. No obstante, el balance apunta generalmente a que el metabolismo urbano de las ciudades se incrementa con el tiempo. En este contexto iniciativas como la de “comunidades de la próxima generación” pretende promover la autosuficiencia en energía, agua y alimentos de los vecindarios, minimizando su huella ecológica y haciéndolos resistentes a los fenómenos mundiales ya sean ambientales o económicos (Seymoar & Anderson, 2009).

Para Gutiérrez (2010, p. 91), existe consenso respecto de que las ciudades deben contrarrestar los efectos negativos de la concentración espacial de las actividades humanas. Desde esta postura, se deben reducir los costos sociales, ambientales y económicos que genera la urbanización. Cabe resaltar que los orígenes a estas problemáticas son relativamente recientes, además de que se han globalizado, lo anterior Gutiérrez (2010, p. 91) lo vincula con lo que define como el “proceso de acumulación global”. Por su parte, Azqueta (2007) lo relaciona con la implantación a escala mundial de una visión occidental de “progreso”, “desarrollo” o “modernización”.

1.2.3. Fundamentos teóricos de la evaluación del desarrollo sostenible.

Ante la evidencia de los impactos negativos de las actividades humanas que generaban problemas en la relación del hombre con la naturaleza, en 1987, por medio del documento “Nuestro futuro común”, se logra un consenso global a través del concepto de “Desarrollo Sostenible”. Este se definió como: “aquel que satisface las necesidades esenciales de la generación presente sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades esenciales de las generaciones futuras (INEGI & INE, 2000, p. 3).

Luego, en un diagnóstico inicial, el concepto es divisible en dos partes, siendo la primera la satisfacción de las necesidades de la generación presente, no limitándose a grupos o sectores sociales. Entrevé la justicia social a través de oportunidades y la equidad en la distribución intra-generacional de los beneficios. La segunda parte aboga por las generaciones futuras en un análisis temporal de la justicia intergeneracional (Arribas, 2007). Aquí se introduce el manejo de los ecosistemas con un enfoque ambiental de perdurabilidad. Se considera que el concepto es un “proceso multidimensional” que afecta al sistema económico, al sistema social y al ecológico, donde, el enfoque económico implica la racionalidad con la que se deben ponderar los caminos para alcanzar los fines anteriormente descritos. A manera de ejemplo, Seralgedin (1993), define la primera parte del concepto como la equidad o distribución óptima que alcanza el equilibrio en la eficiencia económica.

Sin embargo, prontamente surgieron múltiples y diferenciadas posturas, particularmente en la implementación del segundo segmento del término, la sostenibilidad. Así, desde un enfoque escéptico, se puede aseverar que desconocemos cuáles serán las necesidades de las futuras generaciones, así como de los medios que ocuparán para satisfacerlas. En este contexto, el premio Nobel de economía, Robert Solow expone “el problema de comerse el pastel”, donde, ante el

desconocimiento de la tecnología y necesidades que tendrán las futuras generaciones, argumenta la inexistencia de obligación de heredar una porción específica de los recursos actuales a las próximas generaciones (Solow, 1986). Consecuentemente, la obligación o el debate no se encontrarían en el manejo de los recursos naturales, sino en el poder heredar la capacidad productiva para poder llevar un estándar de vida igual o superior a la actual.

Duran (2000) afirma que la complejidad de definir el desarrollo sostenible estriba en que la concepción debe armonizar tres diferentes puntos de vista, el económico, el social y el ambiental. En este contexto resulta relevante la taxonomía de la Tabla 8 respecto de los objetivos de desarrollo sostenible realizada por Parris & Kates (2003, p. 581). Aquí se puede concebir claramente las múltiples metas del desarrollo sostenible.

Tabla 8: Taxonomía de los objetivos de desarrollo sostenible.

¿Qué se quiere mantener?	¿Qué se va a desarrollar?
Naturaleza Tierra Biodiversidad Ecosistemas	Personas Supervivencia infantil La esperanza de vida Educación Equidad Igualdad de oportunidades
Soporte Vital Servicios de los ecosistemas Recursos Medio Ambiente	Economía Riqueza Sectores productivos Consumo
Comunidad Culturas Grupos Lugares	Sociedad Instituciones Capital social Estados Regiones

Fuente: Parris, T. M. & Kates, R. W. (2003). "Characterizing and Measuring Sustainable Development" (p. 581), en *Annual Review of Environment and Resources*, pp. 559-586. doi: 10.1146/annurev.energy.28.050302.105551

Posteriormente, la interpretación del término evoluciona para incluir, según la disciplina que lo aborde, la esfera de acción ética y política. Esta es definida como la argamasa que cohesiona las tres posturas mediante la participación social (Achkar, 2005).

No obstante, posteriormente de su publicación el término ha generado discusión respecto del mecanismo de implementación. Primeramente, se cuestiona la satisfacción de necesidades, donde la dicotomía entre crecimiento y desarrollo ocupan el debate. La contraposición llega a tal punto que, por un lado, para los liberales, el crecimiento es una condición necesaria y suficiente para el desarrollo sostenible. Por otro lado, existe la visión radical que lo ve como el principal factor de riesgo ambiental, ya que consideran que tanto el crecimiento como el desarrollo se deban someter a la sostenibilidad. Las implicaciones son el decrecimiento del sistema económico hasta un tamaño sostenible.

De igual manera, la restricción del medio físico natural sobre el sistema socioeconómico genera polémica. Para los neoclásicos, la restricción ambiental genera innovación y regulación del mercado. Mientras que para la visión ecológica, la sustitución perfecta no existe, de ahí que se deba gestionar adecuadamente la restricción ambiental. Los economistas intentan conciliar la dinámica económica ecológica y social. En consecuencia, la aproximación de la economía ambiental, para evaluar los avances o retrocesos de un sector respecto de otro requiera establecer un parámetro de referencia, usualmente el monetario. Consecuentemente, la monetización del capital natural o su inconvertibilidad son el centro del debate. Estos temas y sus fundamentos se abordarán en los apartados siguientes.

Se debe tomar en cuenta que la valoración de los objetivos puede diferir desde donde se parte para asignar valor. Entonces, por un lado pudiéramos valorar los ecosistemas porque nos son útiles o porque sin ellos simplemente no se puede existir. Estas primeras posturas son una visión antropocéntrica, es decir que se valoran los ecosistemas a partir de la utilidad que le brindan al ser humano. Por otro lado existe la postura de que los seres humanos somos parte del sistema natural y que el ser humano no es de particular importancia para este (Eriksson & Andersson, 2010, p. 23; Kolstad, 2010 p. 46). Desde este enfoque, el sistema natural tiene valor intrínseco, es

decir que la perspectiva humana no le asigna valor utilitario. Lo anteriormente descrito se puede concebir más claramente en la Figura 5.

Postura Filosófica	<i>Biocentrismo</i>	<i>Antropocentrismo</i>
Eje de valores		
Concepción Sentido	S U S T E N T A B I L I D A D	
	<i>Fuerte</i>	<i>Débil</i>
Indicadores	<i>Impactos Biofísicos</i>	<i>Costos y Beneficios Sociales y ambientales</i>

Figura 5. Origen filosófico de las perspectivas de valoración.

Fuente: Elaboración propia con base en Eriksson, R. & Andersson, J. (2010, pp. 23-24). *Elements of ecological economics*. Editorial Routledge, Francis & Taylor Group, New York, 164 p.; Kolstad C. (2010, pp. 46-47). *Environmental Economics*. 2a Edición, editorial Oxford University Press, USA, 496 p.

Entonces, el concepto de desarrollo sostenible se ha desarrollado desde dos perspectivas diferenciadas. La primera de ellas parte en el marco de la economía neoclásica con conceptos como la regla²⁰ de Hartwick (1977). En pocas palabras considera el hecho de que si los ingresos netos de los recursos no renovables se invirtieran en capital renovable, el nivel de consumo se podría mantener, bajo ciertas condiciones, a través del tiempo. La sostenibilidad buscaría la renta Hicksiana²¹ mencionada en el apartado anterior (Duran, 2000). El fin ideológico es sustentar la idea del crecimiento sostenido.

²⁰Conocida en Inglés como “*Hartwick’s rule*”.

²¹Herman Daly popularizó el término el cual se refiere a la renta sin incluir ningún elemento de capital. Así, para estimar correctamente los ingresos, el capital debe permanecer intacto. La innovación es incluir en el capital a los recursos naturales como parte de los activos de la sociedad. El debate es si este debe mantenerse intacto o puede ser sustituido por capital creado por el hombre.

En otras palabras, la “sostenibilidad débil” consiste en “mantener un crecimiento económico ininterrumpido” dependiente de la innovación, tecnología humanas (Arribas, 2007). Eriksson & Andersson (2010) definen una sustentabilidad sin disminuir el consumo o la utilidad. Esto lo evalúan mediante el análisis de los efectos sobre la utilidad del consumidor a través del tiempo, entendiendo que dicho consumidor no solo se beneficia de bienes materiales, sino adicionalmente disfruta de los beneficios naturales que le proporciona el medio ambiente.

Después, el Banco Mundial defiende un concepto de “sostenibilidad débil”, definido como la capacidad de brindar y mantener un mínimo de oportunidades intergeneracionalmente. Para lograr éste, sugiere el uso de la valuación per cápita del capital, sin menoscabo de su sustitución, previendo la posibilidad de variaciones en su composición, características de la sostenibilidad débil (Serageldin & Sfeir-Younis, 1996). Para la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO) (1996), el capital, dividido en capital natural, humano, institucional y social, debe mantenerse o aumentar entre generaciones. Por tanto, desde una perspectiva débil, es legítimo modificar las magnitudes en beneficio del incremento de otras, siempre que la sumatoria total se considere sostenible.

En resumen, la sostenibilidad “débil” defiende la permutabilidad entre el capital natural y el capital realizado por el hombre, este concepto se mezcla con el “remedio” del progreso técnico. Consecuentemente, al ser sustituibles los recursos ya no serían total, sino relativamente escasos. De este modo el crecimiento económico continuo sería posible (Kerschner, 2006). Gilpin (2010) sostiene que el desarrollo puede ser sostenible, si los recursos utilizados son renovables, o no sostenible si la base del recurso se agota a corto plazo o es imposible encontrar sustitutos.

No obstante, el crecimiento económico no implica forzosamente desarrollo social (Leal, 2008). La visión de igualar niveles de vida de países industrializados mediante la sustitución de riqueza natural por capital económico es sin duda cuestionable (Arribas, 2007). De esta manera,

un país se considerara sostenible, en función de que la destrucción de su capital natural compense la generación de capital económico, es decir que acumule a una tasa mayor de la que destruye. Durán (2000) cuestiona la definición y métodos de cuantificación de la riqueza ambiental, para poder ser ecuanímes respecto a la valoración de la destrucción ambiental.

La concepción depende de los enfoques de origen: por un lado se encuentra la perspectiva antropocéntrica, en donde el capital natural es todo aquel que le sirve al Ser Humano. Por otro lado, la visión bio-céntrica o eco-céntrica, en donde el Ser Humano se ve reducido a una especie entre muchas otras, con igualdad de derechos sobre el capital natural. La principal diferencia, entre la primer perspectiva y la segunda considerada como la definición de “sostenibilidad fuerte”, es el hecho de que la segunda contempla el mantenimiento del sistema natural por sobre cualquier cosa. Las herramientas neoclásicas justificativas, no contemplan lo perecedero del capital, la tecnología y los conocimientos humanos. Igualmente se ignoran, entre otras cosas, leyes termodinámicas, así como de que la mayoría de los servicios ambientales son escasos y la irreversibilidad de muchos de los impactos. Consecuentemente se ve al ambiente como un subsistema de la economía y que el crecimiento económico continuo está, en términos reales, menguando el bienestar de la humanidad (Kerschner, 2006). Como lo explica Duran (2000), existe una base física limitada que establece límites de acuerdo a la disponibilidad de recursos naturales. Para Arribas (2007), la capacidad de sustentación del planeta marca inevitablemente los límites físicos a la actividad económica y la explosión demográfica.

Así, en contraposición a la “sostenibilidad débil”, donde la reducción del capital natural sería sostenible si se compensa por otras inversiones en términos monetarios, la concepción fuerte rechaza la idea de que la inversión, en caminos, edificios o educación pueda servir de sustituto al deterioro ambiental (Eriksson & Andersson, 2010). De ahí, para la sostenibilidad fuerte, se requiere que las capacidades del ecosistema sean preservadas, o que el capital natural se

mantenga más o menos constante. Entonces, la “sostenibilidad fuerte”, pone énfasis en las diferencias entre el capital natural y el capital humano, haciendo hincapié en que el primero no puede ser producido. Realza sus diferencias de origen y ejemplifica el hecho de que la sustitución de capital natural a humano es en muchos casos limitado y en la mayoría de los casos insustituible. En esta visión, la sostenibilidad se conceptualiza con el principio de no reducirlo a través del tiempo. La idea se resume en lo presentado por Pearce *et al.* (1989): “Cada generación debe heredar al menos un medio ambiente similar”, haciendo énfasis en el medio ambiente original.

Por su parte, la concepción de “sostenibilidad fuerte” acerca más a la ciencia económica de la ciencia ecológica. En ella se expone que “existe sostenibilidad en un ecosistema si existe resiliencia²²” (Eriksson & Andersson, 2010). En consecuencia, los ecólogos son más afines a la sostenibilidad fuerte. Para Odum (1973), el verdadero concepto de la conservación se alcanza mediante el asegurar la preservación de un medio ambiente de calidad, el cual cultive tanto las necesidades estéticas y de recreo como las de productos, así como, mediante el asegurar un rendimiento continuo de plantas cosecha y renovación, animales y materiales útiles, estableciendo un ciclo equilibrado. En este enfoque, la sostenibilidad refiere a un estado que reúne las condiciones mínimas de estabilidad y resiliencia del ecosistema a través del tiempo. Margalef (1981) habla de conservación en sentido relativo, “manteniendo la estructura del ecosistema mediante un nivel de explotación sostenible”.

²²Resiliencia, desde un enfoque ecológico, se describe como la capacidad de las comunidades y ecosistemas de absorber perturbaciones sin alterar significativamente sus características funcionales y estructurales. Incorporada al español a través de la palabra inglesa *resilience* se derivó del latín, donde el verbo *resilire* significa 'saltar hacia atrás, rebotar' o 'replegarse'. Originalmente se utilizó en el contexto de la psicología para describir la capacidad de adaptación de un ser vivo de recuperarse frente a una situación adversa o un agente perturbador. En mecánica de materiales se aplica a la propiedad de los materiales o sistemas para recuperar su estado original cuando ha cesado una perturbación a la haya estado sometido. Más recientemente se ha adaptado a la ecología, como se ha utilizado en este texto, o en el análisis urbano para describir la capacidad de una sociedad para recuperar su funcionamiento tras el azote de un fenómeno natural o humano.

Las diversas perspectivas con las que se aborda la explotación de los recursos sigue estando en el debate económico. Así, mientras la economía neoclásica se enfoca a la eficiencia en la asignación de recursos entre diversos fines, la economía ecológica resalta la importancia de debatir en un contexto multipropósito (Daly & Farley, 2011, p. 4). En esta visión se puede incorporar el pensamiento sistémico, fundamental en la ciencia ecológica, para el análisis económico (Common & Stagl 2005, p. 23). Para la ecología el sistema económico se encuentra inscrito en el ambiente, donde ocurren transferencias e interacciones sujetado a sus reglas y con sus límites. Lo anterior se contrapone a ver al ambiente como un subsistema de la economía, donde el único limitante para el crecimiento económico continuo es el desarrollo tecnológico (Daly & Farley, 2011, p. 22). La Tabla 9, muestra las principales diferencias resumidas entre la sostenibilidad fuerte y la sostenibilidad débil.

Tabla 9: Diferencias entre sostenibilidad fuerte y débil.

Sostenibilidad Débil	Sostenibilidad Fuerte
Concepto antropocéntrico.	Concepto ecológico.
Concepto mecanicista.	Concepto sistémico.
Sostenibilidad relacionada con la viabilidad socioeconómica.	Sostenibilidad relacionada con el ecosistema y el sistema socioeconómico.
Sostenibilidad compatible con el crecimiento.	Sostenibilidad incompatible con el crecimiento.
Capital natural sustituible por el capital humano.	Capital natural complementario con capital humano.
La sustituibilidad exige monetización del medio natural.	Los recursos, los procesos y los servicios naturales no son cuantificables económicamente.
El desarrollo sostenible en realidad es sostenido.	Evolución sostenible.
Medio ambiente localista.	Medio ambiente global y sistémico.

Fuente: Leal G. (2008). "Debate sobre la Sostenibilidad". (p. 8). Documentos de trabajo, Desarrollo Conceptual y Metodológico de una Propuesta de Desarrollo Urbano Sostenible para la Ciudad-Región Bogotá en clave de ciudad Latinoamericana, Pontificia Universidad Javieriana.

Acto seguido, se puede llegar a una conclusión fuerte como la de Daly & Farley (2011) si se parte de dos postulados: El primero es conceptualizar al desarrollo como la expansión de potencialidades humanas. El segundo, entender al crecimiento como únicamente el aumento de tamaño por adición de materiales. De ahí el desarrollo sostenible sería el desarrollo sin crecimiento. Se considera fuerte porque se mantiene el rendimiento de los servicios que prestan

los recursos mediante el mejoramiento cualitativo de la habilidad para satisfacer necesidades sin el incremento cuantitativo de los rendimientos, más allá de la capacidad de carga ambiental. Esto parte del hecho de que la biosfera es limitada y el crecimiento económico humano se expande sobre un planeta finito en recursos.

La sostenibilidad fuerte, según explica Arribas (2007), implica límites al crecimiento y el establecimiento de pautas a la producción y consumo de países desarrollados. Las consecuencias ambientales se deben considerar como costo de oportunidad y de ser mayores se causaría *uneconomic growth*²³, existiendo entonces un límite del crecimiento económico definido como “escala óptima” (Daly & Farley, 2011, pp. 16-17). Para ubicarla se aplican los conceptos de maximización de la utilidad microeconómicos, encontrando el punto máximo donde los beneficios marginales son iguales a los costos marginales. Consecuentemente, el rebasar este límite es señal de dejar de crecer. Algunos autores como Filipino & Schneider (2008) sugieren que en los lugares donde esta barrera se ha rebasado, los países desarrollados, el paso siguiente es el *Economic Degrowth*²⁴. Por ende, el compromiso de decrecer o contraerse económicamente para alcanzar niveles óptimos de calidad de vida y desarrollo sostenible.

Según Eriksson, cuando a economistas estándar se les pide incluir los recursos naturales en la fórmula de desarrollo económico, estos igualan el capital natural con el capital hecho por el hombre. El agotamiento de los recursos puede entonces ser considerado como “pérdida de capital”, pero una merma que puede ser sustituida por el capital de producción humana. Este enfoque ha dado lugar a la concepción de “ahorros genuinos” aplicado por el Banco Mundial para medir la sostenibilidad del desarrollo económico.

²³Se traduce como crecimiento antieconómico, el cual es el crecimiento económico que ocasiona una disminución en la calidad de vida (Daly & Farley, 2011, p. 16).

²⁴Se traduce como decrecimiento económico, entendido como una reducción del tamaño de la economía en beneficio del bienestar y la sostenibilidad (Filipino & Schneider, 2008).

La polarización y la disparidad de intereses urgen a la necesidad de llegar a un acuerdo entre las visiones más extremas, con el fin de evitar consecuencias ambientales más severas que ocasionaría el no alcanzar las metas. Entonces, como mencionan De Graaf *et al.* (1999): “el desarrollo sostenible seguirá inalcanzable mientras severas restricciones medioambientales promueven la pobreza y el monetizar los recursos naturales ocasiona desempleo”. En esta visión conciliatoria, se reconoce a la economía como parte del ecosistema. Seguidamente, se determina la capacidad de carga del ambiente para posteriormente establecer las leyes aplicables para que los Seres Humanos no la sobrepasen. Subsiguientemente, se conceptualizan los impactos al ambiental como una externalidad, que se internaliza, a través de impuestos por ejemplo, con la ayuda del sistema de precios.

El cálculo de los ahorros genuinos se realiza mediante la valuación económica del agotamiento de los recursos naturales y las demás pérdidas causadas por la contaminación, restadas de las inversiones en capital físico y humano. La sostenibilidad se define como un positivo ahorro genuino, en este contexto, la reducción del capital natural es sostenible si este es compensado por otras inversiones en términos monetarios.

La concepción fuerte rechaza la idea de que la inversión, en caminos, edificios o educación pueda servir de sustituto al deterioro ambiental (Eriksson, 2010, p. 17). Se requiere en cambio, que las capacidades del ecosistema sean preservadas, o que el capital natural se mantenga más o menos constante. Las consecuencias ambientales se deben considerar como costo de oportunidad y de ser mayores se causaría “*uneconomic growth*” (Daly 2004). Existe entonces un límite del crecimiento y el desarrollo económicos definido como escala óptima antes de causar *uneconomic growth*. Monnet (2008) sugiere que en los lugares donde esta barrera se ha rebasado (los países desarrollados) el paso a seguir es el compromiso de decrecer o contraerse económicamente o

Economic Degrowth para alcanzar niveles óptimos de calidad de vida y desarrollo sostenible globalmente.

1.3. Análisis sistémico e incorporación de variables

Se pretende revelar las particularidades y condicionantes particulares que lleven hacia un modelo de desarrollo urbano sostenible en condiciones cálido-húmedas. Aunque existe la necesidad de más estudios metabólicos urbanos, sólo unas pocas ciudades en el mundo generan datos, además, persisten preocupaciones por la falta de convención en la interpretación de los resultados (Kennedy, Cuddihy & Engel-Yan, 2007, p. 43). Justamente, puede darse el caso que la concentración de impactos ambientales negativos sobrepasen la capacidad de carga y recuperación de los ecosistemas impactados, al grado de que sea imposible su recuperación.

Los impactos biofísicos de huella de carbono (CF) y huella hídrica (WF). Se eligen estos parámetros por su especificidad sumada a los beneficios asociados a los indicadores de este tipo. Se presentan primero los biofísicos ya que se debe estimar el volumen demandado o consumido, que es un paso vinculado al establecer el impacto monetario total. De ahí, se estimen las huellas de carbono antes para dar lugar a asignar costos y beneficios monetarios, lo cual correspondería a la última sección. La fortaleza de los métodos biofísicos es el poder comparar los impactos (Newman, 1999, p. 219; Kennedy, Cuddihy & Engel-Yan, 2007, p. 43)

De ahí que en presente apartado

Se pretende revelar las particularidades y condicionantes particulares que lleven hacia un modelo de desarrollo urbano sostenible en condiciones cálido-húmedas. Aunque existe la necesidad de más estudios metabólicos urbanos, sólo unas pocas ciudades en el mundo generan datos, además, persisten preocupaciones por la falta de convención en la interpretación de los resultados (Kennedy, Cuddihy & Engel-Yan, 2007, p. 43). Justamente, puede darse el caso que la concentración de impactos ambientales negativos sobrepasen la capacidad de carga y recuperación de los ecosistemas impactados, al grado de que sea imposible su recuperación.

Los impactos biofísicos de huella de carbono (CF) y huella hídrica (WF). Se eligen estos parámetros por su especificidad sumada a los beneficios asociados a los indicadores de este tipo. Se presentan primero los biofísicos ya que se debe estimar el volumen demandado o consumido, que es un paso vinculado al establecer el impacto monetario total. De ahí, se estimen las huellas de carbono antes para dar lugar a asignar costos y beneficios monetarios, lo cual correspondería a la última sección. La fortaleza de los métodos biofísicos es el poder comparar los impactos (Newman, 1999, p. 219; Kennedy, Cuddihy & Engel-Yan, 2007, p. 43)

El presente apartado comienza exponiendo el bioclimatismo urbano, aquí se identifican las variables desde un enfoque sistémico. Después, se fundamenta el fenómeno de la Isla de Calor Urbana, la cual es explicable en términos del análisis bioclimático. Lo interesante radica en que el fenómeno se encuentra relacionado al aumento de los consumos energéticos en las ciudades. Por último, se establece la aproximación del metabolismo urbano, el cual se esfuerza por cuantificar la demanda de recursos y su transformación en residuos. Las reflexiones finales del capítulo ayudan a cimentar la propuesta metodológica de evaluación espacial.

1.3.1. El Bioclimatismo urbano.

Antes de continuar, para efectos del presente estudio es necesario delimitar lo que se entenderá con el término “trópico húmedo”. Se distingue a los trópicos como una enorme franja continua en los hemisferios norte y sur, donde la temperatura media anual varía poco hasta unos 25° de latitud (Haffer, 2001, p. 126). En este contexto, es de suponer que la delimitación geográfica que abarque la superficie entre los trópicos de cáncer (23° 26' 14"N) y capricornio (23° 26' 14"S) constituiría el límite del estudio. Sin embargo, resulta más complejo que limitarse a demarcar latitudes, ya que varía en función de la aproximación teórica con la que se afronte.

A manera de ejemplo, para la biogeografía, la región Neotropical, limita su influencia al continente americano, mientras que al sur, sobrepasa los límites del trópico de capricornio al comprender toda Sudamérica. Su regionalización ha sido abordada desde perspectivas geobotánicas, zoogeográficas, ecoregionales y sistemas biogeográficos por más de 150 años²⁵ (Morrone, 2014).

En este contexto se presenta la Tabla 10, donde González-Medrano (2003, p. 27) plantea una regionalización determinada por la distribución geográfica de grandes tipos de vegetación, adaptada clima y al suelo. Se puede apreciar que las zonas tropicales están compuestas por el trópico seco y trópico húmedo, siendo el trópico húmedo la región donde su vegetación predominante es la selva (Espinosa *et al.*, 2008, p. 39). Bajo este criterio, el trópico húmedo se sitúa a menos de 1,000m de altitud con una temperatura media anual superior a los 20°C, con una precipitación pluvial superior a los 1,300 mm anuales, distribuida en un periodo de 200 a 365 días, cubriendo el 12.2% de la superficie del país (González-Medrano, 2003, p. 27).

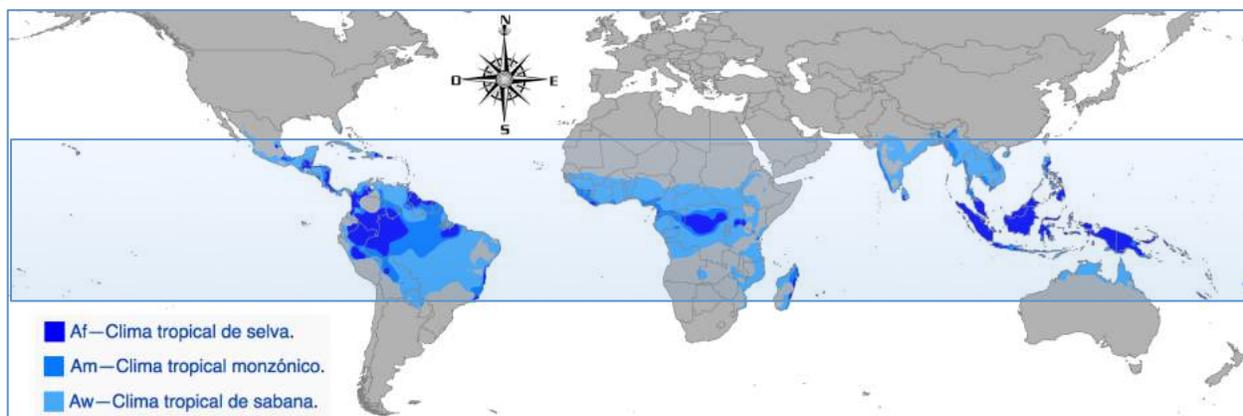
²⁵ Las regiones biogeográficas del mundo fueron propuestas por Wallace desde 1876. Wallace, A.R. (1876). *The geographical distribution of animals*, Editorial McMillan, Londres.

Tabla 10: Regionalización geobotánica de las zonas tropicales

Determinada por		Tipos de vegetación		
Condiciones climáticas	Trópico húmedo	Selva alta	perennifolia	
			subperennifolia	
			subcaducifolia	
	Trópico húmedo	Selva mediana	perennifolia	
			subperennifolia	
			subcaducifolia	
Trópico seco	Selva baja	perennifolia		
		subperennifolia		
		caducifolia		
Suelo o sustrato	Hábitats terrestres		Palmares	
			Sabanas	
			Vegetación de dunas costeras	
	Vegetación hidrófila			Manglares
				Popales
				Tasistales
				Tintales
				Asociaciones sumergidas o flotantes

Fuente: elaboración propia con base en González-Medrano (2003, p. 27); Espinosa et al. (2008, p. 39).

Sin embargo, las variables que inciden en los consumos energéticos son más bien climáticas. Así, Vladimir Köppen²⁶ al definir grandes áreas climáticas del mundo comenzó por clasificar 5 grandes grupos de climas entre los que se encuentra el “clima tropical lluvioso” (Figura 6) caracterizado por la letra “A” (García, 2004, p. 16).

**Figura 6. Planisferio del clima tropical lluvioso de Köppen**

Fuente: Elaboración propia con base en Peel, Finlayson & McMahon (2011).

²⁶ Vladimir Petróvich Köppen (1846-1940) geógrafo, meteorólogo, climatólogo y botánico ruso de origen alemán, conocido por el sistema de clasificación climática de Köppen. Las designaciones de Köppen (1936; 1938 y 1948) a los grupos climáticos y a los tipos principales de clima, fueron tomadas por García, (2004, p. 16).

En este contexto, la Figura 7 presenta las unidades climáticas de la República Mexicana, generadas en el “Mapa Digital de México” versión 6.1 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

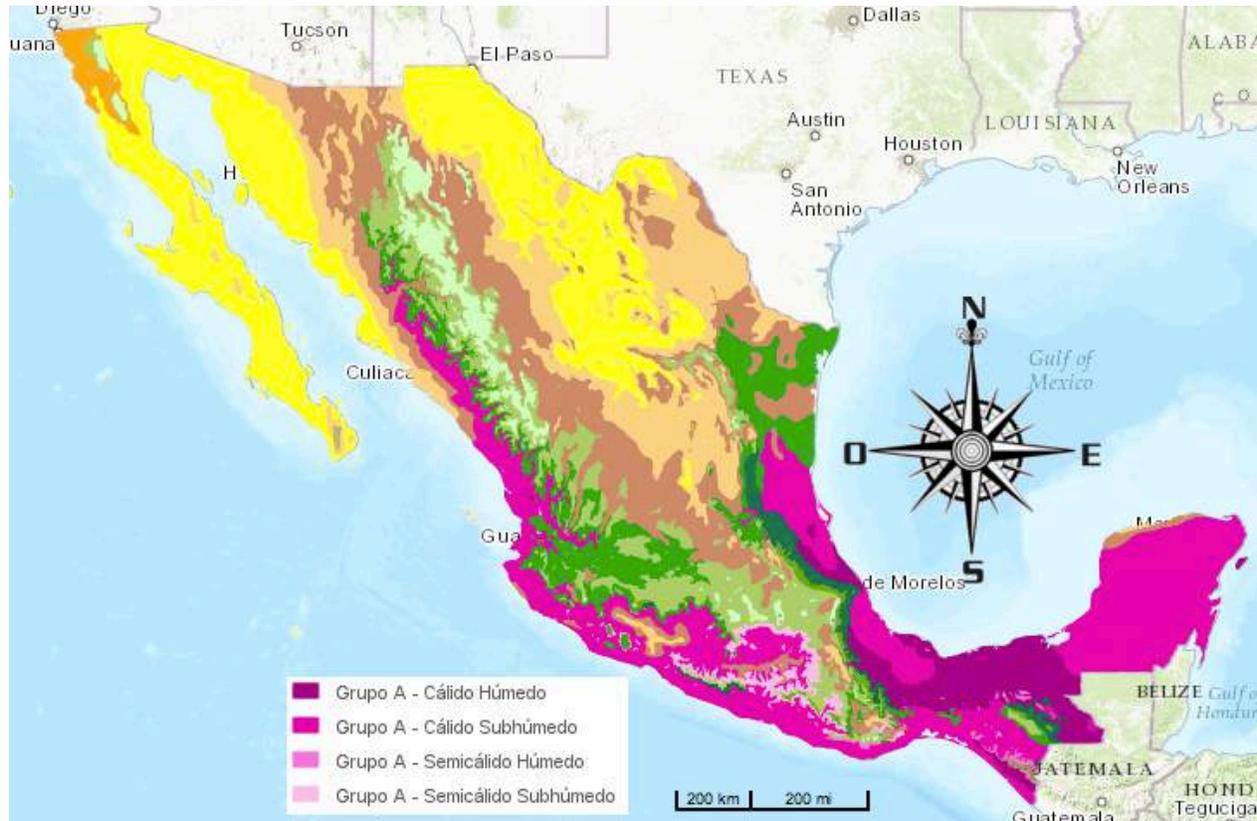


Figura 7. Unidades Climáticas de la República Mexicana

Fuente: Elaboración propia con base en el Mapa Digital de México V6.1, INEGI

Otra perspectiva para regionalizar es la ecológica, la cual fracciona la República en cuatro zonas ecológicas con características propias (árida, templada, trópico seco y trópico húmedo), para después subdividirlas en 88 provincias ecológicas para integrar un total de 1 813 sistemas terrestres (Cortinas de Nava & Ordáz, 1994). La clasificación anterior es descrita en la Figura 8, donde resulta evidente que la distribución de los trópicos (seco y húmedo) va más allá de una cuestión de latitud. Más recientemente, aproximaciones como la “biogeografía ecológica”²⁷, la

²⁷ Myers y Giller (1988): “La biogeografía ecológica trata de explicar los patrones de distribución en términos de interacciones entre organismos y su ambiente físico y biótico actual o en el pasado reciente. A escala local, trata de identificar los procesos que limitan la distribución de una población y mantienen la diversidad específica. A escala

“ecología geográfica”²⁸ y la “macroecología”²⁹ son frecuentemente encontradas en la literatura (Ruggiero, 2001, p. 82).



Figura 8. Grandes regiones ecológicas de México

Fuente: Cortinas de Nava & Ordáz (1994)

continental, intenta explicar fenómenos como gradientes latitudinales en la riqueza de especies y patrones de colonización en islas” Morrone *et al.* (1996): “La biogeografía ecológica analiza patrones de distribución individual o poblacional, a una escala local; tiene en cuenta procesos de adaptación al ambiente y de relación con otras poblaciones o especies” (Citados en Ruggiero, 2001, p. 82).

²⁸ MacArthur (1972): “La ecología geográfica busca patrones en la vida de plantas y animales que puedan volcarse sobre un mapa”... “La estructura del ambiente, la morfología de las especies, la economía del comportamiento de las especies y los cambios en la dinámica de las poblaciones son cuatro ingredientes esenciales de todos los patrones biogeográficos interesantes”. Pielou (1979) : “La ecología geográfica involucra el estudio de las distribuciones geográficas de los distintos tipos de comunidades ecológicas, y la variación geográfica de procesos ecológicos dentro de las comunidades” (Citados en Ruggiero, 2001, p. 82).

²⁹ Brown y Maurer (1989): “La macroecología trata de entender el ensamble de biotas continentales en términos de cómo el espacio físico y los recursos nutricionales de grandes áreas geográficas se dividen entre especies diversas”. Blackburn & Gaston (1998): “La macroecología es el estudio de las formas, determinantes y consecuencias de los patrones geográficos en la estructura de grandes ensamblajes de especies”. Lawton (1999): “La macroecología es una mezcla entre la ecología, la biogeografía, y la evolución, y trata de situarse por arriba de los detalles abrumadores característicos de los conjuntos locales de especies para encontrar una imagen más grande, allí donde una clase de orden estadístico emerge a partir de la confusa lucha”. “La macroecología es la búsqueda de patrones estadísticos mayores en los tipos, distribuciones, abundancias y riqueza de especies, desde las escalas local a global, y el desarrollo y prueba de explicaciones teóricas subyacentes para esos patrones” (Citados en Ruggiero, 2001, p. 82).

La relación del hombre con el espacio ha dado lugar a transformaciones mutuas. Resulta evidente que, a lo largo de la historia, el ser humano se ha tenido que adaptar a los materiales y climas característicos de cada región del planeta buscando su bienestar. El presente apartado aborda el fenómeno de pérdida tecnológicas ancestrales en concordancia con el medio. Si bien no es el fin explicar los fenómenos que origina que se proyecten y construyan ciudades similares en climas y entornos dispares, si pretende revelar sus efectos e importancia. De ahí que se comience con la aproximación del “bioclimatismo humano” el cual estudia la relación que guarda el organismo con variables climáticas y su efecto sobre un estado psicológico que se denomina “confort”. Para el estudio de las ciudades se constituye un análisis más extenso, ya que las construcciones generan afectaciones en la humedad, temperatura y velocidad del viento que generan microclimas diferenciales a lo largo del espacio urbano.

Precisamente la regionalización climática es la más adecuada a los propósitos del presente estudio, ya que estos factores pueden incentivar la demanda energética para climatizar artificialmente, siendo el consumo energético una variable de la sostenibilidad urbana. De ahí que la Comisión Nacional de Vivienda [CONAVI] (2009), contempla 10 regiones bioclimáticas en la República Mexicana, siendo que en el Estado de Quintana Roo se sitúa en la región “cálido-húmeda”. Esta se distingue por encontrarse de 18 a 26°C, con una precipitación anual de 1,000 a 4,000 mm y una humedad relativa media entre el 66 % al 88 %. Desde esta perspectiva, se referencia como el clima afecta el confort humano, siendo que la temperatura media y máxima así como la humedad relativa siempre están por encima de los rangos aceptables de confort (p. 8).

Posteriormente, la Arquitectura y el urbanismo se vuelven “bioclimáticos”, cuando, además de la Biometeorología y la Ingeniería Térmica³⁰, se hace uso de modelos de confort térmico (Bojorquez Morales, 2010, p. 36). Tales modelos son representados en cartas que ayudan a

³⁰ De la cual se desprende la Ingeniería de Aire Acondicionado y Calefacción.

definir estrategias de diseño, como las de Olgyay³¹, Givoni³² y Szokolay³³. Aquí se consideran diversos factores que se interrelacionan en el espacio y que modifican las condiciones climáticas que afectan la percepción de confort del organismo.

En regiones tropicales se recomienda proteger de ganancias térmicas por incidencia solar directa equilibrando con las necesidades de iluminación natural. Mientras que en zonas cálidas húmedas, la ventilación es la principal estrategia de diseño (Brown & Dekay, 2000, p. 103; Givoni, 2003, p. 387; CCEE, 2007, p.2), tal como lo detalla la Tabla 11. En esos lugares, los vientos dominantes se deben conducir al interior de los edificios apoyados por la vegetación y topografía del lugar.

Tabla 11: Estrategias de diseño para climas Cálido-Húmedos.

Estrategias		Recomendaciones
1 ^{ra} Prioridad	2 ^{da} Prioridad	
Ventilación todo el año	Sombreado	<ul style="list-style-type: none"> • Orientar calles oblicuamente de 20° a 30° respecto de los vientos dominantes. • Responder a una dirección secundaria del viento. • Maximice el derecho de vía para el flujo del viento, pero no pavimentado.

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en Brown G.Z. & Dekay Mark (2000) *Sun, wind & light. Architectural Design Strategies*. (p. 103). Ed. Wiley. Segunda Edición 400 p

La traza urbana depende del clima, por tanto, debe ser diseñada de manera diferente según la zona climática de que se trate. La orientación de las calles provoca sombras y flujo de aire que incide directamente en el microclima que rodea a los edificios (Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos [ONU-HABITAT], 2014, p. 49). Resulta evidente de que se debieran generar microclimas optimizados y diseñados en consideración del bioclimatismo humano en exteriores. A la par esta estrategia debe favorecer, en climas cálidos húmedos, el intercambio térmico con los edificios que reduzca la necesidad o demanda de energía de en climatizaciones artificiales de ambientes interiores.

³¹ Publicada en 1963 bajo el título de: *Desing with the climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*.

³² Publicada en 1963 bajo el título de: *Passive and low energy cooling of buildings*.

³³ Publicada en 1984 bajo el título de: *Passive and Low Energy Design for Thermal and Visual Comfort*

En climas cálido-húmedos patrones urbanos dispersos se prefieren para maximizar corrientes de ventilación. Sin embargo, está bien documentado como las edificaciones y otras estructuras urbanas inciden en la reducción de la velocidad³⁴ y los movimientos del aire al interior de las ciudades, los cuales, tienden a ser “más lentos y turbulentos” que en su periferia (Brown & Dekay, 2000; p. 102; CCEE, 2007, p. 159; UN-Habitat, 2014, p. 50). En consecuencia, a nivel urbano siempre es recomendable tomar en cuenta los vientos dominantes al momento del trazado y la orientación de las vialidades.

Es recomendado orientar las tramas en función de los vientos dominantes y procurar el acceso de los edificios a la ventilación cruzada (ONU-HABITAT, 2014, p. 50). La Figura 9 muestra la orientación de avenidas primarias de entre 20 a 30 grados respecto de los vientos dominantes del periodo de verano (Givoni, 2003, p. 388). Adicionalmente, una orientación no alineada a los puntos cardinales provee de sobra a todas las calles durante la mayor parte de día (Brown & Dekay, 2000, p. 102-103).

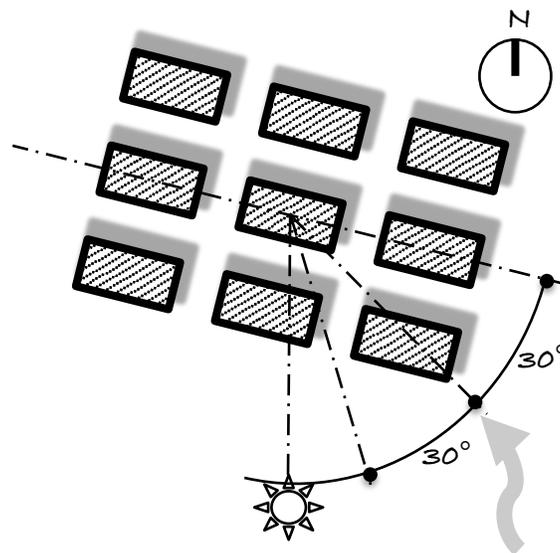


Figura 9. Traza urbana tropical con base en el viento.

Fuente: elaboración propia con base en Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos [ONU-HABITAT]. (2014). *Sustainable Building Design for Tropical Climates. Principles and Applications for Eastern Africa* (p. 50). (S. Ball, Ed.). Nairobi: UNON, Publishing Services Section.

³⁴ La CCEE (2007) afirma que “la velocidad del viento en una ciudad es la mitad de la que se daría en una situación de mar abierto. En el límite de una ciudad, esta disminución se reduce a un tercio” (p. 159).

En el modelo se invita a construcciones dispersas con espacios continuos y grandes espacios abiertos que preserven el acceso a la ventilación. Para tal efecto la separación entre edificios se advierte de siete veces la altura de los edificios, a fin de asegurar el adecuado flujo de aire sin bloquearse (ONU-HABITAT, 2014, p. 51). A nivel vertical se recomienda la variación de alturas combinada con una orientación oblicua a los vientos dominantes. Así se genera un juego de presiones que posibilita a las ráfagas alcanzar los centros urbanos (Givoni, 2003, p. 388).

1.3.2. El Efecto Isla de Calor Urbana.

La contaminación ambiental urbana genera implicaciones en la salud humana, que se ven reflejadas en el número total de años de vida sana perdidos por habitante. Este indicador es desproporcionadamente mayor en países en desarrollo, siendo hasta 15 veces más respecto de países desarrollados (Prüss-Üstün & Corvalán, 2006). Ordinariamente, algunas dinámicas de espacios urbanos generadas pasan desapercibidas para los tomadores de decisión, debido a que sus efectos son indirectos. Un ejemplo de esto son las variaciones climáticas generadas por la ciudad a través del efecto isla de calor³⁵ el cual se describe en la Figura 10. Este fenómeno se manifiesta en los registros de la afectación a microclimas urbanos donde se generan temperaturas por encima del promedio natural, obstaculiza además los periodos de refrigeración normal de organismo humano que ocurren en la noche.

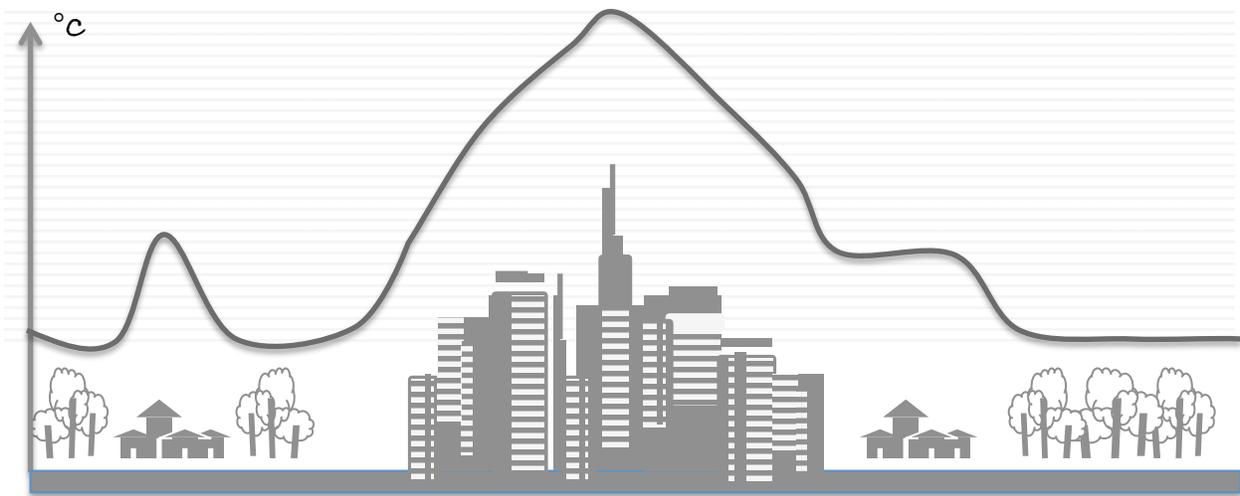


Figura 10. El efecto Isla de Calor Urbana.

Fuente: elaboración propia con base en Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos [ONU-HABITAT]. (2014). *Sustainable Building Design for Tropical Climates. Principles and Applications for Eastern Africa* (p. 27). (S. Ball, Ed.). Nairobi: UNON, Publishing Services Section.

³⁵ Comúnmente encontrada por sus siglas en inglés *UHI* (*Urban Heat Island*) es una condición térmica de las ciudades donde su temperatura promedio es superior a la del área suburbana o rural circundante. Es producida por la sustitución de los ecosistemas originales y el uso extensivo de materiales cuyas características termodinámicas favorecen éste fenómeno con la acción solar.

Los factores que determinan la diferencia o el incremento de la temperatura urbana (ΔS) respecto de su periferia, se enuncian en la ecuación 1 y se ilustran en la Figura 11. Donde $R+$ es la radiación solar neta recibida, afectada por la latitud, la atmósfera y la altitud del lugar, mientras $R-$ es la pérdida radiada de calor; M , representa la tasa metabólica de la ciudad, es decir el calor emitido por los sistemas de transporte, la industria, etc.. Estudios empíricos dividen la aportación antropogénica de esta variable entre edificios (60%), vehículos (32%) y seres humanos (8%) (The Forestry Commission, 2013, p. 2). Aunque ciertamente estos porcentajes pueden variar en lugares donde los edificios no emiten tanta energía calorífica residual por el uso de calefacción, calderas o industria pesada.

$$M \pm R \pm C_v \pm C_d - E = \Delta S (W) \quad (1)$$

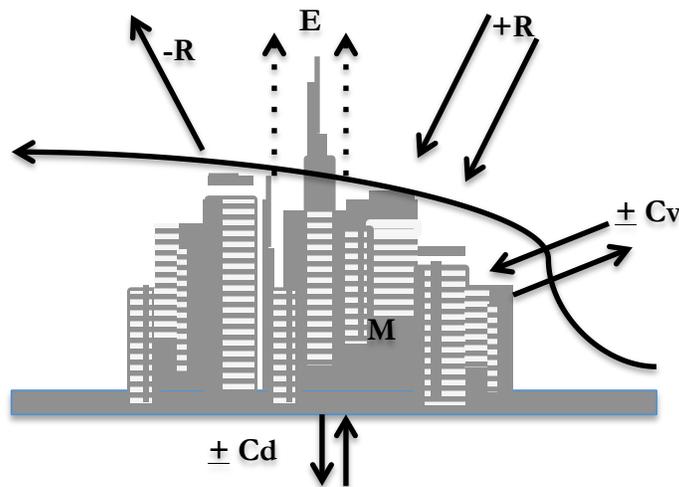


Figura 11. Factores de la Isla de Calor Urbana.

Fuente: Comisión de las Comunidades Europeas [CCEE] (2007). *Un Vitruvio Ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico Sostenible*. (p.159). Barcelona: Gustavo Gili y Olgyai, (2010, p. 15).

Después, Cd representa los intercambios por convección³⁶, aquí el efecto refrigerante de la ventilación se ve disminuido por los edificios, los cuales impiden o reducen la velocidad del viento. Otra de las formas de transferencia de calor es la convección³⁷ (Cv), donde los pavimentos

³⁶ Intercambios de calor producidos por y entre fluidos (gases o líquidos), que transportan o disipan el calor.

³⁷ Transferencia que ocurre por diferencial térmico entre dos cuerpos en estado estacionario.

y los edificios almacenan y conducen el calor más eficientemente que la tierra o la vegetación (CCEE, 2007, p.159). Finalmente el enfriamiento por evaporación (*E*) se ve afectado por las superficies impermeables y el drenaje pluvial que drena más rápidamente el agua de escorrentía.

El efecto de Isla de Calor Urbana esta correlacionado con la densidad y el tamaño de la población, en donde ambientes altamente intervenidos o modificados tienen incrementos mayores en sus temperaturas que aquellos menos densamente poblados (The Forestry Commission, 2013, p. 2;). Adicionalmente los *shocks* térmicos³⁸ ocasionados por las notables diferencias entre las construcciones refrigeradas y la ciudad cálida-húmeda. Cabe resaltar que, termodinámicamente, resulta más eficiente refrescar una construcción con técnicas de arquitectura bioclimática que en una ciudad con calor radiante.

Estudios realizados en América del Norte relacionan el aumento de temperatura del verano con significativos incrementos en consumos energéticos de las ciudades (Kennedy, Cuddihy & Engel-Yan, 2007, p. 53). Existe en consecuencia un efecto cíclico, donde la isla de calor incentiva, a través de la demanda energética, el aumento de las emisiones que generan el calentamiento global (2007, p. 54).

Como ejemplo de su importancia, Italia ha desarrollado a nivel normativo códigos³⁹, reglamentos⁴⁰ y deliberaciones⁴¹ que promueven la disposición de las lotificaciones y vegetación de tal manera que reduzcan el fenómeno de la isla de calor (Siniscalco, 2011). Cuando se sustituyen las superficies naturales por otras más reflectantes la radiación puede concentrarse (Siniscalco, 2011, p. 139). El control del ruido debe ser incorporado a fin de que la ventilación natural no demerite la calidad interior. Para tal fin vegetación y superficies blandas reducen hasta

³⁸ Hipertermia o golpe de calor producida por aumentos bruscos de la temperatura ambiental.

³⁹ El *Codice concordato di raccomandazioni per la qualità energetico ambientale di edifici e spazi aperti* (Siniscalco, 2011, p. 23).

⁴⁰ Como el *Regolamento Edilizio tipo* de la Emilia-Romaña emitido en el 2004 (Siniscalco, 2011, p. 30) y el *Regolamento Edilizio Tipo regionale de la provincia de Torino* (p. 32).

⁴¹ *Resolución del Consejo Regional de Campania 659/2007*, Objetivo D9 (Siniscalco, 2011, p. 52).

en un 75% contaminantes atmosféricos y el ruido (CCEE, p. 159). Hay que recordar que la vegetación juega un papel clave como un importante regulador térmico en las ciudades. De manera que The Forestry Commission (2013) reporta que, con una ubicación estratégica, los árboles pueden reducir la temperatura del aire entre 2 y 8 °C.

Los edificios tienen efectos radicales sobre el microclima inmediato por lo que una buena planificación del entorno urbano puede reducir la demanda energética dentro de un edificio (CCEE, p. 159). Por este motivo los edificios altos no son recomendables en regiones cálido-húmedas, especialmente los perpendiculares a la dirección del viento al generar externalidades negativas en la ventilación (Givoni, 2003, p. 388). Los edificios altos también generan zonas de alta velocidad de flujo del aire y turbulencias además de reducir el enfriamiento por radiación debido al factor de vista de cielo⁴² (Siniscalco, 2011, p. 137). Resulta previsible que en áreas densas esta recomendación es inviable por lo que se deben proveer ductos o medios (ONU-HABITAT, 2014, p. 51). No obstante, si lo que se pretende es densificar, Givoni (2003, p. 388) expone que, en un clima cálido-húmedo, se puede alcanzar ciertos nivel de densidad y confort por medio de “torres”, es decir edificios altos y delgados con la condicionante de que estén considerablemente separadas una de la otra. Teóricamente esto favorecería la ventilación y apartaría la zona habitada de la radicación de calor terrestre.

No obstante, la concentración tiene un límite, estudios como el de Barton, Davis & Guise (2007), recomiendan densidades en las cuales puede haber un buen servicio de transporte público en combinación con infraestructura de calefacción urbana, condiciones de asoleamiento y la existencia de áreas verdes. El inconveniente de la extrapolación de estos estudios es que no están adaptados a regiones tropicales, donde la estructura urbana afecta los flujos de ventilación y fomenta las turbulencias afectando la capacidad de aplicación de estrategias bioclimáticas ante

⁴² Del término en inglés *sky view factor*.

las condiciones de humedad y temperatura prevalecientes. Estudios recientes, como el realizado en cincuenta ciudades de Japón (Makido, Dhakal & Yamagata, 2012, p. 63), muestran que los asentamientos residenciales más regulares pero menos complejos y fragmentados se correlacionan con menores emisiones de CO₂ per cápita. Pero, por el contrario, asentamientos demasiado densos y monocéntricos conducen a una mayor emisión de CO₂ per cápita.

1.3.3. El metabolismo urbano.

Cuando se habla ciudades sostenibles, Haughton (1997) presenta una compilación de tres visiones urbanas, las cuales se encuentran representados en la Tabla 12. Estas son: el re-diseño de las ciudades, el modelo de ciudades dependientes de su exterior y la ciudad autosuficiente. La diferencia entre las tres radica en sus diferencias de implementación y funcionamiento.

En primer lugar, el re-diseño de las ciudades pretende desarrollar una ciudad con un "metabolismo urbano bajo". Esto se logra mediante la reducción de los excesivos flujos de recursos, así como de la generación de residuos. En este contexto, se incentiva la planificación de la ciudad-región en modelos compactos, siempre buscando la eficiencia energética.

Tabla 12: Modelos urbanos en debate

Re-diseño de las ciudades.	Ciudades dependientes del exterior	Ciudad Autosuficiente
Planificación de la ciudad-región en modelos compactos, buscando la eficiencia energética.	Excesiva externalización de costos ambientales, sistemas abiertos, metabolismo lineal y compra de "capacidad de carga" adicional.	Internalización intensiva de actividades económicas y medio ambientales, metabolismo circular, biorregionalismo y soberanía urbana.

Nota. Fuente: elaboración propia con base en Haughton G. (1997). "Developing Sustainable Urban Development Models" en *Cities* Vol. 14 (4). Pp. 189-195.

En segundo lugar, en las ciudades dependientes del exterior, la ciudad actúa como un nodo extractor de recursos para su consumo. Estos provienen de su zona de influencia, la cual, es cada vez es mayor. Adicionalmente se considera que presta poca atención al nivel y calidad de los residuos sólidos y líquidos producidos. Existe, en este modelo, excesiva externalización de costos ambientales, sistemas abiertos, metabolismo lineal y compra de "capacidad de carga" adicional a manera de compensación.

Finalmente, la ciudad autosuficiente pretende reducir el patrón de dependencia externa en el uso de recursos, a efecto de limitar su esfera de influencia urbana. Aquí, las entradas y salidas de recursos y de residuos están más estrechamente vinculadas. Además, se promueve una internalización intensiva de actividades económicas y medio ambientales, metabolismo circular,

biorregionalismo y soberanía urbana. En este contexto, la Tabla 13 presenta una revisión cronológica de estudios teóricos que contribuyeron a la consolidación del metabolismo urbano.

Tabla 13: Revisión cronológica de estudios del teóricos de metabolismo urbano.

Autor (año)	Ciudad o región de estudio	Notas/Contribución
Wolman (1965)	Ciudad Estadounidense hipotética	Estudio formulativo sobre ciudad hipotética de 1 millón de habitantes
Girardet (1992)		Reconocimiento del vínculo con el desarrollo sostenible de las ciudades
Bohle (1994)		Critica la perspectiva que estudia el metabolismo de los alimentos en las ciudades en desarrollo
Newman (1999); Newman <i>et al.</i> (1996)	Sídney , Australia	Agrega medidas de habitabilidad
Stimson <i>et al.</i> (1999)	Brisbane y Sureste de Queensland, Australia	Marco que relaciona el metabolismo urbano con la calidad de vida
Lennox & Turner (2004)		Reporte del estado del medio ambiente
Kennedy <i>et al.</i> (2007)		Análisis del metabolismo cambiante
Barles (2007a)	Paris, Francia	Estudio histórico del nitrógeno en el metabolismo de los alimentos
Zhang & Yang (2007)	Shenzhen, China	Desarrolla medida de la eficiencia ecológica
Chrysoulakis (2008)		Nuevo proyecto bajo el 7PM de la UE
Schremmer & Stead (2009)		Nuevo proyecto bajo el 7PM de la UE
Barles (2009, 2007b)	Paris, Francia	Análisis de una ciudad central, suburbios y región
Deilmann (2009)		Estudio de relación entre el metabolismo y la superficie de la ciudad
Browne <i>et al.</i> (2009)	Limerick, Irlanda	Desarrolla medida de la eficiencia metabólica

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en Kennedy, C., Pincetl, S. & Bunje, P., (2010). “The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design” (p. 2) en *Environmental Pollution* doi:10.1016/j.envpol.2010.10.022



Figura 12. Metabolismo lineal en una ciudad.

Fuente: Elaboración propia con base en Rogers, R. & Gumuchdjian, P. (2000). *Ciudades para un pequeño planeta*. Ed. Gustavo Gili. 180 p.; Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. [ONU-HABITAT] (2008). 3.4 Energy Consumption in Cities. (p. 156) *State of the World's Cities 2008/9 - Harmonious Cities*, Malta: Gutenberg Press Ltd., 153-163; Girardet, H. (2010). *Regenerative Cities*. (p. 11) Hamburgo: World Future Council y Universidad HafenCity.; Karakiewicz, J. (2011). “Urban Metabolism of Low Carbon Cities”. (p. 3) Caso de estudio presentado en el 47° Congreso de la International Society of City and Regional Planners (ISOCARP). 28 de octubre. Wuhan, China.; Meijer, M., Adriaens, F., van der Linden, O., & Schik, W. (2011). A next step for sustainable urban design in the Netherlands. (p. 538) *Cities*, 28(6), 536–544. <http://doi.org/10.1016/j.cities.2011.07.001>.

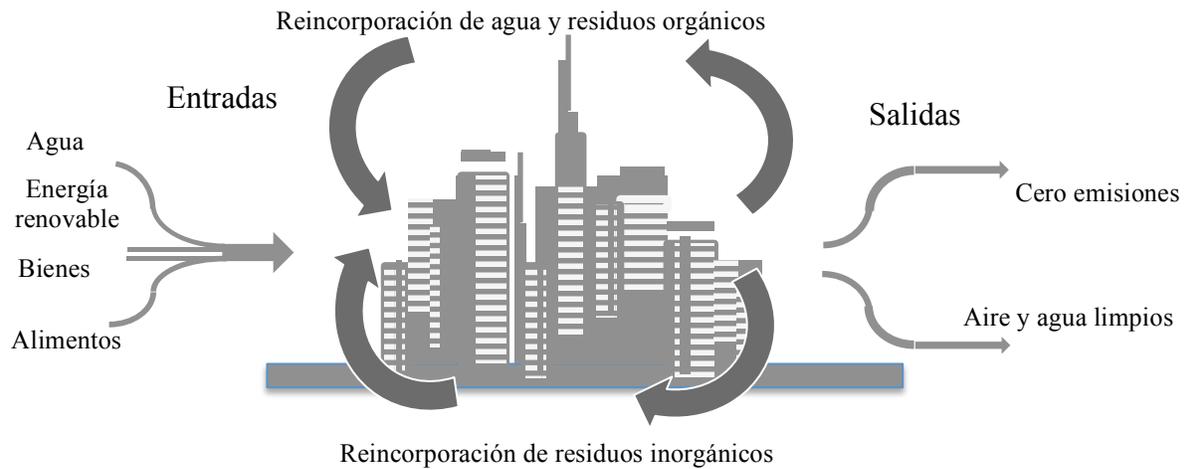


Figura 13. Metabolismo circular en una ciudad.

Fuente: Elaboración propia con base en Rogers, R. & Gumuchdjan, P. (2000). *Ciudades para un pequeño planeta*. Ed. Gustavo Gili. 180 p.; Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. [ONU-HABITAT] (2008). 3.4 Energy Consumption in Cities. (p. 156) *State of the World's Cities 2008/9 - Harmonious Cities*, Malta: Gutenberg Press Ltd., 153-163; Girardet, H. (2010). *Regenerative Cities*. (p. 11) Hamburgo: World Future Council y Universidad Hafencity.; Karakiewicz, J. (2011). "Urban Metabolism of Low Carbon Cities". (p. 3) Caso de estudio presentado en el 47° Congreso de la International Society of City and Regional Planners (ISOCARP). 28 de octubre. Wuhan, China.; Meijer, M., Adriaens, F., van der Linden, O., & Schik, W. (2011). A next step for sustainable urban design in the Netherlands. (p. 538) *Cities*, 28(6), 536–544. <http://doi.org/10.1016/j.cities.2011.07.001>.

La importancia fundamental del recurso hídrico, para la sostenibilidad de las áreas urbanas, se ha resaltado en diversas investigaciones. Hermanowicz & Asano (1999) se enfocan en la gestión integrada de los recursos y los problemas de sostenibilidad. Baker *et al.* (2001) hacen un balance de masa de nitrógeno para todas las aguas residuales generadas en el ecosistema central de Phoenix en Arizona. Después, Gandy (2004) hace un recuento histórico de la expansión de los sistemas de agua urbanos desde la crisis de salud pública del s. XIV. Sahely & Kennedy (2007) realizan un análisis sistémico del ciclo de agua urbano añadiendo los efectos de las infraestructuras hidráulicas en uso de energía y emisiones de gases efecto invernadero. De más amplio espectro, pero siempre vinculado, Hoekstra & Chapagain (2008) realizan un estudio global sobre la huella hídrica de las naciones. Thériault & Laroche (2009) evalúan la

metabolismo hidrológico urbano en una región desde una perspectiva integradora del desarrollo sostenible de los recursos hídricos. Un compendio de lo anterior es presentado en la Tabla 14.

Tabla 14: Revisión cronológica de estudios del metabolismo urbano basados en agua.

Autor (año)	Ciudad o región de estudio	Notas/Contribución
Hermanowicz and Asano (1999)		Agua
Gandy (2004)		Agua
Baker <i>et al.</i> (2001)		Agua
Thériault & Laroche (2009)	Gran Moncton, Canadá	Agua
Sahely and Kennedy (2007)	Toronto, Canadá	

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en Kennedy, C., Pincetl, S. & Bunje, P., (2010). “The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design” (p. 2) en *Environmental Pollution* doi:10.1016/j.envpol.2010.10.022

La huella hídrica es un indicador que determina el volumen de agua consumida, evaporada o contaminada a lo largo de la cadena de suministro. La huella hídrica es un indicador del uso del agua, tanto directo como indirecto, de un consumidor o productor. Se puede calcular para cualquier grupo definido de consumidores dentro de un espacio determinado. Este concepto se introduce en 2002 por Arjen Hoekstra en respuesta a la necesidad de un indicador basado en el consumo de uso de agua.

Para un individuo o una comunidad se define como el volumen total de agua dulce que se utiliza para producir los bienes y servicios consumidos, mientras que para una empresa es el agua utilizada para la producción (Galli *et al.*, 2011). Por ejemplo, la huella hídrica de un producto es el volumen de agua dulce usada para producirlo. Se mide en términos del volumen de agua consumida, evaporada o contaminada durante los diversos pasos de la cadena de producción (Galli *et al.*, 2011; Hoekstra, 2012).

La huella hídrica se compone de tres módulos, la azul, la verde y la gris. La huella hídrica azul se refiere al volumen de agua dulce que se evapora de los recursos mundiales de agua “azul”, superficial y subterránea. La huella hídrica verde es el volumen de agua evaporada de los recursos globales de agua “verde”, agua de lluvia almacenada en el suelo como humedad, la cual es la base de la agricultura de temporal (Hoekstra, 2012). Finalmente, la huella de agua gris

representa el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes, con base en las normas ambientales de calidad del agua (Galli *et al.*, 2011). Dicho de otro modo, el volumen de agua contaminada por la dilución de contaminantes, fertilizantes o plaguicidas, hasta el punto de que el agua sobrepasa el máximo de contaminantes permitidos por las normas.

De esta manera, para el cálculo de la huella hídrica total se tienen que sumar los componentes verde, azul y gris como se muestra en la ecuación 2:

$$WF = WF_{verde} + WF_{azul} + WF_{gris} \quad (2)$$

Enseguida, el cálculo de la huella hídrica azul se describe en la ecuación 3. El término de “uso consuntivo del agua”, incluye el agua que se evapora, el agua que se incorpora en el producto, el agua que no vuelve a la misma zona de captación y el agua que no vuelve en el mismo período. Las dos últimas se refieren a la pérdida de flujo. Para cuantificar la huella azul se emplea los volúmenes de facturación mensual (m³), para que sea agregable se debe identificar la fuente de origen. Por ejemplo, la primera pudiera ser agua que se devuelve a otra cuenca o se deposita en el mar. Acorde con Galli *et al.* (2011) la segunda se puede referenciar el impacto de privar del agua en un periodo donde escasea y regresarla en un periodo cuando abunda:

$$WF_{azul} = \text{evaporación}_{\text{Agua azul}} + \text{Incorporación}_{\text{Agua Azul}} + \text{Pérdida de flujo} \quad (3)$$

La huella hídrica verde involucra el volumen de agua de lluvia consumida durante el proceso de producción. Para cuantificar la huella verde se debe tomar en cuenta las condiciones climáticas del lugar, la superficie con cobertura de áreas verdes y su tipo. Es particularmente relevante para la producción agrícola y forestal. Galli *et al.* (2011) indican que se incluye el total de la evapotranspiración del agua de lluvia más el agua incorporada al producto, como se indica en la ecuación 4:

$$WF_{verde} = \text{Evaporación}_{\text{Agua Verde}} + \text{Incorporación}_{\text{Agua Verde}} \quad (4)$$

Finalmente, la huella hídrica gris se produce por la lixiviación de contaminantes hasta el manto freático. En ella, se estima la calidad del agua contaminada por un cierto producto químico (Hoekstra, 2012). Inicialmente, se obtiene del cociente de la carga contaminante L (en masa / tiempo) entre la diferencia entre el estándar de calidad de agua para dicho contaminante c_{max} (en masa / volumen) y su concentración natural c_{nat} (en masa / volumen) en el cuerpo de agua receptor. Para cuantificar la huella gris se debe contemplar la concentración de parámetros en el afluente y en el efluente y compararlo respecto de la concentración natural y la concentración máxima establecida por normativas, tal como se indica en la ecuación 5:

$$WF_{gris} = \frac{L}{c_{max} - c_{nat}} \quad (5)$$

A diferencia de la huella ecológica, una de las principales ventajas de la huella hídrica es que es un indicador geográficamente explícito. En otros términos, no sólo muestra los volúmenes de uso y contaminación del agua, sino que se puede ubicar su origen (Galli *et al.*, 2011). Así, los principios de información son los mismos, pero los enfoques para presentarla difieren.

El consumo energético ligado a la calidad de la fuente productora de energía esta directamente relacionado con la emisión de gases de efecto invernadero. El análisis de los flujos energéticos urbanos se ha llevado a cabo desde diversas perspectivas. Un método comúnmente utilizado es la síntesis de energía, donde se contabilizan los joules de energía solar necesaria para producir otra unidad de energía utilizada por el hombre. Si prácticamente todo tipo de energía consumida es o provino del sol (con excepción de la energía geotérmica), se puede asociar la eficiencia de su transformación. Lo anterior puede vincularse a cualquier actividad de consumo o producción humanas. La Tabla 15 resume cronológicamente estos y otros estudios de metabolismo urbano basados en energía.

Tabla 15: Revisión cronológica de estudios del metabolismo urbano basados en energía.

Autor (año)	Ciudad o región de estudio	Notas/Contribución
Zucchetto (1975)	Miami, EE. UU.	Enfoque de emergencia
Stanhill (1977); Odum (1983)	París de 1850s	Enfoque de emergencia
Agencia Europea de Medio Ambiente [AEMA] (1995)	Praga, República Checa (Estudio metabólico integral)	Consumo energético para Barcelona y otras siete ciudades europeas
Huang (1998)	Taipéi, China	Enfoque de emergencia
Zhang <i>et al.</i> (2009)	Pekín, China	Enfoque de emergencia
Vega Azamar (2013)	Montreal, Canadá	Enfoque de emergencia

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en Kennedy, C., Pincetl, S. & Bunje, P., (2010). "The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design" (p. 2) en *Environmental Pollution* doi:10.1016/j.envpol.2010.10.022

De incluir otros gases de efecto invernadero (GHG⁴³), como el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF₆), la unidad utilizada de masa se le añadirá CO₂-e, por dióxido de carbono equivalente. Seguidamente, la Tabla 16 muestra los factores de conversión que ponderan el Potencial de Calentamiento Global (GWP⁴⁴) de cada gas incluido en el Protocolo de Kioto. La variable se multiplica por la cantidad de gases emitida en toneladas anuales, transformándolo a Kilos para obtener los Kilogramos de dióxido de carbono equivalente (Kg CO₂-e).

De ahí, la huella de carbono de un solo producto (CF_p) se puede calcular a partir de la ecuación 6. En donde **GWP** es el potencial de calentamiento atmosférico de cada gas de efecto invernadero (GHG) **i** que se esté considerando y **Q** es la cantidad de GHG **i** para cada entrada **j** que se contemple:

$$CF_P = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n GWP_i * Q_{i,j} \quad (6)$$

Dentro de las ventajas de este indicador, se encuentra el poder asignar la responsabilidad de la generación directa o indirecta de dióxido de carbono para cada actividad. En otras palabras, no se restringe a la generación, pérdidas y consumo de energía, como se muestra en la Tabla 17, sino que adicionalmente se puede contemplar los materiales y técnicas constructivas empleadas.

⁴³ Abreviatura en inglés de greenhouse gases, que se traduce como gases de efecto invernadero.

⁴⁴ Abreviatura en inglés de Global Warming Potential, en referencia al Potencial de Calentamiento Atmosférico de cada gas.

Tabla 16: Factores de Emisiones de GHG incluidas en el Protocolo de Kyoto.

Emisión	Formula Química	Factor de conversión (GWP)
Dióxido de Carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	21
Óxido nitroso	N ₂ O	310
HFC-23	CHF ₃	11,700
HFC-32	CH ₂ F ₂	650
HFC-41	CH ₃ F	150
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	2,800
HFC-134	CHF ₂ CHF ₂	1,000
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1,300
HFC-143	CH ₃ CF ₃	300
HFC-143a	CH ₃ CHF ₂	3,800
HFC-152a	CF ₃ CHF ₂ CF ₃	140
HFC-227ea	CF ₃ CH ₂ CF ₃	2,900
HFC-236fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	6,300
HFC-245fa	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃	560
HFC-43-I0mee	CF ₃ CHFCHFCF ₂ CF ₃	1,300
PFC-14	CF ₄	6,500
PFC-116	C ₂ F ₆	9,200
PFC-218	C ₃ F ₈	7,000
PFC-318	c-C ₄ F ₈	8,700
PFC-3-1-10	C ₄ F ₁₀	7,000
PFC-4-1-12	C ₅ F ₁₂	7,500
PFC-5-1-14	C ₆ F ₁₄	7,400
Hexafluoruro de azufre	SF ₆	23,900

Nota. Fuente: Elaboración propia a partir de Departamento de Energía y Cambio Climático, [DECC], & Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales, [DEFRA] (2012). *2012 Guidelines to DEFRA / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting* (p. 18). DEFRA publications, Department for Environment, Food and Rural Affairs, Londres, 85 p.

Tabla 17: Factores de conversión de energía eléctrica para México.

Concepto	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
kgCO ₂ electricidad por kWh generada	0.57095	0.49545	0.50931	0.48224	0.47915	0.43032	0.45498
kgCO ₂ por kWh de pérdidas de energía en la transmisión y distribución	0.11923	0.10347	0.10906	0.10134	0.10232	0.09248	0.09605
kgCO ₂ electricidad por kWh consumido	0.69018	0.59892	0.61837	0.58358	0.58147	0.5228	0.55103
<i>Pérdidas por distribución</i>	<i>17.28%</i>	<i>17.28%</i>	<i>17.64%</i>	<i>17.37%</i>	<i>17.60%</i>	<i>17.69%</i>	<i>17.43%</i>

Nota. Fuente: Elaboración propia a partir de Departamento de Energía y Cambio Climático, [DECC], & Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales, [DEFRA] (2012). *2012 Guidelines to DEFRA / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting* (p. 44-46). DEFRA publications, Department for Environment, Food and Rural Affairs, Londres, 85 p.

Por último, como una reflexión final, tal como lo afirma Newman (1999, p. 219) el camino hacia la sostenibilidad planteado por la Agenda 21 no era del todo claro. En el mismo sentido, para Castillo & Velázquez (2010, p. 52) la falta de indicadores dificulta la aplicación de políticas efectivas sobre una ciudad, siendo indispensables para el diseño y la planificación urbanas. Precisamente se ha identificado como una oportunidad el poder estandarizar o armonizar los indicadores de desarrollo sostenible locales desarrollados hasta ahora (Pires *et al.*, 2014). Los que defienden la estandarización afirman que sería útil para comparar los datos, ponderar los problemas y evaluar las opciones de política en relación con el desarrollo sostenible (p. 4).

A manera de ejemplo, las Naciones Unidas desarrollaron a través de la División para el Desarrollo Sostenible⁴⁵ un conjunto de 58 indicadores económicos, ambientales sociales e institucionales (Naciones Unidas, 2007). En consecuencia, organismos⁴⁶ de la Organización de las Naciones Unidas inician el en 1996 Programa sobre Ciudades Sostenibles. Seguidamente surgen las intenciones de traducir a índices numéricos las percepciones cualitativas de los ciudadanos (Castillo & Velázquez, 2010, p. 55). En este contexto, la Comisión de Desarrollo Sostenible⁴⁷ contempla temas como: la pobreza, la gobernanza, la salud, la educación, la demografía, los riesgos naturales, la atmósfera, la tierra, los océanos, los mares y las costas. A la par, incluye el agua dulce, la biodiversidad, el desarrollo económico, la vinculación económica global, el consumo y la producción (Newman & Kenworthy, 2006, p. 9). Existen pues una enorme cantidad de proyectos en la Unión Europea para desarrollar indicadores comunes, siendo más reducidos los enfocados a indicadores específicos o de contexto (Pires *et al.*, p. 4).

Por su parte Newman & Kenworthy (1999) generan una iniciativa de metas anuales para medir el progreso relativo hacia la ciudad sostenible, las cuales se agrupan cinco categorías.

⁴⁵ DDS por las siglas en inglés de: “Division for Sustainable Development”.

⁴⁶UN-HABITAT y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

⁴⁷ Traducido del inglés: “Commission on Sustainable Development”.

Primeramente se considera el avance respecto de la energía y calidad del aire, la segunda el agua, materiales y residuos, seguidamente se aborda la tierra, los espacios verdes y la biodiversidad, después el transporte para finalmente tratar la habitabilidad, la amenidad y la salud humana. Posteriormente, Hemphill *et al.* (2004) pretenden medir el desempeño urbano de regeneración sostenible. Aquí los indicadores se agrupan en categorías como: economía y trabajo, uso de los recursos, construcciones y uso de suelo, transporte y movilidad y finalmente beneficios comunitarios. Los autores pretenden medir la sostenibilidad relativa de los planes de regeneración urbana.

Igualmente, existen varios programas de indicadores urbanos desarrollados por el Banco Mundial y el “Programa Global de Indicadores Urbanos”⁴⁸. En este último se pretende estandarizar la metodología permitiendo la comparabilidad del desempeño urbano y el intercambio de experiencias. En este orden de ideas los indicadores se estructuran en 20 categorías, agrupadas entre las que miden servicios urbanos y las que consideran la calidad de vida (Instituto Global de Investigaciones Urbanas, 2014). Recientemente el programa desarrolló una norma internacional ISO⁴⁹ en el marco del Comité Técnico TC268 sobre el Desarrollo Sostenible de Comunidades. Si bien el fin es la comparabilidad entre las diferencias espaciales de una gran urbe respecto a un pequeño ciudad, el programa aun se encuentra en desarrollo.

En este sentido, Castillo & Velázquez (2010, p. 52) citan a Alguacil (2006, p. 183) en referencia a que los indicadores deben de ser capaces de brindar información que permita dirigir los esfuerzos hacia cumplir los complejos objetivos del desarrollo sostenible. Sin embargo, a pesar de su importancia, los indicadores no son tomados en cuenta para la toma de decisión, más

⁴⁸ Traducido del inglés a partir de: “Global City Indicators Program”, que es un programa del “Global Cities Research Institute” que se traduce como “Instituto Global de Investigaciones Urbanas” el cual fue creado en el 2006 para agrupar a los especialistas de las materias en la Universidad RMIT de Australia.

⁴⁹ Siglas de la “Organización Internacional de Normalización”.

aún, son manipulados o se les asigna escasos recursos para su obtención (Pires *et al.*, 2014, p. 1). En este contexto, la falta de consenso internacional produce ineficiencias de evaluación de la intervención pública y el desempeño privado respecto del cumplimiento de los objetivos del desarrollo sostenible. Actualmente, se puede identificar la prevalencia de indicadores estandarizados entre los que miden el crecimiento económico -como el caso del PIB-, los que analizan la aplicación de mejores prácticas y los que se dividen en rubros y miden avance relativo (p. 4).

Precisamente, como lo afirma Reboratti (2011, p. 32) la inclusión de la dimensión ambiental en las ciencias sociales ha sido caótica y llena de dificultades. Como se mostró en el segundo apartado, existen muchas visiones y posturas respecto del tratamiento que se le debe dar al medio ambiente. Específicamente para el caso de la economía se ha producido una suerte de revolución epistemológica a través de la economía ecológica (p. 34). Cabe señalar que, tal como lo señalan Pires *et al.* (2014, p. 1), por tratar de medir y abstraer la complejidad social y las interacciones ambientales, los indicadores de desarrollo sostenible han sido ampliamente criticados.

En definitiva, los indicadores deben de evaluar con claridad, facilitando la comparabilidad de los resultados y resolviendo el problema de la agregación. Lo anterior, incluso entre ciudades enormes o pequeños poblados, donde el factor espacial y el contexto de su ubicación sean relevantes. Por lo tanto, el objetivo debe ser el poder definir rumbos, priorizar y ponderar las acciones para alcanzar las metas de sostenibilidad. Precisamente como lo recomiendan Pires *et al.* (2014, p. 4), se deben identificar algunos temas universales comunes para proporcionar comparaciones internacionales e interregionales útiles.

Los fenómenos urbanos que originan impactos negativos al ambiente han fomentado la generación de múltiples herramientas de análisis. Tal es el caso de los estudios de los costos de infraestructura ante la dispersión, los que analizan los efectos del transporte y los de metabolismo

urbano.

Durante el presente capítulo se pudo precisar la concepción del desarrollo sostenible. Aquí se sentaron las bases para las posturas desarrolladas en las últimas décadas con el objeto de implementarlo y cuantificarlo. Con base en la postura filosófica, se presentó el debate que bifurcó las posturas en dos visiones contrapuestas. Seguidamente se caracterizaron los componentes y determinantes de una ciudad sostenible. Finalmente, se presentaron algunos indicadores de sostenibilidad urbana desarrollados por diversas instituciones. A continuación, en el siguiente capítulo se profundizará sobre la evidencia respecto de la densidad como factor de la ciudad sostenible. Para eso, se presentarán los estudios y evidencia empírica que sustentan las posturas en el debate. Finalmente, se añadirán nuevos factores, los cuales se piensa que son relevantes para las regiones tropicales.

Capítulo 2. Propuesta Metodológica de Evaluación Espacial

La diversidad y complejidad de los fenómenos geográficos, obligan a contar con herramientas que permitan valorar las particularidades de cada caso. En este sentido, la presente propuesta metodológica de evaluación espacial, persigue contrastar las variables densidad con los impactos biofísicos de la operación de los edificios, los cuales, por encima del transporte y la industria, son los principales consumidores energéticos e hídricos de las ciudades. Se cree que la aplicación de la herramienta, puede revelar la relevancia de la densidad urbana frente a factores socioeconómicos y tecnológicos.

Ante la complejidad de las interacciones urbanas con su entorno y la diversidad y especificidad de los ambientes donde se desarrollan las ciudades, ninguna fórmula o modelo es reproducible. Se deben revelar las condicionantes y determinantes que generen información más completa. Así, las evaluaciones de sostenibilidad que no contemplen los impactos de las actividades humanas así como los costos y beneficios sociales indirectos e intangibles podrán conducir a selección adversa al momento de priorizar las inversiones e intervenciones públicas con base en el beneficio social. Una muestra de lo anterior es que tanto el suministro inadecuado de agua, su ineficiente saneamiento e higiene, como la contaminación atmosférica urbana y su contaminación por plomo son de los problemas más costosos de la degradación del medio ambiente.

2.1. Metodología de cuantificación de los impactos biofísicos

La parte de la cuantificación de los impactos biofísicos, es el segmento fundamental de la contribución metodológica del presente trabajo. Se trata de una propuesta que permita obtener una muestra confiable y significativa del universo que se desea investigar. A nivel micro, se obtiene información agregable de los consumos hídricos y energéticos de una población. Si bien actualmente esto representa un reto por el volumen y complejidad en el manejo de datos estadísticos, se cree que la automatización en algoritmos permita obtenerlos en tiempo real. Parte relevante de la propuesta, es que posibilita su análisis espacial, es decir, el lugar en el espacio donde ocurren los fenómenos, sumado al cruce con otras variables, puede resultar explicativo. Eso es precisamente lo que se quiere lograr con la propuesta, contar con datos cuantificables, agregables y geo-localizados, que, al evaluarlos respecto de hipótesis basadas en construcciones teóricas, ayuden a identificar y gestionar adecuadamente estas relaciones socio-naturales.

De manera que, los primeros dos segmentos, guían en la estandarización del procesamiento de datos, tanto de los consumos hídricos como energéticos. Dado que el origen de la información y su grado de desagregación son diferentes, el proceso propuesto también lo es. Acto seguido, se muestra como transformar los consumos energéticos en kilogramos de dióxido de carbono equivalente, la unidad de la huella de carbono. Después, en la último segmento, se indica cómo generar mapas de la densidad urbana en sus dos variantes principales: la poblacional y la construida. Las variables obtenidas permitirán concebir herramientas integrales de evaluación respecto de su comportamiento, donde el estudio de las relaciones entre la sociedad y la naturaleza incidan en el debate público que permita gestionar adecuadamente el medio ambiente y sus recursos.

2.1.1. Cuantificación de la huella hídrica de una ciudad.

Como ya se definió, la huella hídrica es un indicador que determina el volumen total de agua dulce usado o consumido por un individuo o comunidad. El proceso de cuantificación de huella hídrica consiste en determinar el volumen de agua consumida, evaporada o contaminada a lo largo de la cadena de suministro (para este caso de estudio se analiza la consumida). Se puede calcular para cualquier grupo definido de consumidores por ejemplo: individuos, familias, pueblos, ciudades, Estados o naciones.

El proceso metodológico se describe a continuación, iniciando por la obtención de datos. En esta etapa, con ayuda de la dependencia responsable del suministro de agua potable de la ciudad y el consumo correspondiente a cada mes en metros cúbicos (m^3) durante el periodo⁵⁰. Posteriormente, se procede al cálculo de la demanda promedio anual por usuario. Aquí se determina el consumo anual por usuario durante el periodo enero-diciembre del año 2010. Esto se obtiene al partir de la siguiente ecuación:

$$Da = \sum m_{1234 \dots 12} \quad (7)$$

Dónde:

Da: Demanda total anual por usuario en el periodo.

$\sum m$: Sumatoria de los consumos facturados mensualmente.

Acto seguido, se procede a ubicar los consumos según la dirección vinculada al consumo conforme a la base de datos. Para esto, se realiza un montaje cartográfico, por manzana urbana o cruzamiento, según sea el caso. Se emplean las clave de registro proporcionadas con la finalidad de agilizar el proceso de asignación de los mismos. Posteriormente, determina el consumo total anual por manzana urbana. En esta fase se debe agregar el total de los consumos registrados aplicando la siguiente ecuación:

⁵⁰ Para el caso de Tulum, la base de datos contaba con un registro de 16,215 usuarios y el periodo de estudio fue de enero-diciembre del año 2010 (ver anexos).

$$Ct = \sum r_{1234 \dots n} \tag{8}$$

Dónde:

Ct : Consumo total por cruzamiento (m3).

$\sum r_{1234 \dots n}$: Suma de cada uno de los consumos segun clave de registro.

Como la finalidad es obtener el consumo total por manzana urbana (y lo que se tiene son consumos por cruzamiento) se tienen las siguientes condiciones según el tipo de cruzamiento.

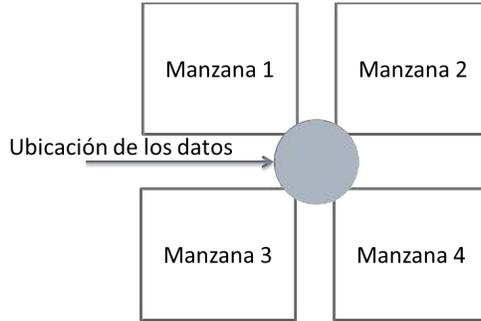


Figura 14. Ubicación de datos con intersección de cuatro manzanas.

Fuente: elaboración propia.

Para los datos ubicados en un cruzamiento de cuatro manzanas, como se muestra en el grafico anterior, se aplica la siguiente ecuación:

$$Cm_{1234} = \frac{(Ct)}{4} \tag{9}$$

Dónde:

Cm_{1234} : Consumo total de cada una de las manzanas (m3).

Ct : Consumo total en el cruzamiento(m3)

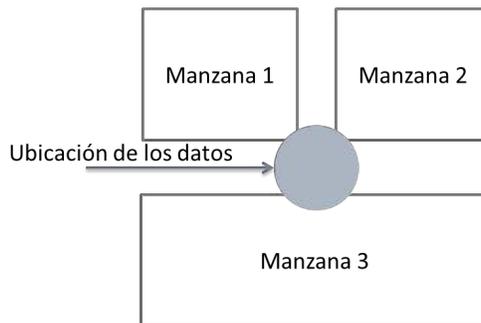


Figura 15. Ubicación de datos con intersección de tres manzanas

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los datos ubicados en una intersección de tres manzanas, como se muestra en el grafico 12, se aplican las siguientes ecuaciones:

$$Cm_{12} = \frac{Ct}{4} \quad (10)$$

$$Cm_3 = \frac{Ct}{2} \quad (11)$$

Dónde:

Cm_{12} : Consumo total de las manzanas 1 y 2 (m3).

Cm_3 : Consumo total de la manzana 3 (m3).

Ct : Consumo total en el cruceamiento(m3)

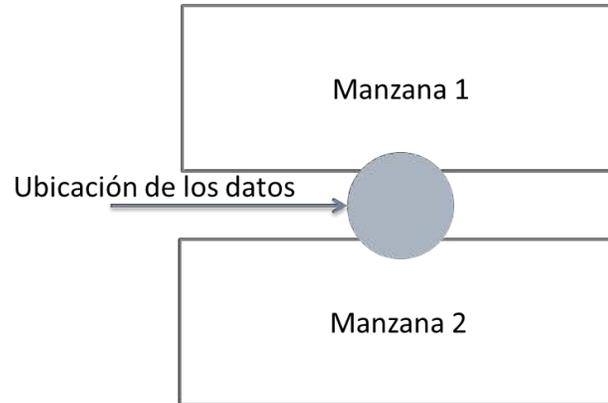


Figura 16. Ubicación de datos entre calle y dos manzanas

Fuente: elaboración propia.

Para los datos ubicados entre calle y dos manzanas urbanas como se muestra en el gráfico anterior se aplica la ecuación siguiente:

$$Cm_{12} = \frac{Ct}{2} \quad (12)$$

Dónde:

Cm_{12} : Consumo total de las manzanas 1 y 2 (m3).

Ct : Consumo total en el cruceamiento(m3)

Después se procede a encausar los resultados a una nueva base de datos; en esta fase se procesa conforme a la clave de manzana urbana asignada por el INEGI la cantidad total de m³ de agua consumida obtenida en la etapa anterior. Finalmente, se cuenta con información suficiente a efectos de realizar el geo-procesamiento de consumos por manzana urbana. Ya contando dichos consumos en la forma descrita y una referencia de localización, conforme al INEGI se realiza el mapeo con los consumos anuales en metros cúbicos correspondientes a cada manzana.



Figura 17. Mapeo de los consumos hídricos anuales por manzana urbana

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis hídrico de Tulum.

Se determinaron 8 categorías de consumo, donde el color rojo intenso representa mayor consumo bruto registrado en m³ de agua; en amarillo y naranja el promedio de consumo, mientras que en verde los consumos bajos. Cabe recalcar que esta categorización no tiene en cuenta un corrector de intensidad, como pudiera ser dividir el consumo total entre superficie de la cuadra o entre usuarios. No obstante, lo que si nos permite apreciar la diferenciación espacial es una concentración de consumos elevados en la zona centro, o lo que sería la zona urbanizada más antigua de la ciudad. Esto puede explicarse teóricamente a través de alguno de los siguientes fenómenos: la concentración poblacional en estas zonas, mayor actividad o dinamismo económico, instalaciones anticuadas de almacenamiento que presenten fugas y la consolidación urbana por tener menos vacíos intraurbanos,. También, al tratarse de una evaluación del 2010, las zonas de expansión pudieran no contar a la fecha con registros de su consumo, es decir con

medidores de agua instalados. La metodología prevé un proceso de selección de datos y donde el consumo mensual resultaba constante, indicaba la inexistencia de medidor, por lo que el dato era rechazado.

2.1.2. Cuantificación de huella de carbono de los edificios.

El proceso metodológico que a continuación se describe puede ser aplicado ya sea a un individuo o muchos, una casa, una ciudad, a la energía, e incluso a un objeto del cual se conozcan sus orígenes. Para este caso de estudio se analizará desde la perspectiva energética de una ciudad, ya que según estudios nacionales internacionales es ahí donde se originan la mayoría de los GEI.

En primer término se detalla el proceso para la obtención y recopilación de datos. En esta etapa se deberá conseguir la información del consumo energético en kilowatts por hora (Kwh), es importante mencionar que por lo regular las instituciones encargadas del suministro energético tienen los consumos establecidos por ciclos⁵¹ y rutas⁵². Posteriormente se cuantifica el consumo energético por unidad espacial básica, idealmente una ruta. En esta etapa se pretende agregar el consumo energético anual, ya que los datos originales se encuentran definidos por ciclos y rutas. Por tal motivo se establecen las siguientes condiciones, en caso de que la disposición espacial de los datos proporcionados por rutas o ciclos.

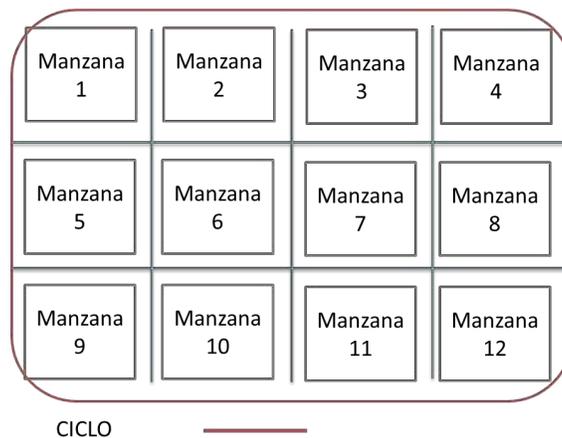


Figura 18. Esquema de distribución de un ciclo a nivel urbano.

Fuente: elaboración propia.

Si la configuración espacial de los datos es como se muestra en la imagen anterior (por ciclos), se aplicara la siguiente ecuación para determinar el consumo energético por manzana urbana.

⁵¹ Un “Ciclo”, es un conjunto de rutas de servicio de energía eléctrica, que se factura en un periodo determinado.

⁵² Una “Ruta” es un conjunto de servicios de energía eléctrica.

$$Ce = \frac{(Cc)}{Tmu} \quad (13)$$

Dónde:

Ce: Consumo energético total por manzana urbana (kw*hr).

Cc: Consumo energetico facturado en el ciclo durante un periodo(kw * hr * año, kw * hr * mes).

Tmu: Total de manzanas urbanas que reciben suministro eléctrico.

Para el caso en el que configuración espacial de los datos este por rutas similar a como se muestra en la imagen anterior, se aplicara la siguiente ecuación para determinar el consumo energético por manzana urbana.

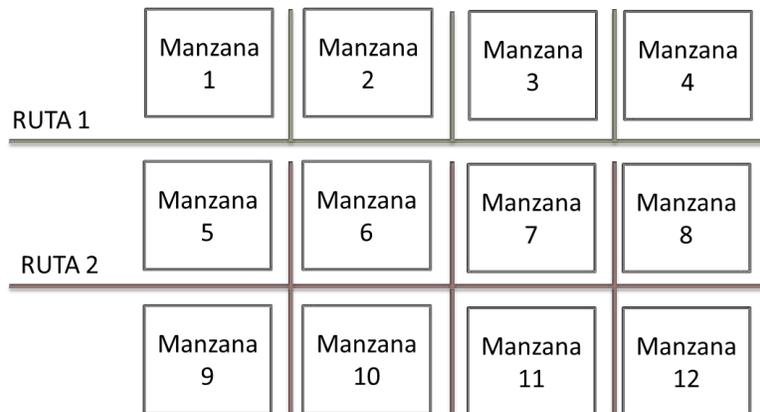


Figura 19. Esquema de distribución de las rutas a nivel urbano.

Fuente: elaboración propia.

$$Ce = \frac{(Rt)}{Tmu} \quad (14)$$

Dónde:

Ce: Consumo energético total por manzana urbana (kw*hr).

Rt: Consumo energetico facturado en la ruta durante un periodo(kw * hr * año, kw * hr * mes).

Tmu: Total de manzanas urbanas que reciben suministro eléctrico.

Después, se procede al procesamiento de la información para estructurar la base de datos. En este paso únicamente se procesará la información obtenida en la etapa anterior y se relacionaran con la clave de manzana urbana del INEGI. La Huella de Carbono se emplea para medir la cantidad total de emisiones de gases de efecto invernadero generadas directa o indirectamente por una actividad o acumuladas por las etapas de vida de un producto (Galli *et al.*, 2011). El resultado se cuantifica en unidades de masa el total de gases de efecto invernadero, kg, t, etc.. Tal como se

muestra en la Tabla 18, si la energía es producida con base en combustibles fósiles, esta emitirá CO₂ por unidad de energía producida. Para el caso de estudio, el diesel por ser un derivado del petróleo genera 0.27 Kg CO₂ por cada kWh generado. A esto habría que añadir las pérdidas asociadas con el suministro de energía, que puede involucrar cientos de kilómetros desde el lugar de original producción.

Tabla 18: Emisiones de CO₂ por unidad de energía de distintos combustibles.

Combustible	Kg CO ₂ / kWh
Gas Natural	0.2
Petróleo	0.27
Carbón	0.3 -0.35

Nota. Fuente: Comisión Europea (2010, p. 95).

Por último, teniendo los consumos totales por manzana urbana se tiene la información necesaria para convertir el consumo energético a unidades de dióxido de carbono equivalente. Para tal efecto, se aplicará la siguiente ecuación para poder obtener el consumo en kg de dióxido de carbono.

$$CO_2 = Ce(Fc) \quad (15)$$

Dónde:

CO₂: es la cantidad de dióxido de carbono producido en el periodo (kg de CO₂).

Ce: Consumo energético total por manzana urbana (kw*hr).

Fc: Factor de conversión según el origen de la energía (kg de CO₂/ kw*hr)

Según el origen de la energía se considerarán los siguientes factores

2.1.3. Densidad urbana. Población y coeficiente de superficie construida.

Para el estudio de Tulum se aplicó el siguiente proceso metodológico a efectos de calcular obtener las variables exógenas. Inicialmente, para los datos de población se obtuvo la población por manzana urbana en base al censo de población y vivienda del año 2010. La información consistía de un total de 293 registros, de los cuales se usaron 286 ya que estos estaban en la zona de estudio (ver anexo).

Acto seguido, para plasmar cartográficamente los datos poblacionales por manzana urbana se utilizó la ayuda del mapa digital en línea que proporciona el INEGI. Así se logró obtener el mapa con la densidad poblacional por manzana urbana (Figura 20).

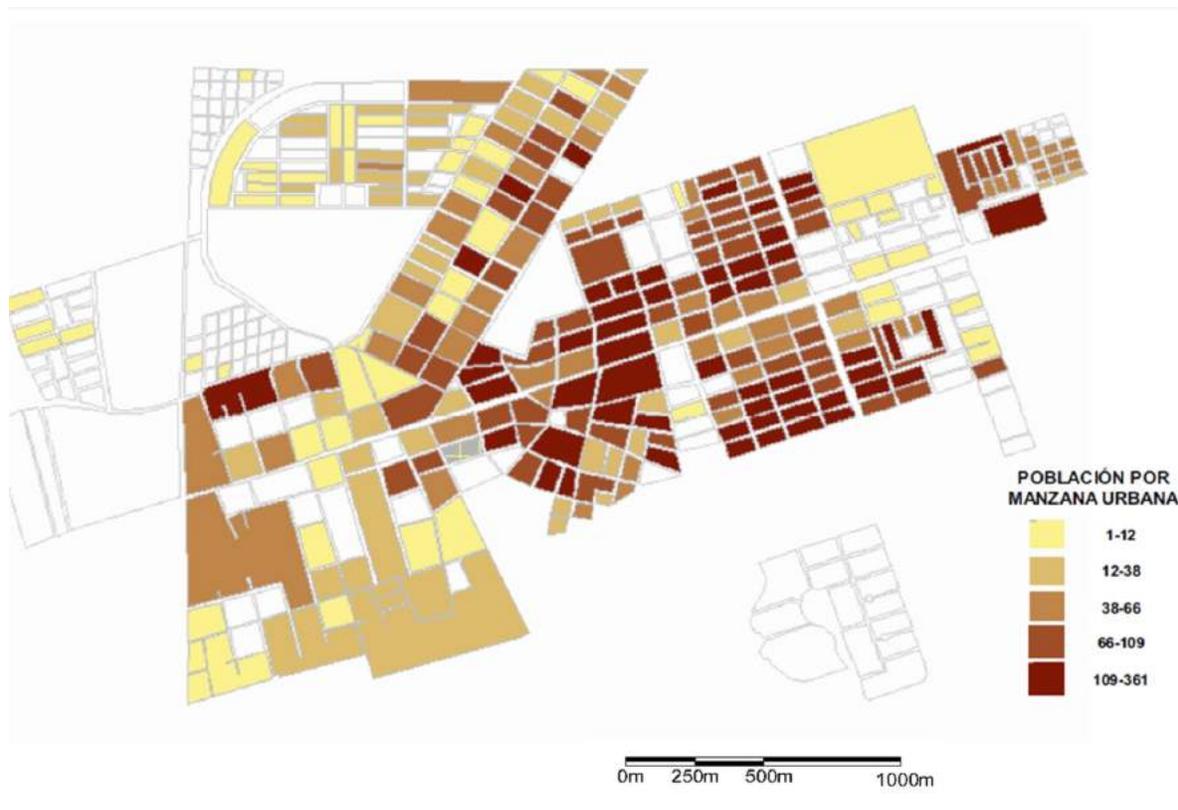


Figura 20. Densidad poblacional por manzana urbana.

Fuente: Mapa digital del INEGI, Marco Geoestadístico 2010

En cuanto a la variable de superficie construida, la cual muestra la superficie total de construcción respecto a una unidad de superficie de terreno asociado, se utilizó el Coeficiente de

Utilización del Suelo (C.U.S). Resulta relevante mencionar que tanto los coeficientes de uso como los de ocupación del suelo (C.O.S. y C.U.S.) son aplicados en la planificación urbana como un elemento restrictivo para reducir el impacto y evitar la sobrecarga del suelo (Figura 21, Fórmula 16).

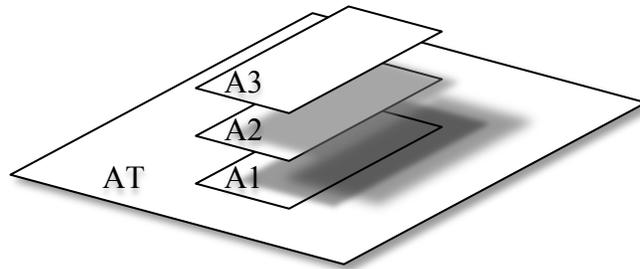


Figura 21. Componentes para integrar el Coeficiente de Uso del Suelo.

Fuente: Mapa digital del INEGI, Marco Geoestadístico 2010

$$CUS = \frac{A1+A2+A3}{AT} \quad (16)$$

Dónde:

Ce: Consumo energético total por manzana urbana (kw*hr).

Rt: Consumo energético facturado en la ruta durante un periodo(kw * hr * año, kw * hr * mes).

Tmu: Total de manzanas urbanas que reciben suministro eléctrico.

En función de la indisponibilidad de datos, para el caso de estudio Tulum se empleó el proceso metodológico que se describe a continuación. Primero se realizó el trazo georreferenciado de las superficies construidas. Para tal efecto se requirió la ayuda de imágenes satelitales corroboradas en campo. De esta forma se realizó el trazo de las superficies construidas en la ciudad de Tulum Quintana Roo en software de diseño asistido por computadora. Una vez identificadas y definidas las formas se generó el área correspondiente a cada una. Estos datos cuantitativos corresponden al A1 del numerador del coeficiente de uso de suelo. Para el resto de los componentes se procedió a verificar en campo tanto la existencia de la construcción como el número y características de los niveles construidos. El resultado anterior se muestra cartográficamente en las Figura 22, 23 y 24.

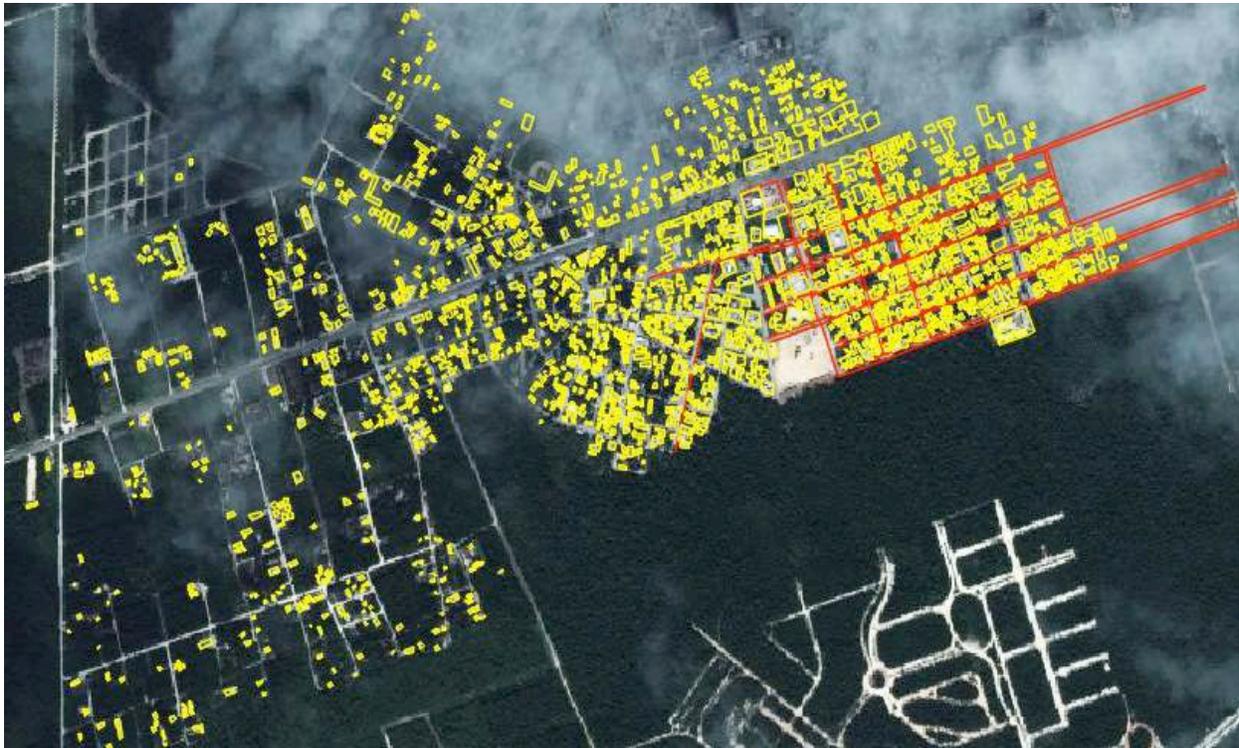


Figura 22. trazo de polígonos de superficies construidas de Tulum.

Fuente: elaboración propia con ayuda de CAD.

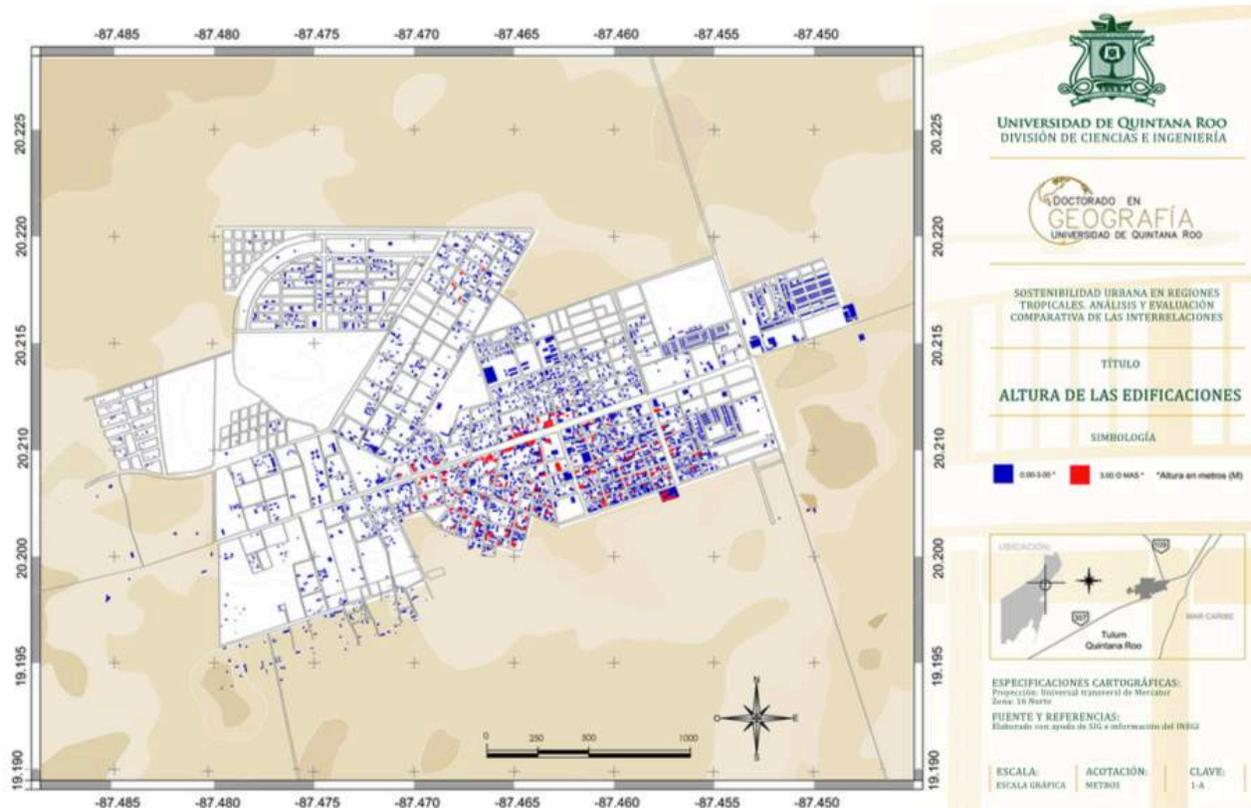


Figura 23. Alturas de construcciones por manzana urbana.

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis del sitio

Contando con los polígonos de superficie construida, el número de niveles y los límites por manzana urbana bien definidos, se procedió a obtener la superficie total de ambos indicadores por medio de las fórmulas especificadas con anterioridad.. Es importante destacar que para este proceso fue necesario ubicar los datos según la clave de registro que maneja el INEGI por cada manzana urbana para el año 2010. Finalmente se procedió al trazo cartográfico de las superficies construidas por manzana urbana mostrado en la Figura 24.

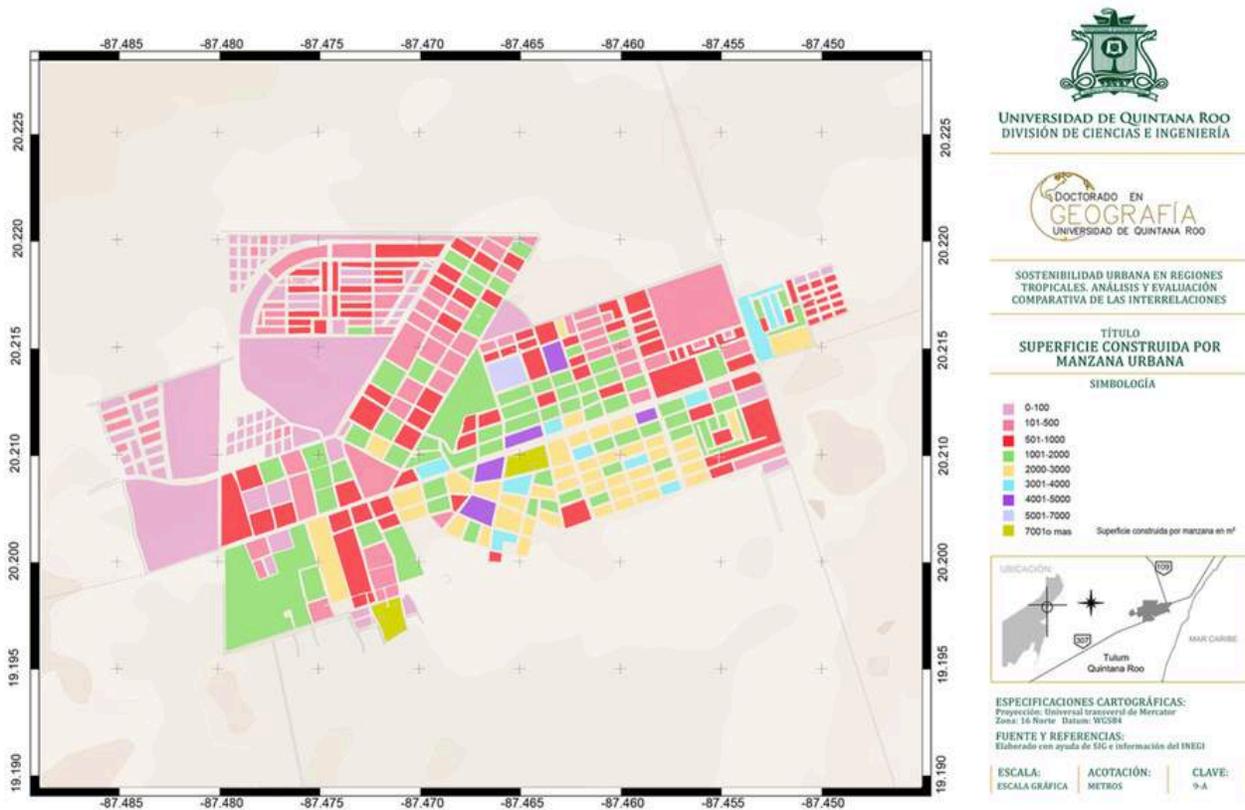


Figura 24. Densidad de superficie construida por manzana urbana.

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de superficies construidas de Tulum.

Los resultados de la diferenciación espacial, indican una aparente correspondencia de la densidad construida con la población. La figura resultante prevé un proceso de diferenciación real entre lotes pequeños y grandes, al dividir la superficie construida entre la totalidad del terreno. En general la ciudad se encuentra en desarrollo presentando densidades de construcción bajas y

vacíos intraurbanos. Si bien lo anterior puede presentar problemas estadísticos, el tamaño hace que las variables se encuentren en gran medida controladas.

2.2. Análisis bioclimático de la isla de calor

El presente apartado se presenta a manera de una alternativa a la propuesta metodológica de la cuantificación de la huella de carbono en los edificios. Lo anterior, por la carencia de información al no poder contar con datos por parte de la Comisión Federal de Electricidad [CFE] tras más de dos años de gestiones. Se comienza con una visita física y una solicitud por escrito por parte del director de la tesis en hoja membretada de la Universidad. Posteriormente, al no tener respuesta, se argumenta verbalmente que los datos no se encontraban disociados de los consumidores y que esto constituía una violación a la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares⁵³. Acto seguido, se reestructura la solicitud, firmada en esta ocasión por la coordinadora del doctorado con fundamento en la fracción II del Artículo 22 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental⁵⁴. En este periodo se solicita:

- 1.- La delimitación espacial o poligonal que abarca la agencia comercial Tulum.
- 2.- La Subdivisión espacial o poligonales de *ciclos y rutas* que componen la agencia comercial Tulum.
- 3.- Cantidad de usuarios atendidos, subdividido por ruta componente.
- 4.- Cantidad de energía consumida por los usuarios (en kWh y pesos), clasificada según su ruta y ciclo.

El oficio defiende que al tomar las medida necesarias y procesar los consumos a nivel cuadra, los datos personales se ven disociados⁵⁵, garantizando su seguridad y evitando su transmisión. Esto considerado un

⁵³ *Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares*. Datos personales: Cualquier información concerniente a una persona física identificada o identificable.

⁵⁴ *Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental*. Artículo 22. No se requerirá el consentimiento de los individuos para proporcionar los datos personales en los siguientes casos: II. Los necesarios por razones estadísticas, científicas o de interés general previstas en ley, previo procedimiento por el cual no puedan asociarse los datos personales con el individuo a quien se refieran;

⁵⁵ *Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares*. Disociación: El procedimiento mediante el cual los datos personales no pueden asociarse al titular ni permitir, por su estructura, contenido o grado de desagregación, la identificación del mismo. Sean necesarios para realizar una acción en función del interés público. Cuando la transferencia sea necesaria o legalmente exigida para la salvaguarda de un interés público, o para la procuración o administración de justicia;

procedimiento previo de disociación, tal como lo previene la fracción II del Artículo 10 de la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares⁵⁶. En otras palabras, por el grado de desagregación, los datos personales no son expuestos y los consumos energéticos no pueden asociarse a ningún particular.

Después, se realiza el día 18/01/16 una solicitud dirigida a la Unidad de enlace de CFE, con número 1816400009416 en la Plataforma Nacional de Transparencia [PNT]⁵⁷ del Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales [INAI]. Transcurridos los plazos legales, la CFE manifiesta que su Sistema Estadístico Comercial [SIEC] no tiene la información desglosada a un menor nivel que el municipal. Este se divide en Unidades administrativas regionales, llamadas Divisiones y Zonas de Distribución que “abarcan ámbitos geográficos diferentes a los Municipios, derivado de las entregas y recepciones de Energía”. Por lo anterior, se opta por gestionar directamente con el área comercial, enviando oficios a la superintendencia de la Riviera Maya, sin que a la fecha se cuente con respuesta.

Las características del estudio imposibilitan la recolección de datos de campo (para el caso de agua se procesaron 16,215 usuarios) donde se trata de observaciones objetivas, cuantificadas y agregables. El periodo de estudio (enero a diciembre del 2010) fue elegido por la coyuntura de confluencia de información poblacional, térmica, de consumos hídricos y cartográfica urbana. En este sentido, se abandonó la idea de realizar una encuesta cualitativa que resultase objetiva, agregable y representativa del fenómeno metabólico energético.

⁵⁶ *Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares*. Artículo 10.- No será necesario el consentimiento para el tratamiento de los datos personales cuando: III. Los datos personales se sometan a un procedimiento previo de disociación;

⁵⁷ Disponible en: <https://www.infomex.org.mx/gobierno/federal/home.action>

2.2.1. Construcción de la carta psicrométrica y estrategias de diseño.

Para analizar el efecto en las edificaciones realizó un diagnóstico bioclimático utilizando la hoja de cálculo de Luna (2008) que utiliza la metodología descrita por Docherty & Szokolay (1999). La hoja tiene por objeto delimitar las técnicas pasivas aplicables a la edificación en concordancia con el clima. Para establecer la zona de confort térmico, se seleccionó el modelo de Auliciems, definido en 1981. La amplitud de rangos de confort térmico seleccionada fue de $\pm 2^\circ\text{C}$. Después, con las temperaturas promedio mensuales, se calculó la temperatura neutral (T_{neutral}) mensual, además de los límites de confort para Tulum Quintana Roo. Los resultados de los cálculos se graficaron en la carta psicrométrica ASHRAE No. 1 para el nivel del mar que se muestra en la Figura 25.

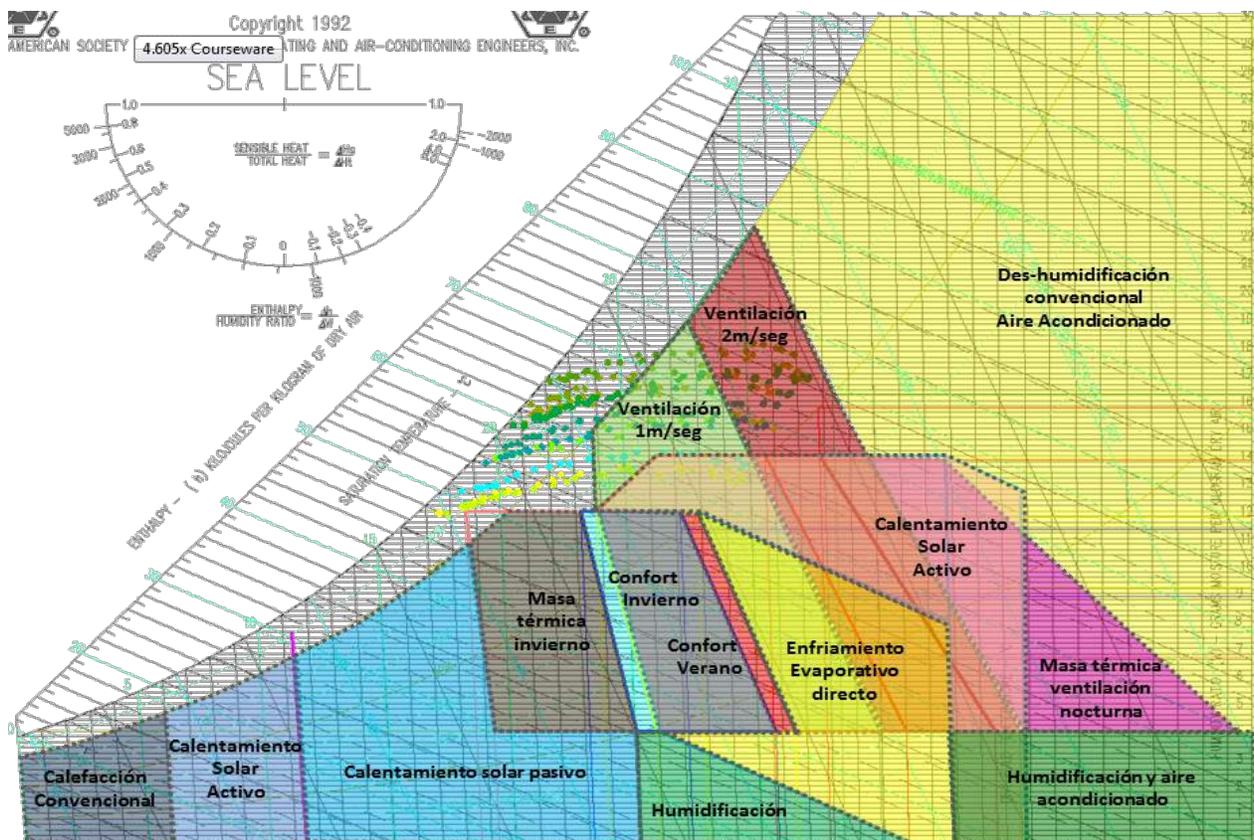


Figura 25. Datos climáticos de Tulum en carta psicrométrica.

Fuente: Elaboración propia.

Las estrategias se establecieron al ubicar en la carta psicrométrica los puntos que representan

la temperatura/humedad medias horarias mensuales. De esta manera, las que quedan contenidas dentro del área corresponden a cada estrategia.

2.2.2. Elaboración de mapas de temperatura con imágenes de satélite.

La Temperatura de la Superficie de la Tierra (TST⁵⁸) es una variable climatológica extremadamente relevante y útil para un amplio espectro de estudios (Cristóbal Rosselló *et al.*, 2006, Pinheiro, *et al.*, 2008; Copertino, *et al.*, 2012). La modelización de la temperatura por medio de la teledetección y de los Sistemas de Información Geográfica son estudios que se encuentran en desarrollo y perfeccionamiento. Estos ayudan a estimar la energía presente en el suelo resultado del intercambio de radiación de onda larga y de flujo de calor sensible entre la tierra y la atmósfera (Copertino, *et al.*, 2012)

Parra, *et al.* (2006) aplican cuatro algoritmos que corrigen la emisividad diferencial de diferentes tipos de suelo a efectos de estimar la TST a partir de los datos proporcionados por el sensor AVHRR⁵⁹. Pinheiro, *et al.* (2008) desarrollan un conjunto de datos de emisividad⁶⁰ en relación con los problemas de variabilidad e incertidumbre mundial en los datos obtenidos de radiación calorífica terrestre. Cristóbal Rosselló *et al.* (2006), introducen mejoras en la modelización de la temperatura por medio de la teledetección y de los Sistemas de Información Geográfica. Copertino, *et al.* (2012) realizaron una comparación de dos modelos de evaluación de la TST para la región de Basilicata al sur de Italia.

En el contexto de la isla de calor urbana (UHI), que como se trató en el capítulo anterior, es una condición térmica de las ciudades, donde su temperatura promedio es superior a la del área suburbana o rural circundante. También se ha abordado como UHI es producida por la sustitución de los ecosistemas originales y el uso extensivo de materiales cuyas características termodinámicas favorecen éste fenómeno con la acción solar. Pinheiro, *et al.* (2008) consideran que contar con datos de series de tiempo de estos estudios, puede revelar tendencias vinculadas al

⁵⁸ En inglés se emplea el término *Land Surface Temperature* con sus siglas LST.

⁵⁹ Siglas en inglés de *Advanced Very High Resolution Radiometer*.

⁶⁰ Es la proporción de radiación térmica o radiación calorífica a la emitida por una superficie u objeto debido a su temperatura generalmente manifestada por una diferencia de térmica con su entorno.

cambio climático. Si bien las estaciones meteorológicas proveen datos puntuales de temperatura del aire, resulta relevante para el análisis de áreas extensas y heterogéneas contar con mapas térmicos (Cristóbal Rosselló *et al.*, 2006). Resultados de estudios previos muestran que existen modelos capaces de aproximar los datos medidos en tierra con los obtenidos vía satélite (Copertino, *et al.*, 2012).

De manera general, de la radiación solar que llega a nuestro planeta, una parte significativa es dispersada o absorbida por las capas superiores de nuestra atmósfera, las nubes y el polvo. Después, las superficies y objetos radiados reflejan o absorben esta energía. Transformándose en calor la energía es emitida en longitudes de onda infrarroja, tal y como lo muestra la Figura 26.

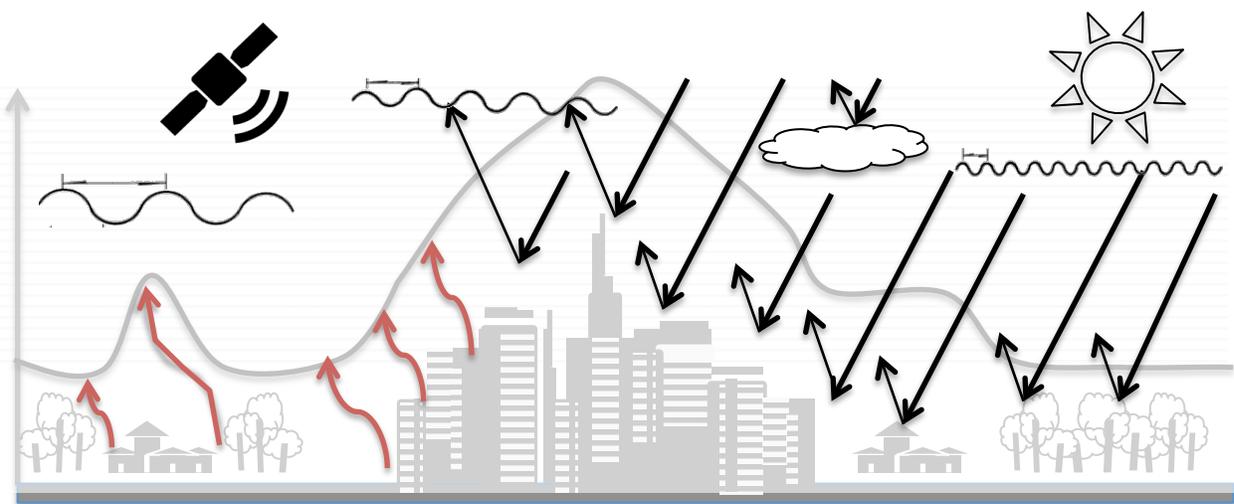


Figura 26. Mediciones radiométricas satelitales.

Fuente: elaboración propia.

Se generaron mapas de temperatura procesando las imágenes de las longitudes de onda del infrarrojo térmico de satélite *Landsat 7*; de manera específica la imagen *6 vcid 1*, que registra las temperaturas de la superficie terrestre. Los informes de reflectancia de la superficie terrestre se convierten en datos almacenables; posteriormente la información codificada fue cambiada a temperaturas mediante escalamiento radiométrico utilizando software libre *Semi- Automatic*

Classification Plugin (SCP). Para la referencia térmica en sitio, se utilizó la base de datos climatológica de la estación 23025 del Servicio Meteorológico Nacional. Se procuró que el día muestreado de temperatura diaria correspondiera con el que se tomó la imagen satelital. Los valores de las capas térmicas se entregan en grados Celsius y para el estudio se emplearon diferenciales entre centro urbano y su periferia. Como resultado, el mapa de temperatura superficial procesado en base a escena del Satélite *Landsat 7* de fecha Octubre del 2010 se muestra en la Figura 27.

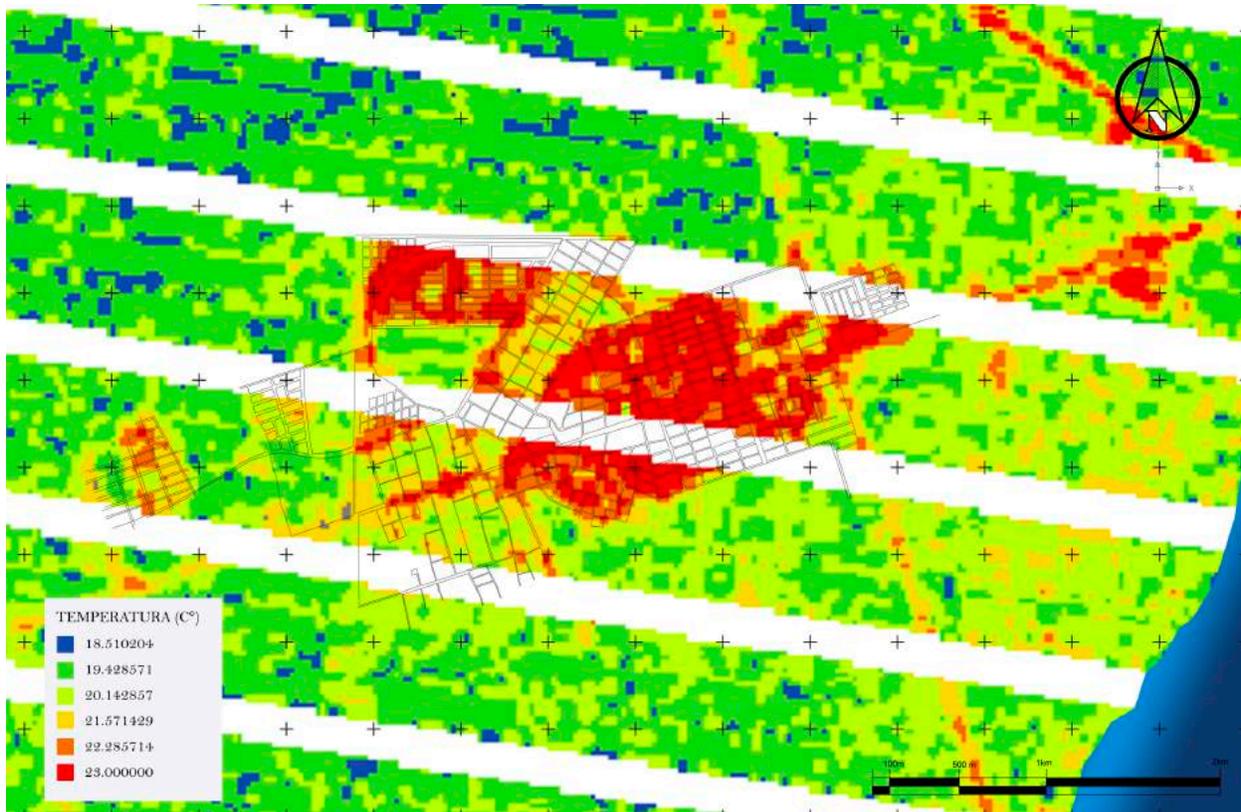


Figura 27. Desplazamiento de temperaturas extremas en el rango de 2 a 4 °C.

Fuente: Elaboración propia con base en información del Servicio Meteorológico Nacional e imágenes de las longitudes de onda del infrarrojo térmico de satélite Landsat 7.

De las 8 mediciones radiométricas se tomaron y procesaron las imágenes de las longitudes de onda del infrarrojo térmico que son las 6 vcid1 y 6 vcid2. Los categorías representan la temperatura superficial asociada a la imagen recibida por el satélite, donde los colores cálidos representan mayor temperatura (rojo 23°C) y el azul profundo menor temperatura (18.5°C). La

temperatura superficial se ve afectada por la hora del día y la inercia térmica de los materiales, pero es considerada una variable proxy de la temperatura del aire. Lo relevante del análisis es el diferencial térmico entre la zona urbana y el territorio circundante a la ciudad, donde resulta evidente, y consistente con la teoría, la existencia de un diferencial térmico y en consecuencia un efecto de isla de calor urbana.

Es importante destacar que, en el territorio circundante a la ciudad, la temperatura de las copas de los árboles no es la misma que la del aire a nivel de tierra, en cuyo caso la diferencia sería incluso mayor. Estudios como el de Parra, *et al.* (2006) y Copertino, *et al.* (2012) toman en comparación mediciones en sitio de la temperatura del aire. No obstante esta comparación de las temperaturas superficiales medidas vía satélite con las del aire tomadas en sitio, The Forestry Commission (2013, p. 2) ha reportado y recomendado tratarlas por separado por su baja correlación. Resultados de estudios previos muestran que existen modelos capaces de aproximar los datos medidos en tierra con los obtenidos vía satélite (Copertino, *et al.*, 2012).

2.3. Análisis de correlación entre densidades e impactos biofísicos

El presente apartado representa un reflejo la tendencia geográfica de realizar análisis espaciales multidiciplinarios. Si bien los mapas, y otras herramientas cartograficas, son evidentes y explicativos de fenómenos, no resulta redundante evaluar la influencia de la actividad humana sobre el medio ambiente con recursos matemáticos. Así, al integrar conocimientos y metodologías de las ciencias biofísicas y sociales, se puede incidir en el debate público y el cambio social.

El método propuesto, busca rescatar y poner en valor la variable espacial, ya que se cree que puede ser explicativa de los fenómenos y relevante en la toma de decisiones en la planificación urbana y territorial. La primera sección persigue justificar y construir esta relación en apariencia evidente.

Posteriormente, en los últimos dos apartados, las hipótesis de correlación propuestas entre las variables densidad e impactos, buscan comprender parte del fenómeno del desarrollo urbano en el contexto de la evaluación empírica: las regiones tropicales. El análisis de correlación es parte de una concepción sistémica y constituye, junto a otras herramientas de teledetección, modelado y simulación, un sistema integral de evaluación para la gestión de los recursos para la sostenibilidad urbana.

2.3.1. Construcción de la relación funcional con el espacio.

En primer lugar, el espacio territorial sujeto a urbanizar es definido por E , se presume cuantificable en unidades de área (e.g. m^2 , km^2 , ha). En segundo lugar, si al urbanizar se dispone del territorio de una manera identificable en unidades de habitantes o en superficie construida, el resultado se definiría como a . Ahora, la densidad en una ciudad es diferencial a lo largo de toda su superficie, por lo que se propone utilizar una unidad espacial compatible con los datos de los impactos. Este lugar, alimentará las bases de datos y podrá ser procesable en sistemas de información geográfica. En último lugar se define la relación funcional de la densidad ρ la cual es el resultado de:

$$\rho = a/E \quad (17)$$

Al graficar, con a constante, podemos observar como al disminuir la superficie aumenta la densidad y por el contrario, al aumentarla ρ disminuye (Figura 28). Lo anterior no es novedad, existen algunos indicadores de intensidad de uso del suelo convencionales utilizados en la planificación urbana como el COS⁶¹ y el CUS⁶². Sin embargo, es indispensable definir claramente los primeros parámetros, a efectos de clarificar el origen de las hipótesis evaluables que se presentan a continuación.

La metodología propuesta, pretende poder contrastar todas las posibilidades de interacción de dos variables en un cuadrante de un plano cartesiano. En el eje de las abscisas se ubicaría en orden creciente la densidad urbana ρ . Después, para la cuantificación de los impactos se parte de la concepción de macro flujos urbanos concebidos por medio del metabolismo urbano. Uno de los principales puntos a favor respecto de los estudios metabólicos urbanos es la consistencia y

⁶¹ Coeficiente de Ocupación del Suelo

⁶² Coeficiente del Uso del Suelo

comparabilidad de las unidades empleadas (Kennedy, Cuddihy & Engel-Yan, 2007, p. 43). El metabolismo urbano, puede ser analizado en términos de cuatro flujos o ciclos fundamentales: agua, materiales, energía y nutrientes (2007, p. 45). En el eje de las ordenadas se ubicarían los impactos metabólicos urbanos como el consumo energético y el consumo de agua (R). Para estos dos últimos se recomienda emplear indicadores de impactos biofísicos internacionalmente aceptados, como la huella de carbono y la huella hídrica. La aplicación de la técnica estimación de la huella ecológica de las ciudades se relaciona con la concepción del metabolismo urbano.

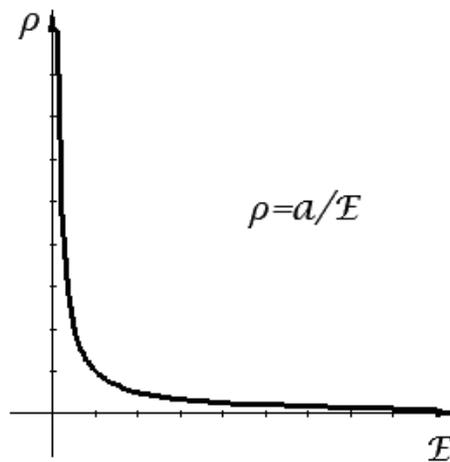


Figura 28. Construcción de la relación funcional espacial de la densidad.

Fuente: Elaboración propia.

Esta concepción sistémica pretende generar una propuesta de análisis espacial que no abstraiga la ciudad en un todo. De ahí que radique en la obtención de datos no agregados de las interacciones espaciales. Partiendo de la concepción de Santos (1996), las infraestructuras urbanas son elementos del espacio que pueden constituirse como variables. En este contexto surge la concepción de “fijos” y “flujos”, donde los primeros corresponden a los elementos de producción materiales inamovibles y los segundos son circulantes de distribución y consumo (como la energía y el agua). El análisis espacial planteado parte de que en la ausencia de datos en los flujos, se pueda construir de manera más simple por el estudio de los fijos, en este caso del comportamiento de la infraestructura.

La modelación de perspectivas teóricas que a continuación se detallan, parten del debate entre las hipótesis de lo que debe ser una ciudad sostenible. En estas se construye, en formas funcionales, la dependencia de los impactos en relación a la densidad urbana. La ventaja que suponen estos modelos es que simplifica la comprensión del fenómeno en donde sin duda el aumento de densidad está correlacionada con el aumento de la contaminación pero que puede dar luz sobre que si el aumento de la densidad puede ser decreciente así como la incorporación de otros factores que pueden ser determinantes, como la tecnología urbana, no entendida en el sentido de la más tecnificada, sino en la concepción del aumento de la eficiencia de las edificaciones ya sea por adaptabilidad o por encontrarse en un medio natural beneficioso para el ser humano que no requiere ser intensamente modificado.

El método propuesto puede emplearse tanto en estudios de corte transversal como en series temporales que pretendan analizar la relación evolutiva entre la densidad y los impactos de un espacio específico. Sin embargo, para la evaluación de la sostenibilidad urbana se propone utilizar un estudio de corte transversal entre múltiples espacios urbanos.

Para el análisis numérico de los datos de las variables independiente y la dependiente se propone emplear la técnica de mínimos cuadrados ordinarios. El error o residuo de la forma funcional resultante estará convencionalmente determinado por la nomenclatura U . Si bien la función continua resultante puede tomar diversas formas, invariablemente se debe sujetar a los siguientes supuestos: a) debe partir del eje, donde cero densidad debe producir cero impactos; b) debe ser de pendiente positiva ($a > 0$) ya que resulta altamente improbable que la simple adición de densidad o personas provoque disminución de la huella ambiental. c) los valores son válidos a partir de densidad unitaria, densidades < 1 serían valores ficticios. Finalmente se presentan cuatro formas funcionales a manera de Hipótesis que pudieran ser explicativas de la correlación entre impactos biofísicos y densidad urbana para un caso en particular.

2.3.2. Hipótesis de correlación: densidad e impactos.

En este apartado se presenta la construcción teórica de dos hipótesis sobre el fenómeno geográfico de los impactos urbanos. La primera supone que el que aumento de densidad incrementa proporcionalmente los impactos al ambiente, mientras que la segunda cree que si se densifica se genera una disminución marginal de dichos impactos. Si graficáramos ambas hipótesis nos resultarían formas funcionales del comportamiento urbano diferentes.

La primera hipótesis expuesta se acoge la política de cuidado ambiental por medio de regulación de las densidades espaciales. Entonces resulta que un ordenamiento territorial que pretenda controlar los efectos adversos sobre el medio ambiente (R) por medio de decretar densidades máximas, parte del supuesto de que los impactos de que cada unidad adicional de densidad aumenta de manera proporcional los impactos. En consecuencia, la forma funcional descrita es lineal (Figura 29).

$$R = a\rho + U \quad (18)$$

Estableciendo una normativa máxima de impactos, (probablemente determinados por la capacidad de carga del sitio), se podría encontrar entonces un punto máximo u óptimo a las densidades establecido por ρ^* .

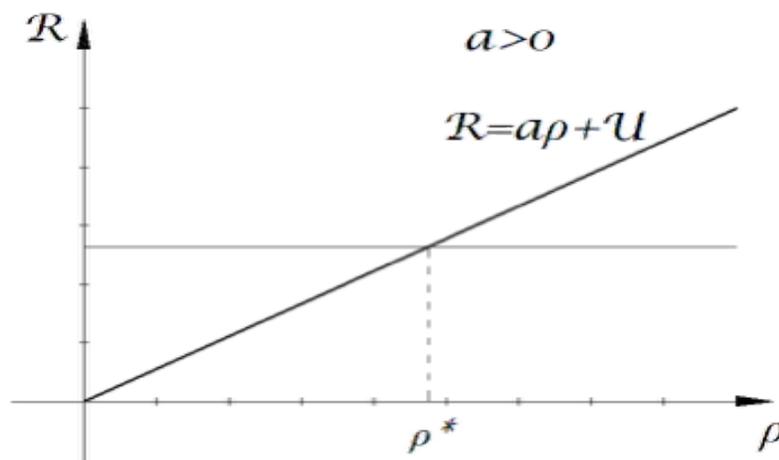


Figura 29. Primera hipótesis de función continua.

Fuente: Elaboración propia.

La segunda hipótesis parte del supuesto de que la densidad reduce marginalmente los impactos por unidad adicional. Se presume que el aumento de densidad aumenta proporcionalmente los impactos, forma función lineal. Resulta relevante este postulado ya que bajo esta presunción se da fundamento la política de ciudad compacta. La función resultante debiera curvarse debido al exponente γ el cual representaría la actuación de los supuestos de uso eficiente de los recursos en un entorno espacial denso.

$$R = a\rho^\gamma + U \quad 0 < \gamma < 1 \quad (19)$$

Teóricamente se llegaría a un nuevo óptimo de densidad (ρ^{**}), promoviendo a la par el uso eficiente y la liberación de recursos que estaría representada por el área sombreada (Figura 30). Aquí se prevé que el aumento de densidad ocasiona la disminución marginal de los impactos, función exponencial donde la potencia es <1 .

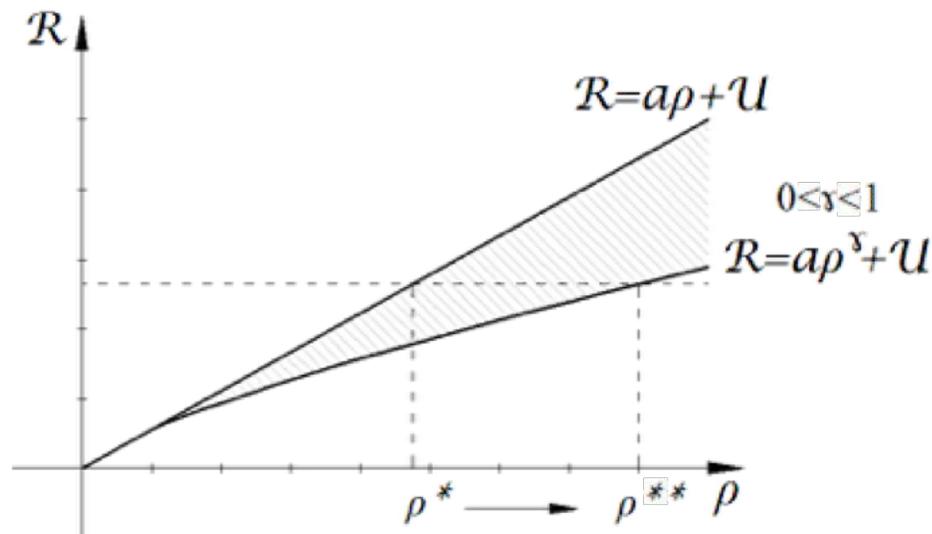


Figura 30. Segunda hipótesis de función continua.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.3. Inclusión de la variable tecnológica o sociocultural τ .

Dado que existen muchísimas variables que pueden incidir en los resultados, como factores que afecten las decisiones de consumo como el perfil de gastos de los habitantes, el costo y la accesibilidad de los servicios, factores externos como el clima, tecnológicos, culturales o macroeconómicos.

Por ejemplo, la mayoría de los estudios metabólicos urbanos, posteriores a los años 90's, muestran incrementos en el uso per cápita de recursos como el agua, la energía y los materiales, así como en la producción de aguas negras (Kennedy, Cuddihy & Engel-Yan, 2007, p. 43). Adicionalmente, a nivel mundial se están consolidando como un conjunto de directrices o estrategias estandarizadas, universales y transferibles, destinadas a dirigir las tecnologías a lo largo de una ruta predefinida desarrollo técnico particular (Guy & Marvin, 1999, p. 269).

La serie de iniciativas técnicas para el ahorro de recursos, englobadas en el concepto de “mejores prácticas” se promueven como la vía fundamental hacia la ciudad sostenible. El concepto de “vía de desarrollo tecnológico”⁶³ define la dependencia de la trayectoria de las tecnologías bajo la influencia de estructuras económicas, organizativas y sociales en competencia (Guy & Marvin, 1999, p. 274). Lo anterior pudiera ser una dependencia tecnológica a largo plazo de los países en desarrollo.

En consecuencia se quiere presentar una tercera hipótesis, la relevancia de la variable tecnológica o sociocultural representada por τ . Esta pretende capturar la posibilidad de que el fenómeno del alto metabolismo urbano este significativamente influenciado por el desempeño tecnológico de las edificaciones o las decisiones de consumo. En cualquier caso, se trata de identificar la relevancia agregada de cualquier otro factor que afecte el resultado. Tal como en un trayecto, el consumo de combustible final no solo depende de la distancia recorrida sino de la

⁶³ El termino en inglés es: *Technical Development Pathway* con las siglas TDP.

eficiencia del mismo vehículo. Entonces, al capturar esta posible incidencia se abre la posibilidad de incidir en políticas de mejora al desempeño de los edificios, en lugar de regular o promover la densificación *per se*. Igualmente se puede perfilar a la búsqueda de soluciones adaptadas a los recursos y condiciones particulares de casa caso en específico.

Entonces resulta que se puede incidir en el desempeño de las dos hipótesis anteriormente planteadas. En ambas, τ actúa como divisor de ρ capturando la mejora comparativa del desempeño de las edificaciones (fórmulas 20 y 21).

$$R = a(\rho/\tau) + U \quad (20)$$

$$R = a[(\rho\gamma)/\tau] + U \quad (21)$$

Tanto en la Figura 31 como en la 32 la posible actuación del factor podría liberar áreas sombreadas, comparable en la Figura 32 con la hipotética reducción por densificación. Esto pudiera redirigir esfuerzos hacia la mejora del desempeño de los fijos urbanos.

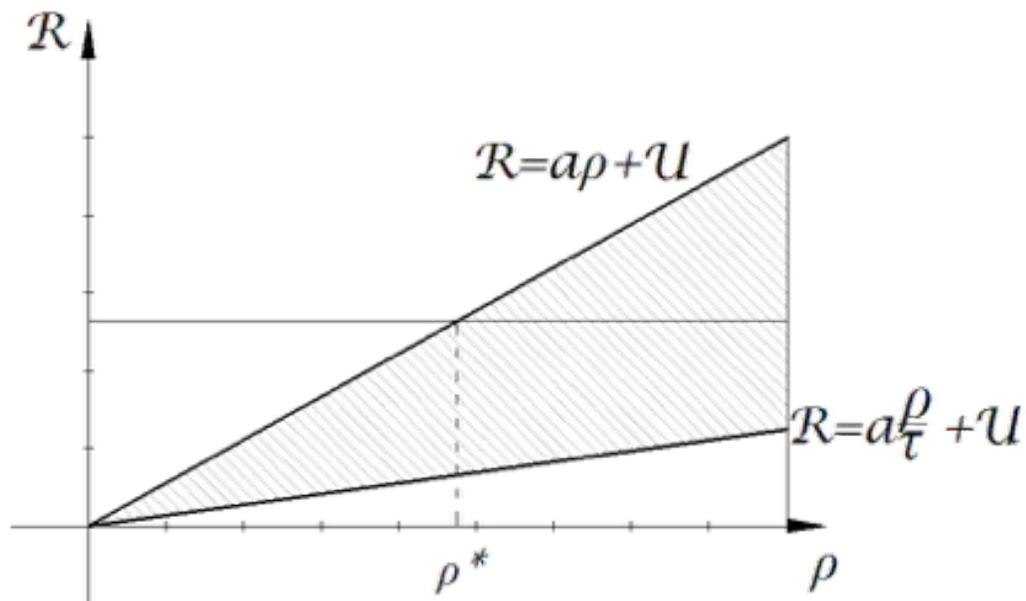


Figura 31. Incorporación de la variable tecnológica o sociocultural τ en la función lineal.

Fuente: Elaboración propia.

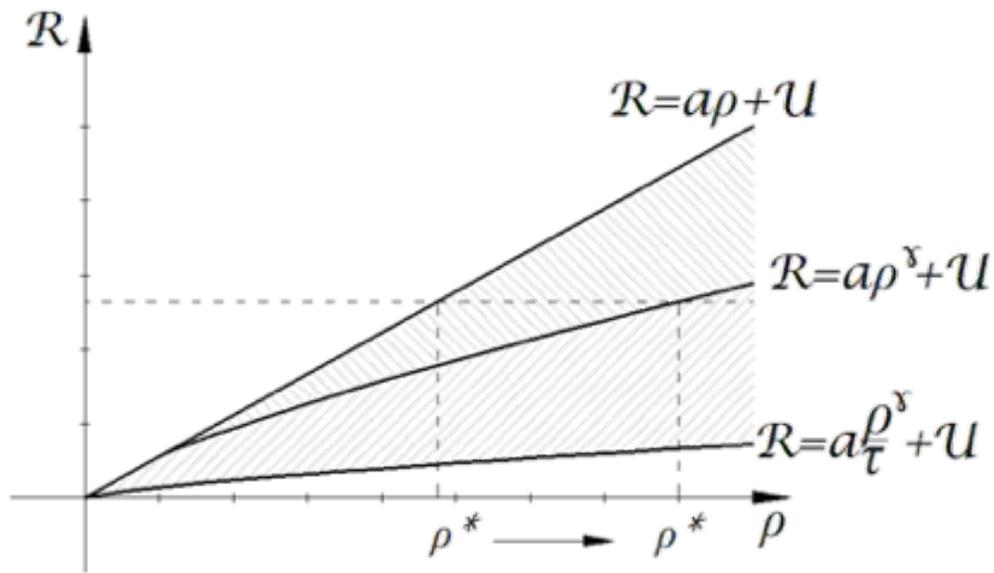


Figura 32. Incorporación de variable tecnológica o sociocultural τ en la función exponencial
Fuente: Elaboración propia.

Dado que en algunas ciencias sociales se ha abandonado el estudio del factor espacial, se discurre que al incorporarlo en un método que capture su relevancia directa se puede develar si la posible correlación implica causalidad. La fortaleza del método propuesto consiste en evaluar las principales políticas de planificación urbana: la ciudad compacta y la regulación de densidades. Objetivamente no incluye el universo de variables, pero si se evalúa lo que es fundamentalmente contradictorio en ambas políticas, el espacio.

Se cree que con su aplicación se puede entonces develar la relevancia del espacio como factor y, en su caso, redirigir los esfuerzos hacia lo que resulte significativo. Se cree que la aplicación de evaluaciones con el método propuesto traería implicaciones directas y concluyentes sobre el ordenamiento del territorio. Con lo anterior, se podría dar luz respecto de las intenciones que pretenden impulsar un solo modelo de urbanización como el sostenible.

Capítulo 3. Evaluación de interrelaciones espaciales. Caso de estudio

Tulum, es una pequeña ciudad al sur de la Riviera Maya, simboliza la frontera del crecimiento y el modelo de urbanización ya experimentado en la costa norte del Estado de Quintana Roo. El proceso inicia con pequeños emprendedores y turistas de aventura los cuales intentan alejarse del modelo masivo. Intentan entonces construir una realidad diferente, transportandose en bicicleta o favoreciendo contrucciones con materiales organicos (como las palapas), llegando incluso gestionar reglamentos municipales y algunas obras menores, como ciclopistas. Pero la presión sobre el destino comienza a fracturarlo cuando aparecen edificaciones convencionales, con tal vez algunos elementos orgánicos, pero sólo en fachada. Después, aumenta el uso vehicular y comienza la semaforización y el conflicto con los ciclistas, que eventualmente tienen más que perder. Finalmente, comienzan a aparecer los edificios acristalados y climatizados carentes de identidad, lo cual es símbolo de que el equilibrio se ha roto. Seguirá la sustitución del adoquín por el asfalto y, entonces, emergerá una dinámica social urbana diferente. Es momento en que algunos de esos emprendedores “atípicos” abandonen el destino por nuevos horizontes, siendo sustituidos por un mayor número de colonos, más o menos convencionales.

Durante el presente capítulo se abordará la evaluación de las interrelaciones espaciales del caso de estudio. Se comienza con un análisis del sistema territorial de Tulum abarcando puntos de su localización, distribución y elementos urbanos. Aquí se abordará como se distribuyen los elementos en el espacio, sus relaciones, sus flujos y las formas que generan. Para cerrar el apartado se describirá la estructura y conformación de la ciudad de Tulum. Este segmento es relevante porque permite llegar a una caracterización del sitio bien construida.

Acto seguido, se podrá iniciar con la caracterización del sitio. Aquí se sintetizan los elementos climáticos, bióticos y abióticos que dan forma a la realidad espacial. Los componentes de la caracterización se ordenan y distribuyen equilibradamente de manera que ayuden a la comprensión y construcción del lugar de estudio.

Finalmente se aborda los resultados de empíricos de la evaluación espacial. Se inicia con los resultados del estudio térmico y bioclimático del sitio, el cual fue modelado y estudiado con software que simula la dinámica de fluidos. El objeto de este punto es comprender las implicaciones de la forma urbana en el confort y los consumos energéticos asociados. Después, se aborda la introducción de la densidad espacial como variable determinante en la eficiencia del consumo de recursos e impactos ambientales asociados.

3.1. Análisis del sistema territorial de Tulum

El espacio geográfico que ocupa el lugar de estudio se encuentra físicamente organizado por una sociedad que se desenvuelve e interrelaciona en un medio ambiente privilegiado. En este sitio se construye una realidad social dinámica, muy vinculada al exterior por un crecimiento económico y poblacional vinculado a la actividad turística (Arroyo, *et al.*, 2013, p. 91). El paisaje humanizado es diverso, conserva, o pretende conservar, elementos de su pasado remoto y reciente, mientras lucha contra las nuevas influencias externas. La construcción social resultante es una amalgama ecléctica, donde se pueden encontrar artesanías de prácticamente toda Mesoamérica así como comida mediterránea con ingredientes importados.

En el primer apartado, el análisis sistémico del territorio comienza con la localización y su distribución del sistema. Aquí, se ubica y resaltan las características únicas del lugar, definiendo el territorio que alberga el fenómeno urbano. Acto seguido, se aborda la distribución de los componentes en el espacio edificado. Se finaliza con el análisis urbano, donde se estudiará la organización de la sociedad en términos de nodos, líneas, áreas, flujos y jerarquías. En conjunto la fragilidad ecosistémica y los modelos dominantes de crecimiento generan el reto de estudiar a detalle el comportamiento urbano.

3.1.1. Localización.

En el sureste de la República Mexicana, en la parte oriental de la península de Yucatán, se ubica el Estado de Quintana Roo, la cual se encuentra delimitado entre el Mar Caribe y los estados de Yucatán, Campeche e incluso cuenta con la frontera internacional con Belice y Guatemala. El corredor Cancún - Tulum se localiza en la región nororiental del Estado perteneciendo a la zona ecogeográfica del trópico húmedo (Cortinas de Nava & Ordáz, 1994). La Figura 33 presenta de manera gráfica la ubicación del territorio de Tulum partiendo de lo macro (el Estado) a lo micro (el municipio).

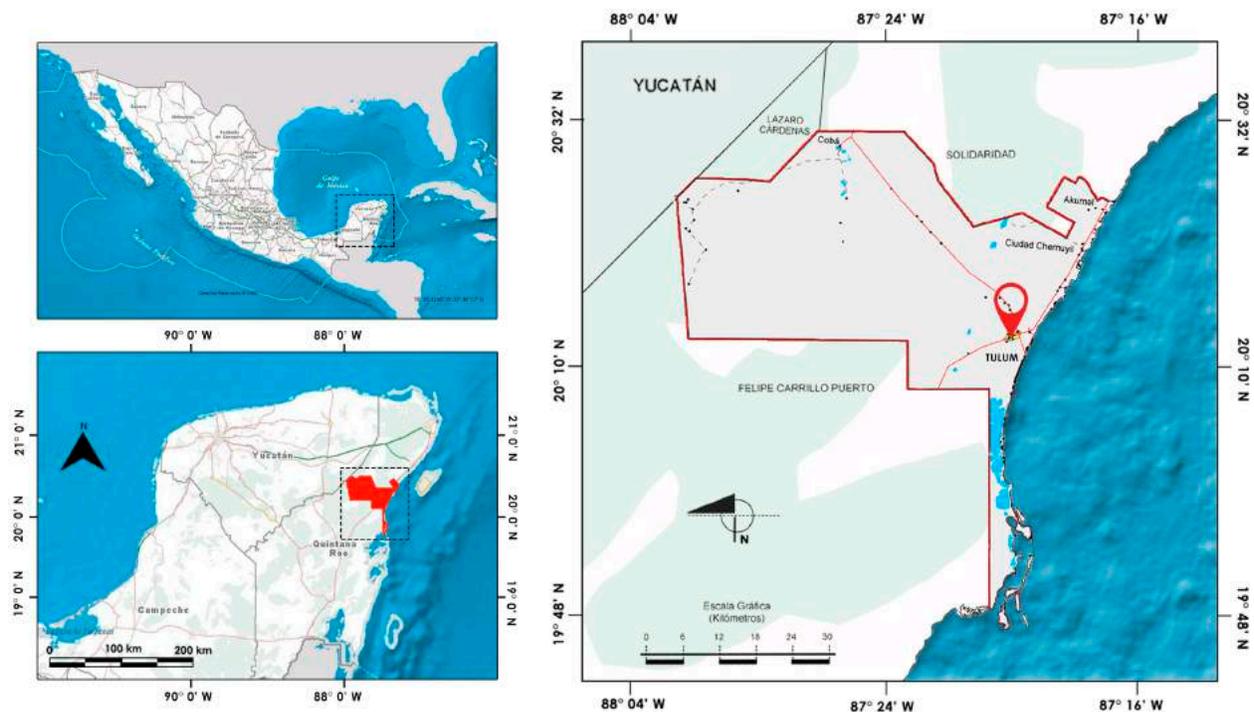


Figura 33. Ubicación territorial de Tulum.

Fuente: Elaboración propia con base en el Mapa Digital de México V6.1, INEGI

Tulum es nombre y cabecera del municipio y se localiza a los $20^{\circ}12'29''\text{N}$ y $87^{\circ}27'59''\text{W}$ con una altitud de 5 MSNM. Ésta se encuentra ubicada al sur de la región conocida como Rivera Maya, uno de los principales destinos turísticos internacionales. A nivel mundial es conocido por la zona arqueológica de Tulum a orillas del Mar Caribe.

La zona cuenta con condiciones naturales y arqueológicas privilegiadas, por lo que el desarrollo socioeconómico de la región se sustenta principalmente en la prestación directa o indirecta de servicios al turismo, de tal manera que la ciudad de Cancún es uno de los centros turísticos más importante del país. El corredor turístico presenta clima tipo cálido subhúmedo, con lluvias en verano y parte de invierno, una temperatura media anual de 27°C y precipitación media anual entre 1 200 y 1 300 mm; forma parte de la plataforma yucateca, por lo que su topografía es principalmente plana; debido a esta conformación geológica y topográfica, su sistema hidrológico determina un patrón principal de aguas subterráneas y formación de cenotes (Arroyo, *et al.*, 2013, p. 94).

Como municipio está constituido por una variedad de elementos naturales que parten desde las playas, los sistemas de ríos subterráneos catalogados como uno de los más amplios del mundo y selvas medianas con una conservación considerable; tales elementos son considerados como potenciales para el turismo de atracción destinadas a turistas de diversas partes del mundo, y por tal motivo, este lugar ha sido denominado como un municipio con enorme potencial de desarrollo. No obstante, hay que tener en cuenta que tanto el desarrollo como la promoción desigual del turismo, como la conservación exagerada, participando como ejes unidireccionales y de manera independiente, no responden al alcance de un desarrollo sostenible para el municipio (Sylvatica, 2014, p.1).

Finalmente, en la Figura 34, se define el límite del centro poblacional de Tulum. Se incluye en el polígono de su área de reserva urbana, la zona arqueológica del mismo nombre. Cabe señalar que la actual zona urbanizada se ubica al centro del cruce entre la carretera Cancún- Chetumal y la ruta al sitio arqueológico de Coba y el acceso más transitado que lleva al Mar Caribe. La profundización de las particularidades del lugar se detallan en el siguiente apartado que detalla la distribución.

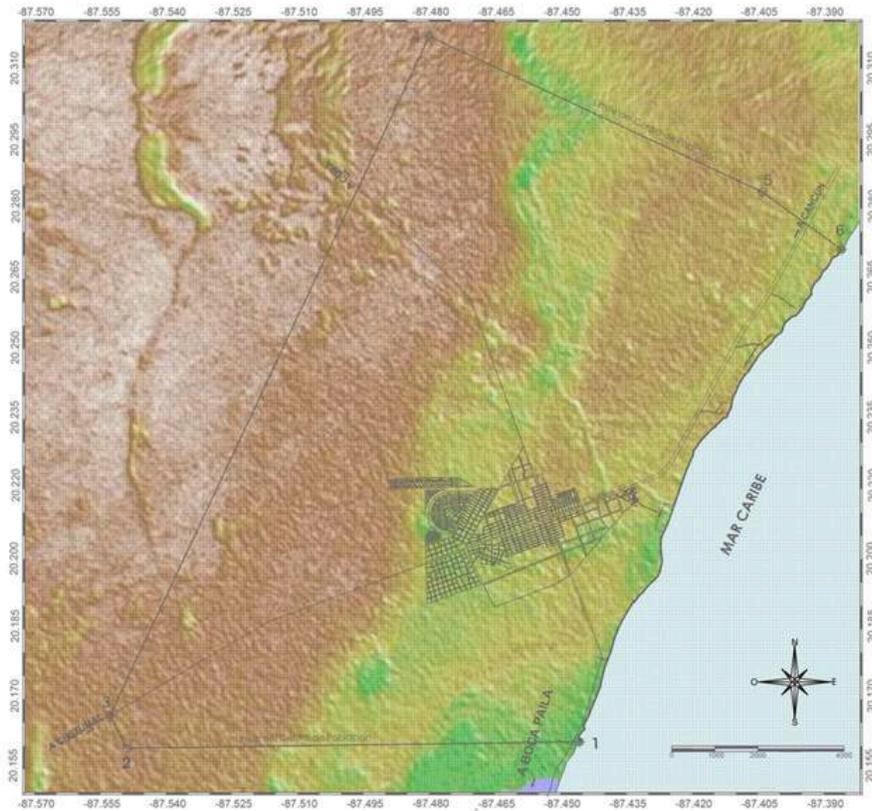


Figura 34. Límite del Centro de Población de Tulum.

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2010)

3.1.2. Distribución.

Para tratar el apartado de Distribución, se analizarán cuatro secciones, las cuales son: aspectos demográficos, socioeconómicos, el crecimiento de Tulum y las alturas en los edificios. Entonces se comienza con el primer aspecto que es la demografía. El municipio cuenta aproximadamente con una población de 33,169 habitantes (INEGI, 2010) y tanto él como Benito Juárez y Solidaridad son de los municipios de mayor aumento demográfico en el país, éste se ha mantenido con una tasa de crecimiento poblacional del 77% en los últimos cinco años, donde la razón primordial es la inmigración de población a causa de la oferta de empleo y desarrollo económico ocasionadas por el turismo, la cual es la actividad económica básica (INEGI, 2010).

La densidad de población refleja, que la parte central de la ciudad, contiene una mayor concentración de habitantes, lo cual se puede explicar dado que es la primera etapa de crecimiento, sumado a que es la zona en donde se presenta mayor actividad económica. El crecimiento de Tulum se puede explicar con la Figura 35, donde se refleja lo que ha tenido en los últimos años.

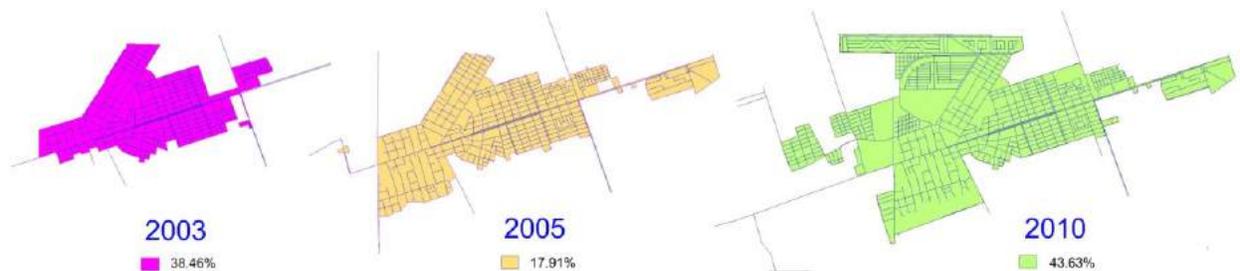


Figura 35. Componente del crecimiento de la localidad de Tulum

Fuente: Elaboración propia con base en CAD y *Google earth* (2003, 2005, 2010).

Para realizar el análisis se parte de los años con datos de la superficie urbanizada: 2003, 2005 y 2010, donde el 2003 significaba el 38.46% de lo que es su tamaño en 2010. Así, se puede determinar que entre el año 2003 y 2005 se tuvo un crecimiento anual de la superficie construida del orden del 21%. Después, en el año 2005 representaba el 56.37% de la superficie del 2010, siendo que en esos años la tasa de crecimiento anual lineal se estima en un 12%. No obstante al

representarlo en la Figura 36⁶⁴ se aprecia casi un crecimiento de la superficie urbanizada de manera lineal respecto del 2003. Entendiendo que del 2003 al 2005 creció la mitad de lo que había en el 2003; y para el 2010, solo 5 años después logra crecer casi duplicar su tamaño, agregado un 43.63%.

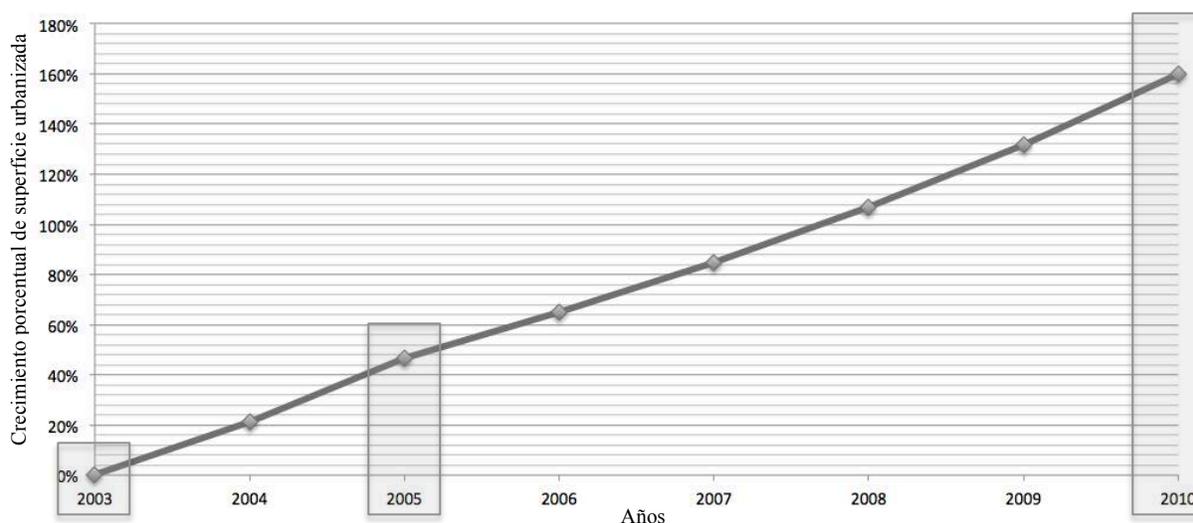


Figura 36. Crecimiento porcentual de la superficie construida de Tulum

Fuente: Elaboración propia con base en Google earth (2003, 2005, 2010).

Lo que concreta la Figura 37, es que hubo un crecimiento exponencial hacia el poniente de ciudad a partir del 2005 al 2010 porque casi se duplico el tamaño de lo que hoy es Tulum. Continuando con los aspectos sociales se encuentra que la Población Económicamente Activa (PEA) en Quintana Roo corresponde al 70% , la cual se encuentran en actividades terciarias, para ser más precisos en el ámbito de comercio, turismo de transporte, servicios y administración pública; es importante menciona que casi el 50% de los habitantes del estado generan ingresos menores a dos veces el salario mínimo de la región, y por el otro lado el 3% de la PEA generan ingresos superiores a diez salarios mínimos (Gobierno Municipal de Solidaridad, 2008, p. 66).

⁶⁴ Los porcentajes difieren ya que en la Figura se ven representados respecto al año 2003, mientras en la Figura anterior el 2003 y 2005 eran el porcentaje respecto del 2010 y el 2010 es el resultado de la sustracción respecto del 2005.

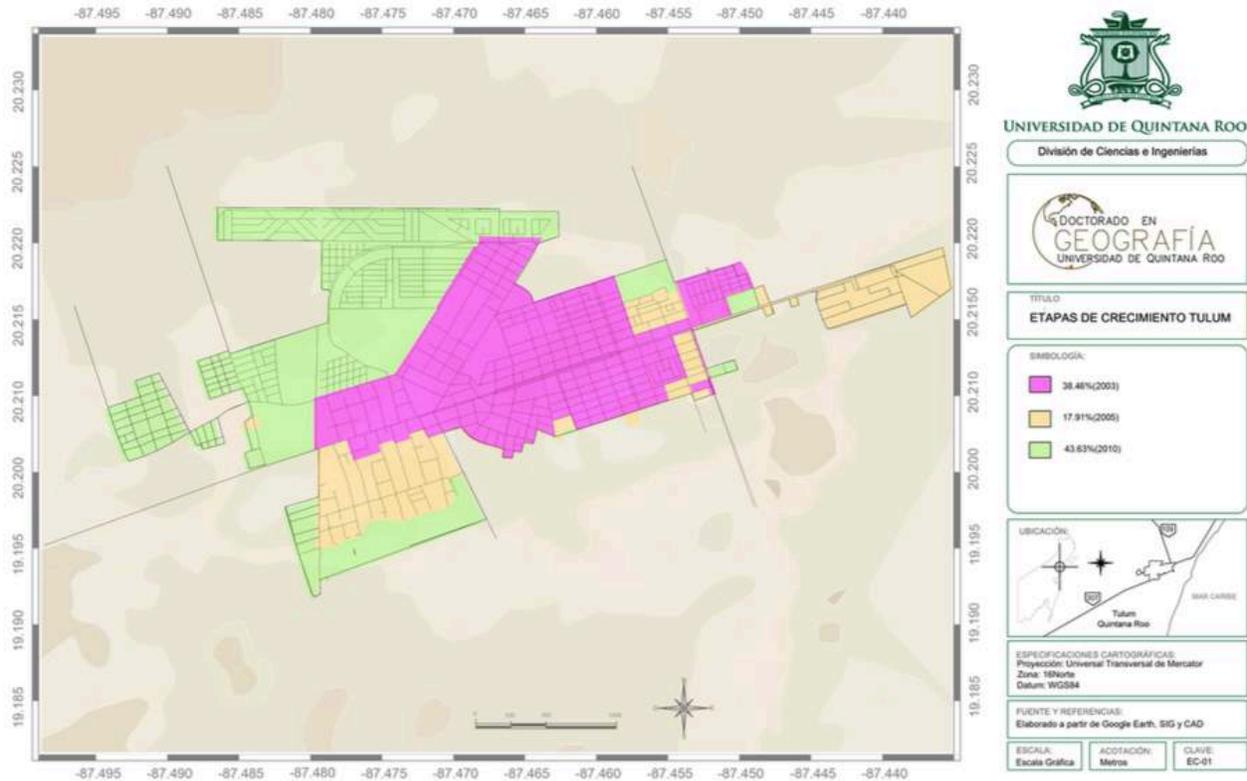


Figura 37. Crecimiento superficial sobrepuesto de la localidad de Tulum

Fuente: Elaboración propia con base en CAD y *Google earth* (2003, 2005, 2010).

Los cambios presenciados en las actividades económicas se pueden notar desde la sustitución de las actividades primarias de los sectores agropecuarios, silvícola y pesquera, por las actividades terciarias como actividad económica esencial; puesto que el turismo es quien impulsa al estado y junto con los servicios que complementan a éste logran obtener un incremento sostenido con el paso del tiempo (Gobierno Municipal de Solidaridad, 2008, p. 69). De igual manera, tanto Playa del Carmen y Tulum, son los lugares más destacables en centros de distribución de la Riviera Maya. Donde, los giros de comercio que dejan buenos ingresos son: compraventa de artesanías, compraventa de abarrotes, minisúper-licorería, compraventa de prendas de vestir, actividades subacuáticas y materiales de construcción (Gobierno Municipal de Solidaridad, 2008, p. 78).

Para concretar el apartado del análisis territorial se describe a continuación las alturas de los edificios de Tulum (Ver anexo Altura de edificios). En el caso de Tulum se aprecia una altura de edificios que van de 3 a más metros; donde el predominio de alturas es de 3 metros (un nivel) la cual se aprecia a afueras de la parte central; y las que cuenta con 3 a más metros de altura (de dos a tres niveles) están en la parte central de la ciudad; esto quiere decir que la ciudad presenta mayor aglomeración en la zona del centro y una de las razones pueden ser a que fue el primer cuadrante de crecimiento y ahí se fueron adecuando los servicios y otra razón puede ser tiene conexión con la Av. principal (carretera Federal 307). Por lo tanto, si se quiere tener varias alturas (y con ello, más de un nivel), sería bueno abastecer a la ciudad que carece de servicios ya que los edificios que encuentran fuera de la parte central son edificios destinados prácticamente a la vivienda con un nivel.

Por ultimo, un dato de mucha relevancia es la superficie construida, con lo cual se determinan las densidades de utilización del suelo. Se entiende que las zonas con mayores servicios, son las que poseen al mismo tiempo densidades elevadas de construcción. A continuación en la siguiente sección se realizará el análisis urbano de la ciudad de Tulum.

3.1.3. Análisis urbano.

Este apartado está conformado por la trama urbana, el medio físico transformado y vialidades y circulaciones. A continuación se analiza la trama con la que está constituida Tulum. La trama urbana está constituida por una irregularidad en la zona centro, lo de más se caracteriza por una trama ortogonal con vías de comunicación que van de norte a sur y de este a oeste, donde el eje principal es la carretera 307, y de igual manera la expansión territorial que va hacia el oeste sobre las áreas del ejido (Figura 38). La vialidad federal 307 Chetumal-Puerto Juárez paralela al mar y la otra perpendicular al mar que va de Punta Allen y conecta a la carretera a Cobá y Mérida son los dos ejes centrales carreteros.

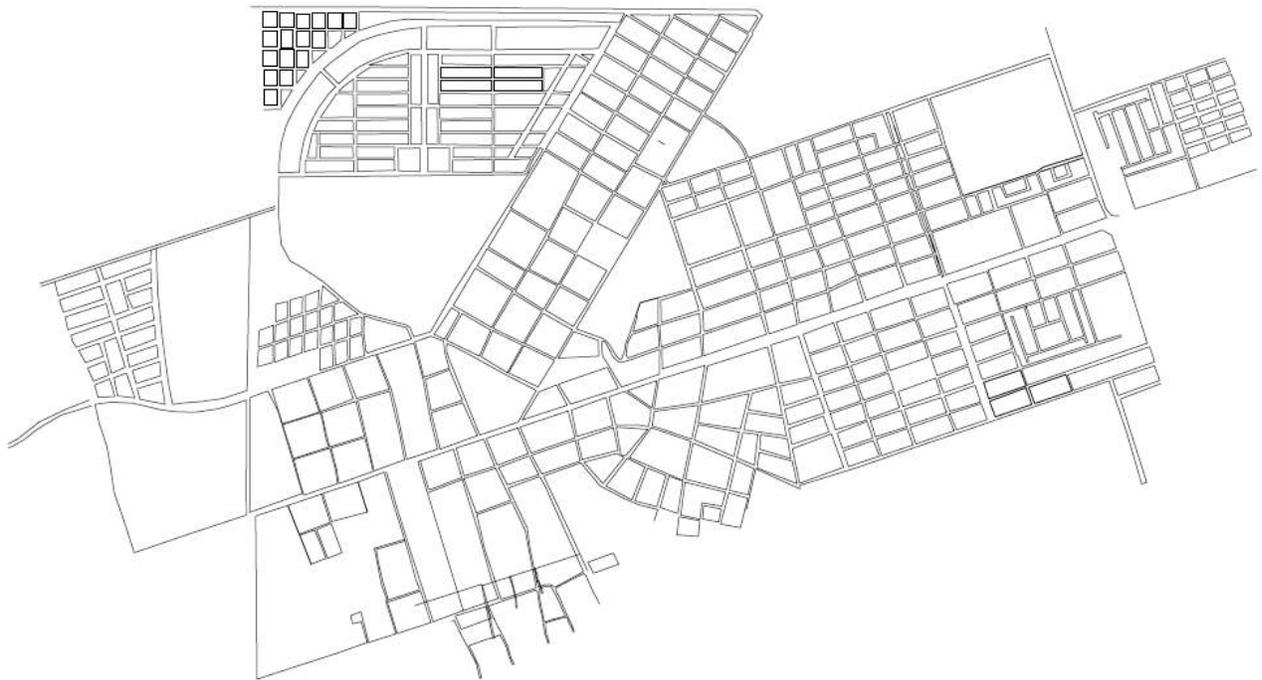


Figura 38. Trama Urbana de la ciudad de Tulum, Quintana Roo, México.

Fuente: Elaboración propia a base de *Google earth* y AutoCad, 2016.

La carretera federal 307, es una de las más importantes por su influencia como vía regional y carretera a Coba y Mérida, puesto que es una vialidad de comunicación alterna y conectora al centro de población.

Respecto del análisis del medio físico transformado (Figura 39), la manera como está distribuido los espacios y los servicios que ofrece. La estructura de Tulum está constituida por una trama ortogonal tomando como punto de partida la vialidad principal (carretera federal 307) que con el paso del los años se han prolongado los crecimientos hacia el poniente, cambiando un poco su trazad. La mayoría del equipamiento urbano se encuentra en la parte central de la ciudad, la cual fue la primera etapa del crecimiento. Ubicándose en la parte central y al ser dividida la ciudad en dos partes por la carretera federal, se puede notar que en el lado norte de la primera etapa es en donde se aprecian los servicios destinados a la educación como escuelas y biblioteca. Este lugar es en donde se encuentra la mayoría de los edificios de vivienda. En cuanto a la zona sur, colindando la vialidad principal, se encuentran los edificios destinados a la zona administrativa del lugar como presidencia municipal, policías, tribunales de justicia.

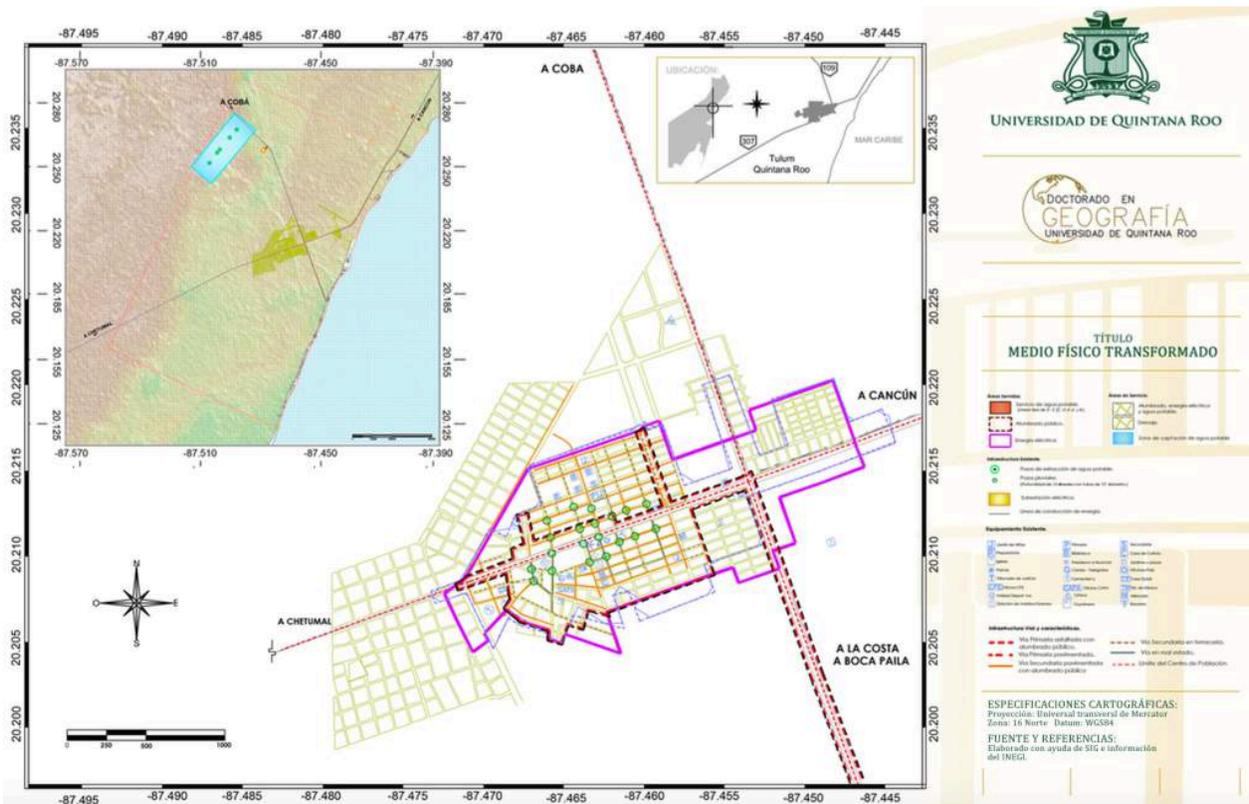


Figura 39. Medio Físico Transformado de Tulum, Quintana Roo, México.

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2010).

Avanzando más hacia el sur se encuentran los demás servicios como la CFE (Comisión Federal de Electricidad), CAPA (Comisión de Agua Potable y Alcantarillado), Teléfonos de México, Mercados . Las gasolineras se encuentran en la entrada y salida de la ciudad de la carretera federal. Con relación al basurero, se encuentra en la zona Nor-Este de la ciudad, lejos de la mancha urbana. Cabe mencionar que la ciudad se ha expandido en los últimos años al lado poniente, y tras este crecimiento territorial se puede notar que se requiere más equipamiento urbano para la abastecer a la población completa de servicios que requieren.

La Comisión de Agua Potable y Alcantarillado [CAPA] es la dependencia responsable de manejar el agua potable y el drenaje así como ver el mantenimiento e introducción de todas las redes de distribución del servicio. Los demás servicios como son: alumbrado público, mercado, rastro, panteón, seguridad pública y bomberos son servicios que presta directamente el Ayuntamiento. Un problema social que se está presentando en la localidad de Tulum es la insuficiencia y deficiencia en infraestructura y servicios de drenaje (Gobierno Municipal de Solidaridad, 2008, p. 95).

El servicio de recolección de basura ha sido concesionado sin embargo pasa a ser un objeto de estudio de forma tal que se están buscando alternativas de procesamiento y transformación de los desechos así como su disposición final. Actualmente la disposición de los residuos en Tulum se hace en relleno sanitario a cielo abierto. Sin embargo, la existencia de tiraderos clandestinos representa un problema significativo para la imagen urbana de la ciudad. En definitiva, la infraestructura para el manejo de residuos peligrosos no cubre la demanda con respecto a la recolección, manejo y disposición de dichos residuos (Gobierno Municipal de Solidaridad, 2008, p. 96).

En cuanto a la composición de las vialidades y la circulación (Figura 40), se considera una vía regional, vías primarias existentes y las vías primarias propuestas con sus respectivas viviendas.

La vialidad principal es la carretera federal la cual conecta al centro de población. Ya dentro de la ciudad, cuenta con un corredor que guía a la zona turística. Las avenida Satélite sur y norte, la calle Alfa norte y sur y la Rojo Gómez o carretera Cobá son considerados como vías significativas para la movilidad del lugar (Gobierno Municipal de Solidaridad, 2008, p. 87). Las de tipo secundaria son las que sobran, donde estas están destinadas a carriles con velocidad moderada, prioridad al paso peatonal o vehicular, banquetas funcionales para el peatón, señalamientos y semáforos lo más adecuado posible, transporte colectivo y atención al turista (Gobierno Municipal de Solidaridad, 2008, p. 87).

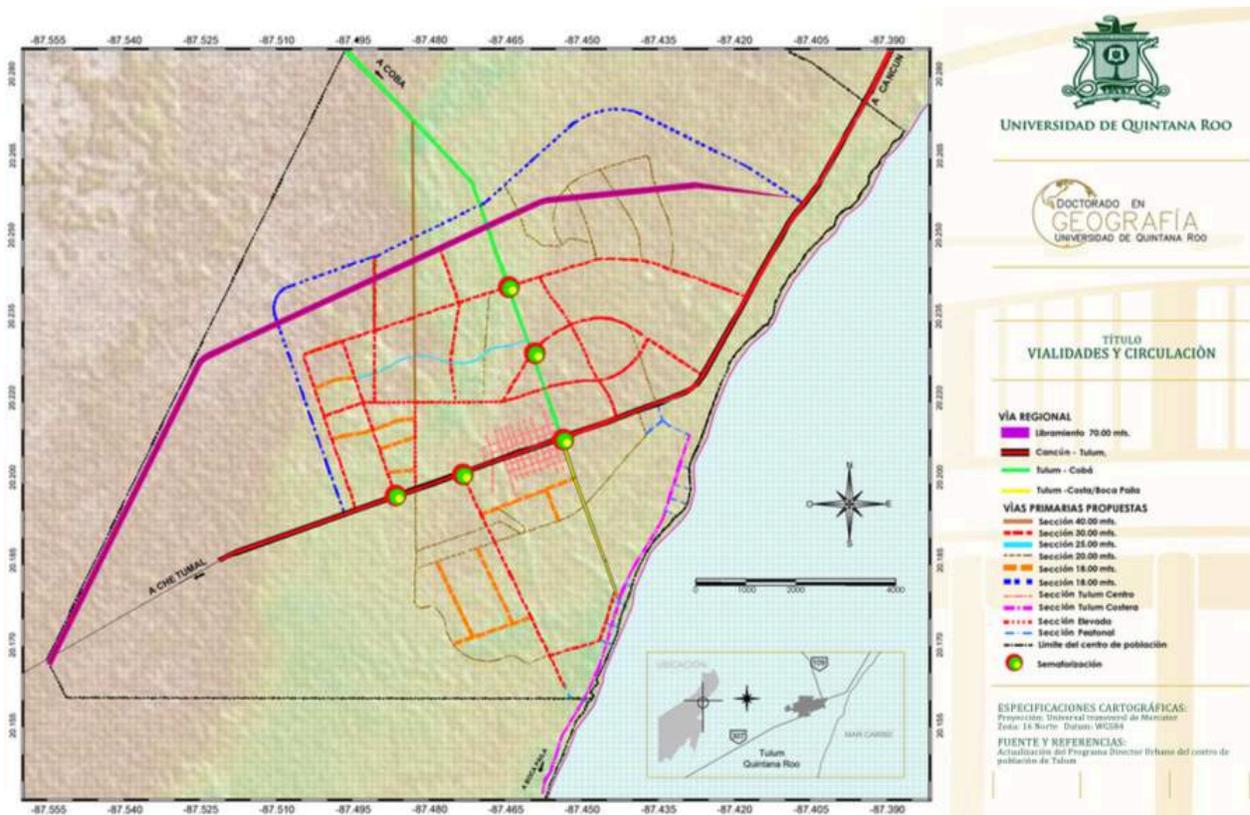


Figura 40. Vialidades y Circulación de Tulum, Quintana Roo, México.

Fuente: Elaboración propia a base de Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Tulum 2006-2030 (Gobierno Municipal de Solidaridad, 2008, p. 87).

Actualmente en Tulum existe un aeródromo con poco uso comercial el cual se encuentra bajo la tutela de la Secretaría de Marina. El servicio de telégrafos se presta en la cabecera municipal de Playa del Carmen, Dentro de los demás servicios con los que cuenta la localidad de Tulum

tenemos el servicio postal en la cual operan administraciones de correos y sucursales de correos; el servicio de telefonía automática y telefonía celular el cual también tiene cobertura en la localidad. A nivel municipal se tiene instalado en algunas zonas rurales el servicio de telefonía en estas son: Akumal, Chanchen Palmar, Cobá, Macario Gómez, Manuel Antonio Ay, Punta Allen, San Juan de Dios y San Silverio. (Gobierno Municipal de Solidaridad, 2008, p. 87).

3.2. Caracterización del sitio

Para el caso específico del Estado de Quintana Roo, Orozco *et al.* (2012, p. 202) identifican al proceso de urbanización en el Estado como disperso y anárquico, con problemas de movilidad y una tendencia hacia un deterioro de la habitualidad urbana. Hoyos (2012, p. 41) clasifica este deterioro como contraurbanización, definido como la expansión de la periferia por flujos migratorios inversos. Este fenómeno lo explica por múltiples factores entre los que destacan las des-economías de aglomeración, la descentralización político-administrativa, los cambios tecnológicos en las telecomunicaciones, entre otros.

En cuanto a la adicción de las esferas social y ambiental así como su repercusión en la calidad de vida urbana, se encuentra el estudio de caso en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo de Castillo (2009). En él se monitoreó, a nivel regional, los impactos por extracción y desechos, a nivel urbano, los impactos por desechos sólidos y a nivel de la vivienda, se evaluó la calidad de vida urbana mediante un índice.

En el presente apartado se describen y analizan, de manera general, las condiciones del sitio. Se comienza analizando el medio físico natural, el cual, sin duda tiene influencia sobre las actividades económicas. Y son precisamente sus características únicas las que demandan un modelo de desarrollo diferente al convencional, siendo particularmente relevante el manejo del agua. Acto seguido, se aborda el clima, el cual es una variable que se considera relevante y que eventualmente ayuda a delimitar la región, donde se cree que otras ciudades puedan tener los mismos resultados empíricos. Finalmente se realiza un análisis del uso del suelo, el cual determina los flujos hídricos naturales, y reclama un manejo especial para la ciudad de Tulum Quintana Roo.

3.2.1. Análisis del medio físico natural de Tulum, Quintana Roo.

Por su origen geológico esta zona tiene características fisiográficas particulares, sobre todo la zona costera, donde existen áreas inundadas e inundables, la zona litoral posee salientes rocosas espolones y lagunas pantanosas intercomunicadas al mar caribe por canales. Las curvas del terreno representadas en la Figura 41, reflejan un no mayor a 6m a lo largo del área urbanizada.

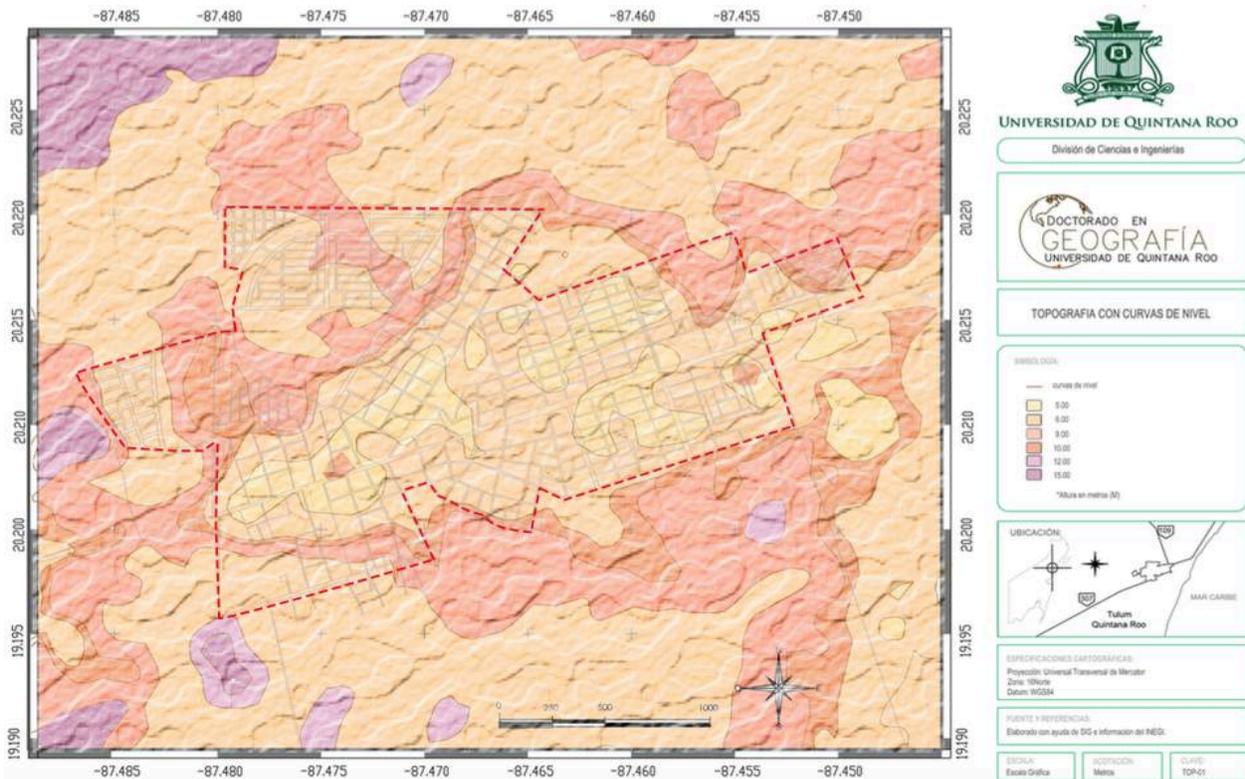


Figura 41. Topografía de Tulum, Quintana Roo, México.

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2010).

Los suelos son casi en su totalidad pobres en nutrientes comparados con el resto de la península de Yucatán, de igual forma estos son jóvenes, poco evolucionados, pedregosos, someros, fácilmente degradables y con potencial forestal, por lo regular el suelo corresponde a los tipos litosol⁶⁵ y redizna⁶⁶ con clase textural media y humedad más bien constante (Figuras 42 y 43) (Gobierno Municipal de Solidaridad, 2008, p. 57).

⁶⁵ Los litosoles se caracterizan por un estrato duro, continuo y coherente de poco espesor.

⁶⁶ La redizna es un suelo rico en materia orgánica sobre roca caliza.

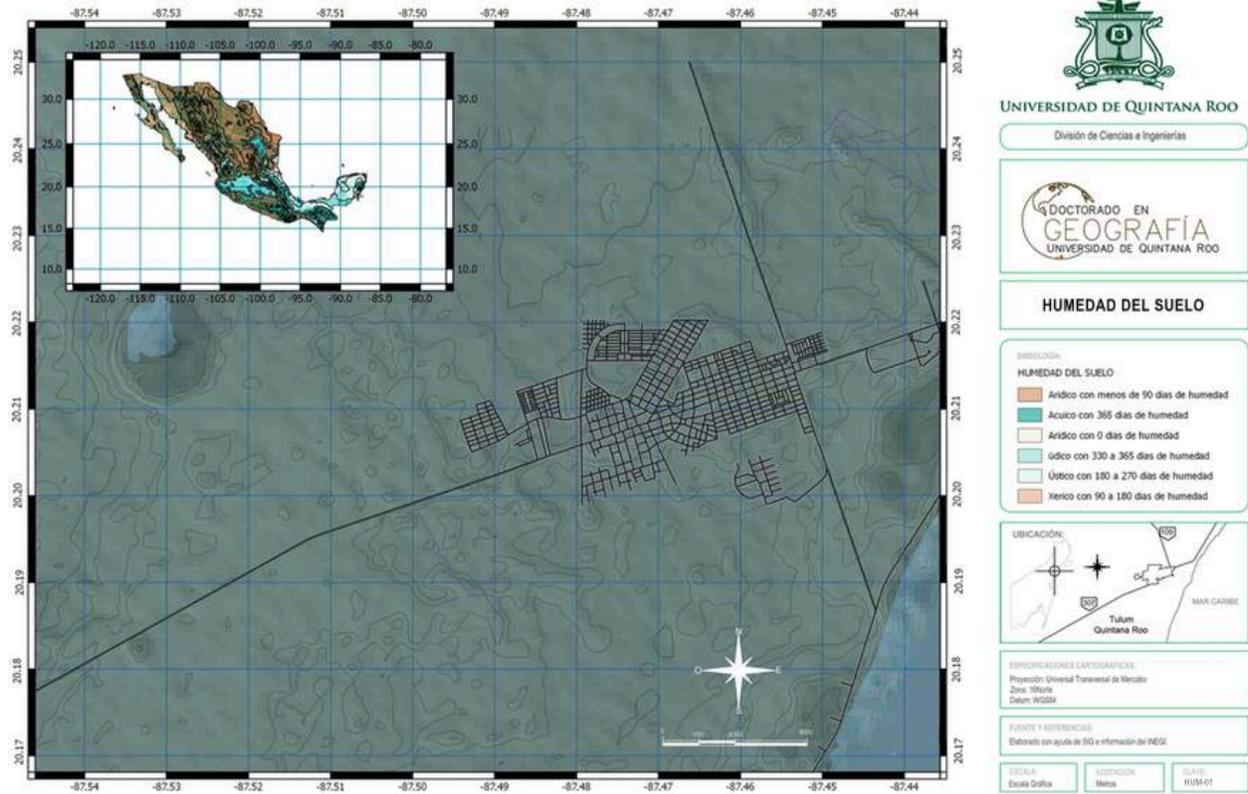


Figura 42. Humedad del suelo de Tulum.
Fuente: Elaboración propia con base en: INEGI (2010).

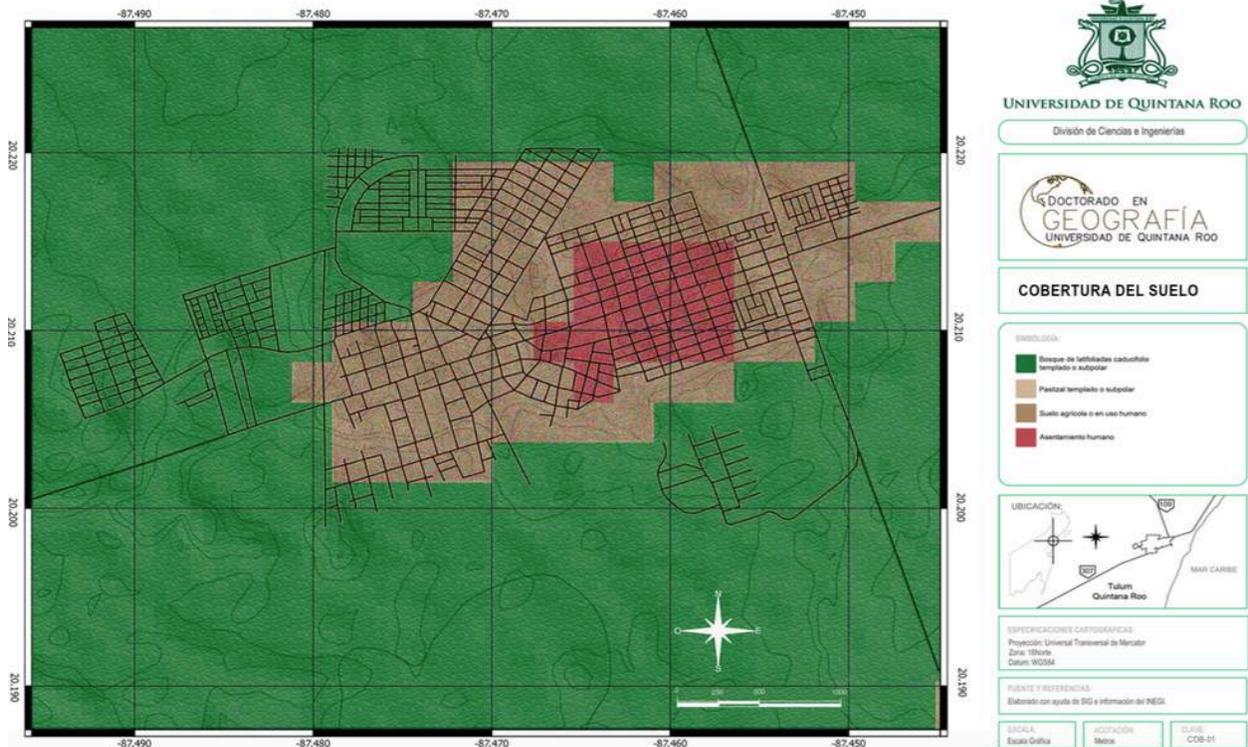


Figura 43. Cobertura del suelo de Tulum.
Fuente: Elaboración propia con base en: INEGI (2010).

Otro aspecto fundamental a considerar es el aspecto geológico debido a que este tiene influencia sobre las condiciones naturales de la ciudad de Tulum. Desde el punto de vista de la geología, Tulum se encuentra emplazado sobre una placa de rocas calcáreas nacida desde hace millones de años del fondo marino. El suelo predominante de Tulum es calizo permeable y de coloración clara, con delgadas intercalaciones de margas y yeso. De acuerdo con la Figura 44, el tipo de suelo de Tulum está compuesto por piedra caliza de plioceno (TS-CZ) (Gobierno Municipal de Solidaridad, 2008, p. 56).

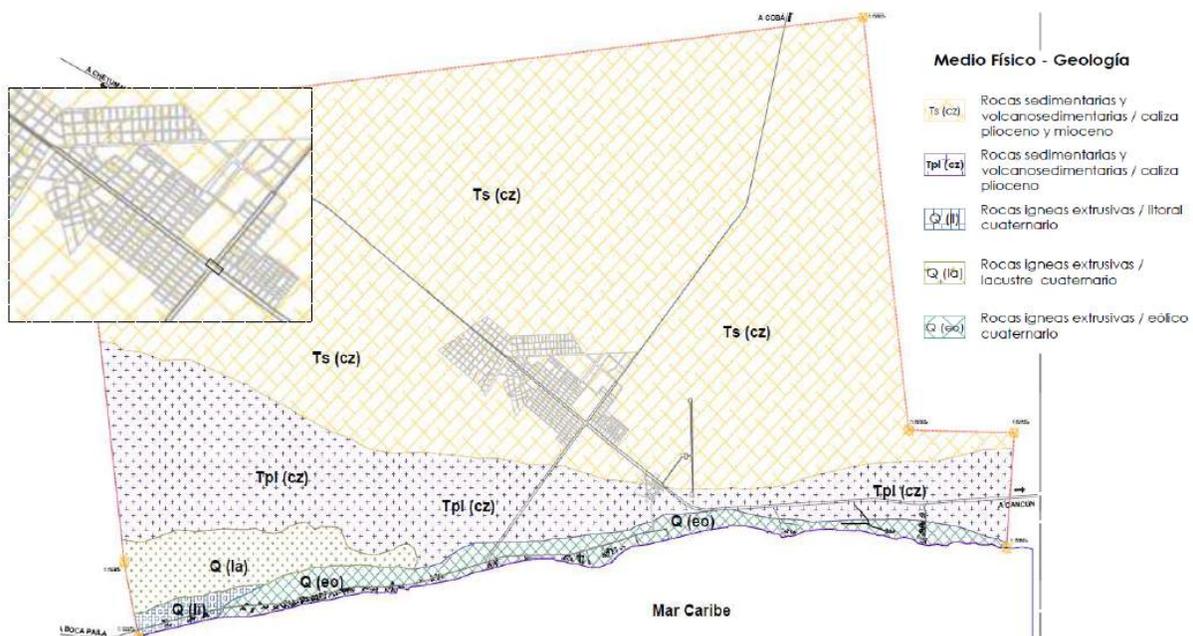


Figura 44. Geología de Tulum.

Fuente: Elaboración propia con base en: Gobierno Municipal de Solidaridad (2008), actualización del programa de desarrollo urbano del centro de población Tulum 2006-2030, p. 56.

Por otra parte, la ciudad de Tulum se encuentra ubicada en la región hidrológica no. 33, en esta zona según estudios y análisis previos no hay escurrimientos superficiales de importancia y los que existen son de régimen transitorio, bajo caudal, muy corto recorrido y desembocan a depresiones topográficas (cenotes) tal y como se muestra en la Figuras 40 y 41. Es importante mencionar que el nivel freático de la ciudad de Tulum se encuentra como máximo a 8m (Gobierno Municipal de Solidaridad, 2008, p. 47).

Los cenotes regularmente se forman debido a escurrimientos pluviales; éstos cuerpos de agua en conjunto con la presencia de ríos subterráneos con dirección Noreste-Sureste del flujo hidrológico en el municipio (CONAGUA-FUADY, 2006) aportan grandes volúmenes agua dulce hacia el mar; lo cual ubica al municipio de Tulum dentro de la Región Hidrológica Prioritaria número 107 (Sylvatica, 2012, p. 72). En cuanto al balance hidrometeorológico, existe una precipitación con un volumen medio anual de 97.5 mm³ (sobre todo en los meses de mayo a octubre). El acuífero predominante es de tipo freático y en la llanura existen cenotes de gran tamaño y zonas (cavernas) donde se produce la formación de ríos subterráneos de grandes longitudes (Figuras 45 y 46) (Sylvatica, 2012, p. 74; Arroyo, *et al.*, 2013, p. 94). Las aguas de los cenotes son por lo general muy transparentes por su alto contenido de carbohidratos y la escasa presencia de algas y plancton (Gobierno Municipal de Solidaridad, 2008, p. 47).

Respecto de la recarga de los acuíferos se filtran aproximadamente 783 mm³ de los 975 mm³ que se precipitan por metro cuadrado, esto debido a la gran permeabilidad del terreno. Es importante destacar que la recarga de los acuíferos se ve de igual forma apoyada con la reducida pendiente topográfica, (Gobierno Municipal de Solidaridad, 2008, p. 49). El volumen anual de descarga se estima en 10.2 mm³ y el acuífero es explotado para uso público urbano a través de 7 pozos localizados en la zona occidental a unos 7 km de la ciudad y 9 km de la costa, donde el caudal extraído es aproximadamente de 1'135,296 m³/año (Gobierno Municipal de Solidaridad, 2008, p. 49). En este mismo sentido, el relieve de la ciudad de Tulum es poco accidentado con zonas planas, la altura promedio con respecto al nivel del mar es de 10 metros. A nivel municipal las principales elevaciones son los cerros: Charro (230msnm), Gavilán 210 msnm). Nuevo Becar (180msnm) y el pavo (120 msnm). (Gobierno Municipal de Solidaridad, 2008, p. 48).

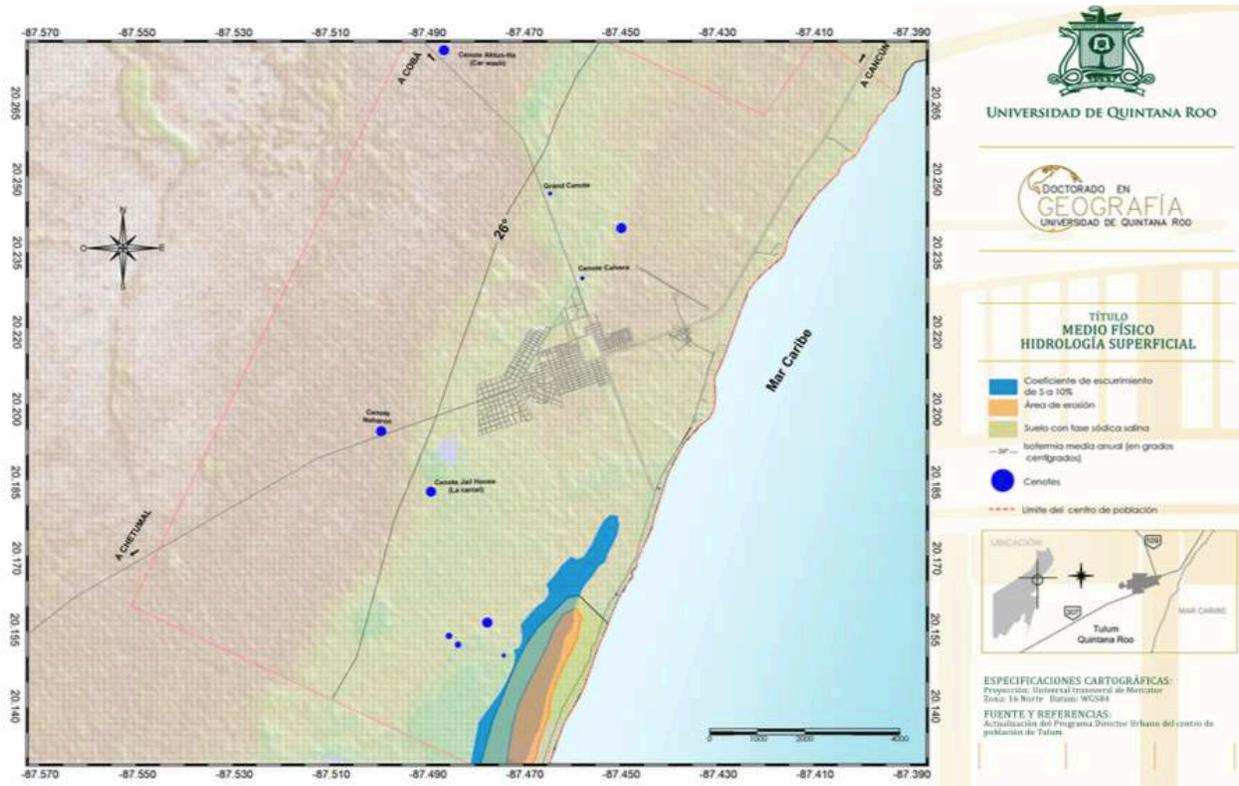


Figura 45. Hidrología superficial.

Fuente: Elaboración propia con base en: Gobierno Municipal de Solidaridad (2008, p. 49).

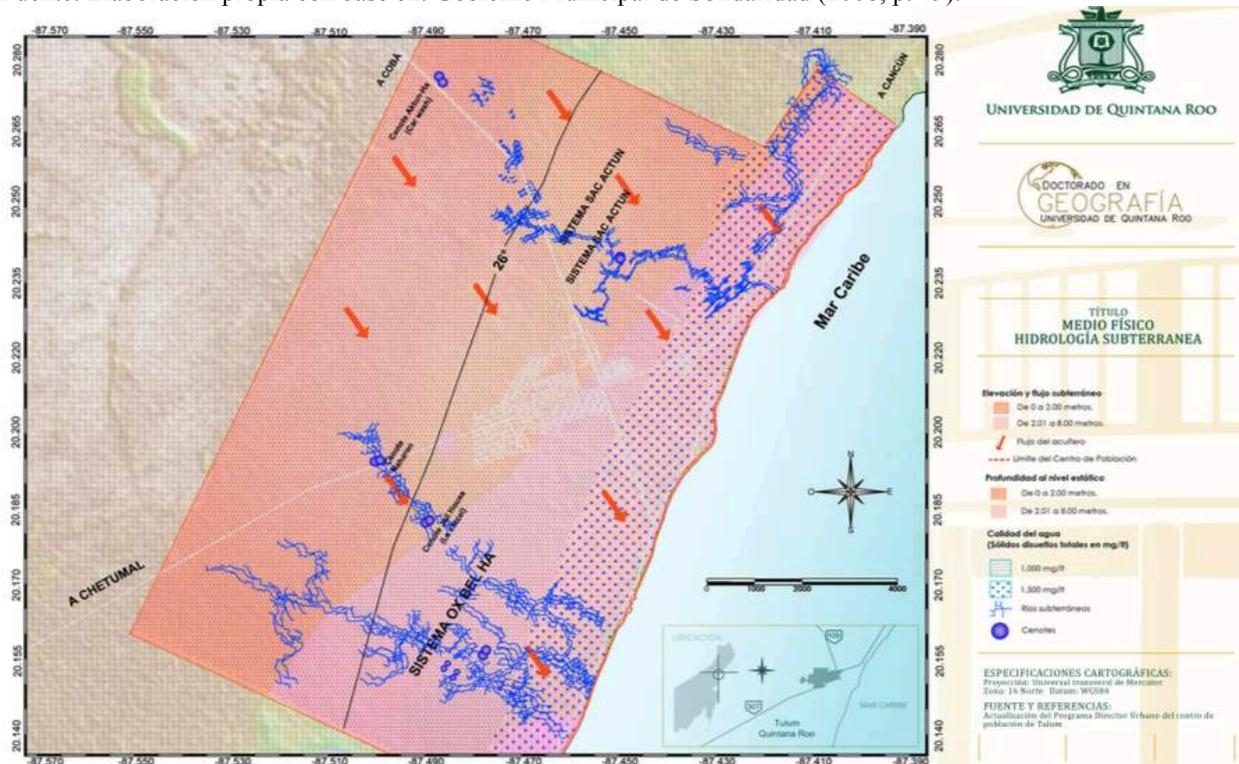


Figura 46. Hidrología subterránea.

Fuente: Elaboración propia con base en: Gobierno Municipal de Solidaridad (2008, p. 49).

3.2.2. Análisis climático de la ciudad de Tulum Quintana Roo.

Conforme al la modificación al sistema de clasificación climática de Köppen de García (2004, p. 73), el clima de Tulum se denomina cálido-subhúmedo. La precipitación media anual es de 757 mm, el mes más lluvioso es septiembre con un promedio de 2081 mm y el más seco marzo con 294mm aproximadamente. La temperatura media anual es de 26°C (en la Figura 47 se muestra la temperatura superficial promedio por manzana urbana), los meses más calientes son julio y agosto, el mes más frío es enero, las temperaturas máximas y mínimas puntuales han sido 44°C y 45°C respectivamente (Gobierno Municipal de Solidaridad, 2008, p. 45).



Figura 47. Temperatura superficial promedio por manzana urbana

Fuente: Elaboración propia con base en análisis de imagen satelital.

De acuerdo con la Figura anterior las zonas con las temperaturas más elevadas se encuentran dentro de la primera etapa de crecimiento de la ciudad mientras que las zonas que están en los

límites de la zona urbana tienen temperaturas menores. Con respecto a la humedad relativa las proyecciones de precipitación se encuentran cercanas a los 1,500 mm anuales por lo cual el cociente precipitación/temperatura es mayor que 55.3, estando los valores medios de humedad relativa en un rango del 80 al 90 % a causa de la precipitación. El balance de escurrimientos medio anuales de 0-20 mm mientras que la pérdida por evapotranspiración para la zona es de 800 a 1,100 mm anuales (Nissan Tulum, 2014).

3.2.3. Análisis del uso de suelo

Conforme al programa de desarrollo urbano del centro de población Tulum se estableció una zonificación a nivel urbano (ver anexos) la cual se detalla a continuación. Todas las zonas cercanas al centro urbano tienen un tipo de uso de suelo comercial mixto; las zonas que se encuentran en la periferia tienen un tipo de uso habitacional y en algunas manzanas se tienen contemplado parques urbanos (esto según la carta de usos y destinos del suelo para el centro de población Tulum). Los usos habitacionales van desde 12 viviendas/ha hasta 120 viviendas/ha según la zona. Las zonas de usos turístico se encuentran más hacia el este en zonas cercanas a la costera del municipio de Tulum, aquí se contemplan densidades que van desde 2.5 cuartos/ha hasta 40 cuartos/ha.

Durante el periodo 1988-2004 se desarrollaron cambios de uso de suelo en el 34.86% de la superficie total del municipio de Tulum, por lo cual el 65.14% de la superficie total municipal permaneció sin alguna modificación. Los cambios más relevantes, fueron los que relacionados con la transformación de tierras agrícolas a vegetación secundaria (aproximadamente un 5.85% de la superficie municipal), la conversión de vegetación primaria a vegetación secundaria (10.12% de la superficie municipal) esto debido a los desmontes e incendios producidos durante aquel tiempo ; y por último la conversión de vegetación secundaria a vegetación primaria (14.89% de la superficie municipal) (Sylvatica, 2012, p. 87).

Ahora, haciendo énfasis en los usos de suelo actuales (Figura 48), el Gobierno Municipal de Solidaridad (2008) afirma que las actividades agropecuarias se llevan a cabo mediante cultivos de pequeño tamaño en las zonas periféricas y las afueras de la localidad. Con relación a los usos comerciales de tipo hotelero (alojamiento temporal uso turístico) se ubican zonas diferenciadas de alojamiento turístico; los hoteles dispersos en el centro la ciudad que poseen un estándar de una y dos estrellas sin exceder las 20 habitaciones. Los hoteles y cabañas localizados en la playa

situados en el límite de la zona arqueológica y Boca Paila, por lo regular estos son hoteles de pequeña magnitud que tienen una planta hotelera 10 a 40 habitaciones. En relación a los usos habitacionales, el número de viviendas ha tenido un crecimiento promedio muy alto durante los últimos 10 años. Esto se debe al incremento en la demanda a causa del turismo (Sylvatica, 2014, 56).

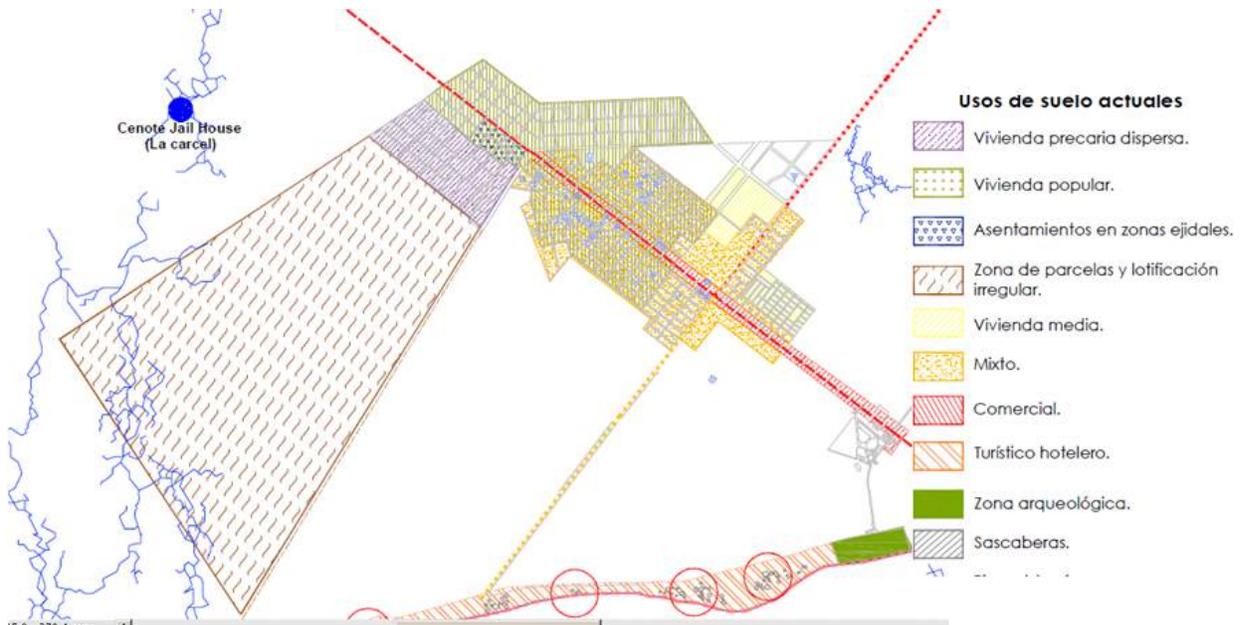


Figura 48. Distribución espacial de los usos de suelo actuales

Fuente: Elaboración propia con base en: Gobierno Municipal de Solidaridad (2008), actualización del programa de desarrollo urbano del centro de población Tulum 2006-2030, p. 85.

Los usos comercial y mixto se concentran en la parte central de la localidad al igual que los principales servicios administrativos, eclesiásticos y de servicios públicos. Existen problemas en cuanto a compatibilidades de uso de suelo debido a que la zona de abasto y almacenamiento no está consolidada, por cual se recurre al uso de talleres y almacenamientos esparcidos en el centro de población (Gobierno Municipal de Solidaridad, 2008, p. 85). Por ultimo tenemos que al norte de la localidad y al borde de carretera se localizan algunas empresas dedicadas a la industria de la construcción, las cuales no interfieren o afectan directamente con las actividades del centro de población (Gobierno Municipal de Solidaridad, 2008, p. 85).

3.3. Resultados empíricos de la evaluación espacial

Para nuestro caso de estudio abordaremos la relevancia del uso eficiente del agua a través del concepto de costo social. Aquí el costo del agua no sería el precio de mercado ni menos el precio al cual el gobierno lo cobra. Precisamente se trata del costo, directo e indirecto, de proveer el servicio por parte del sector público. En la Tabla 19 se puede ver que el costo de producir una unidad adicional de agua es relativamente bajo en comparación a otros municipios.

Tabla 19: Costo marginal por m³ producido de agua potable (\$/m³)

Organismo	Operación	Comercial	Administrativo	Capital	Total
Cozumel	3.56	0.90	2.36	0.90	7.73
Felipe Carrillo Pto	2.09	0.42	2.74	0.56	5.80
Jose Ma. Morelos	2.65	0.43	1.59	0.35	5.02
Lázaro Cárdenas	2.85	0.40	1.92	0.68	5.85
Othón P, Blanco	2.58	0.57	0.85	0.77	4.78
Solidaridad	2.11	0.70	1.22	1.34	5.36
Tulum	0.70	0.45	1.99	0.06	3.20
Estatad	2.46	0.58	1.35	0.80	5.19
Dirección General	0.00	0.15	2.81	0.87	3.84
Total	2.46	0.73	4.17	1.67	9.03

Nota. En pesos mexicanos del 2011. Fuente: Comisión de Agua Potable del Estado de Quintana Roo (2011).

Son embargo, posiblemente la baja facturación por servicios, no cobrados, medidores no colocados, o fugas en la misma red ubican a la zona como una de las más caras por metro cubico adicional facturado (Tabla 20).

Tabla 20: Costo marginal por m³ facturado de agua potable (\$/m³)

Organismo	Operación	Comercial	Administrativo	Capital	Total
Cozumel	4.49	1.13	2.97	1.14	9.73
Felipe Carrillo Pto	5.61	1.12	7.33	1.49	15.55
José Ma. Morelos	6.81	1.10	4.10	0.90	12.91
Lázaro Cárdenas	10.61	1.50	7.14	2.54	21.79
Othón P, Blanco	7.73	1.72	2.55	2.32	14.32
Solidaridad	3.04	1.01	1.76	1.94	7.74
Tulum	7.42	1.84	8.18	0.23	17.67
Estatad	5.71	1.35	3.13	1.86	12.05
Dirección General	0.00	0.35	6.53	2.02	8.90
Total	5.71	1.70	9.66	3.88	20.94

Nota. En pesos mexicanos del 2011. Fuente: Comisión de Agua Potable del Estado de Quintana Roo (2011).

Se aprecia con claridad que es más eficaz cualquier acción que aumente la eficiencia del sistema, precisamente donde la provisión del servicio es más dispendiosa de los recursos públicos. En la siguiente sección, se evaluará, a manera de alternativa, el efecto de isla de calor en las alternativas naturales de climatización y su consecuente impacto en los consumos energéticos.

3.3.1. Análisis e interpretación de la variable formal.

Como resultado, los diferenciales térmicos procesados del satélite, muestran un desplazamiento de las temperaturas fuera del área de respuesta de las estrategias pasivas hacia zonas de climatización mecánica o artificial, tal como se muestra en la Figura 49. Lo anterior, puede derivarse en aumentos de consumos energéticos y en un efecto cíclico en contexto del cambio climático. Las recomendaciones van en el sentido de procurar intervención pública que prevean la reducción del efecto UIH en las ciudades.

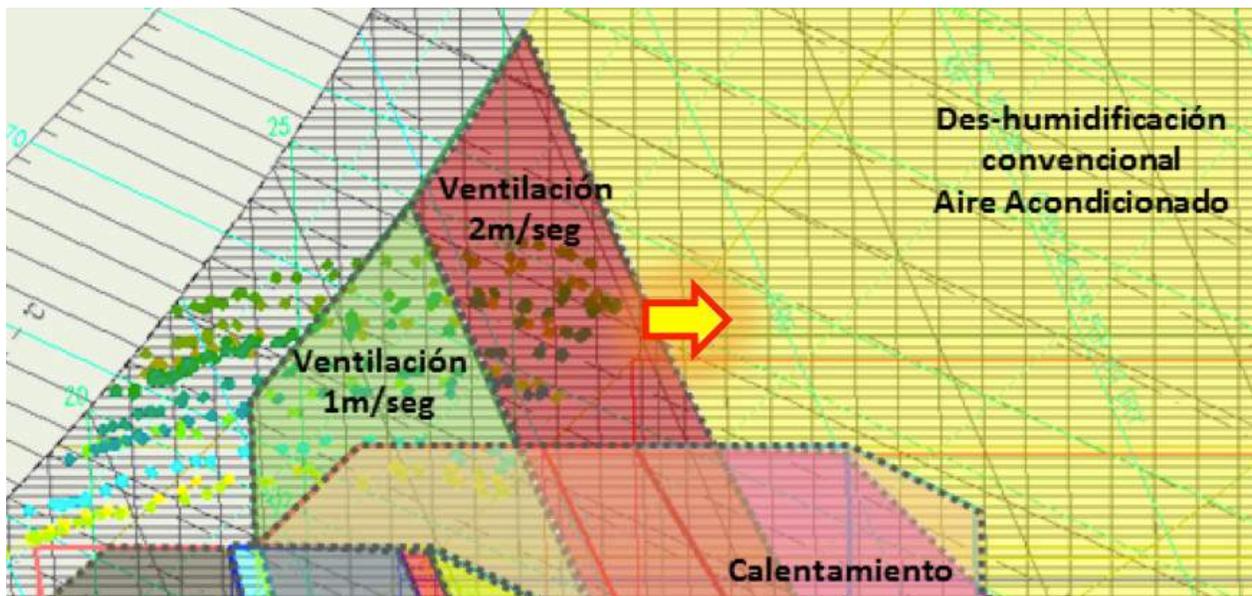


Figura 49. Desplazamiento de temperaturas extremas en el rango de 2 a 4 °C. Tulum Q. Roo.

Fuente: Elaboración propia.

Un elemento de gran ayuda para la parte del análisis climático de Tulum es el modelo virtual 3d, el cual se observa en la Figura 50. Este fue elaborado acorde con las dimensiones y proporciones obtenidas mediante el análisis y levantamiento de los edificios de Tulum. Dicho modelo fue procesado posteriormente para realizar un proceso de simulación eólica con software libre que permitiera comprender el comportamiento de las presiones y flujos en el interior de la ciudad (Figuras 51 y 52).

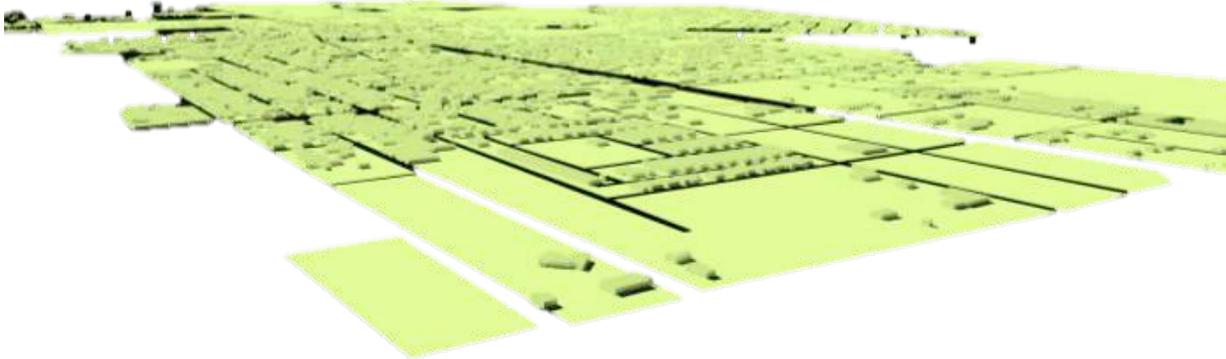


Figura 50. Modelado 3D de Tulum, Quintana Roo, México.

Fuente: Elaboración propia en programa CAD.

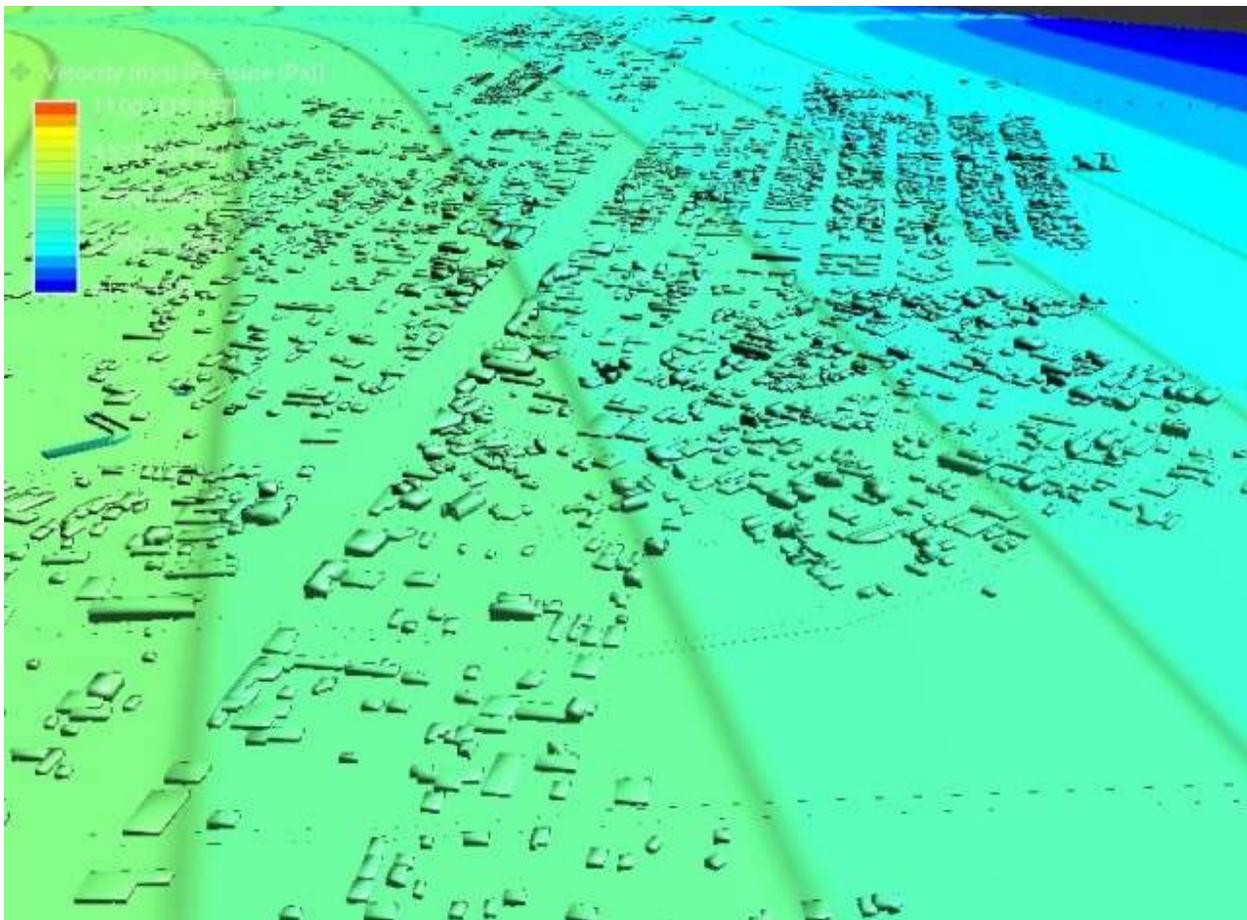


Figura 51. Modelado 3D de Tulum, Quintana Roo, México.

Fuente: Elaboración propia, a partir de análisis en el software Flow Design, 2016. Flow Design es un software de túnel de viento virtual disponible para uso por parte de estudiantes y educadores. Disponible en <http://www.autodesk.mx/education/free-software/flow-design>

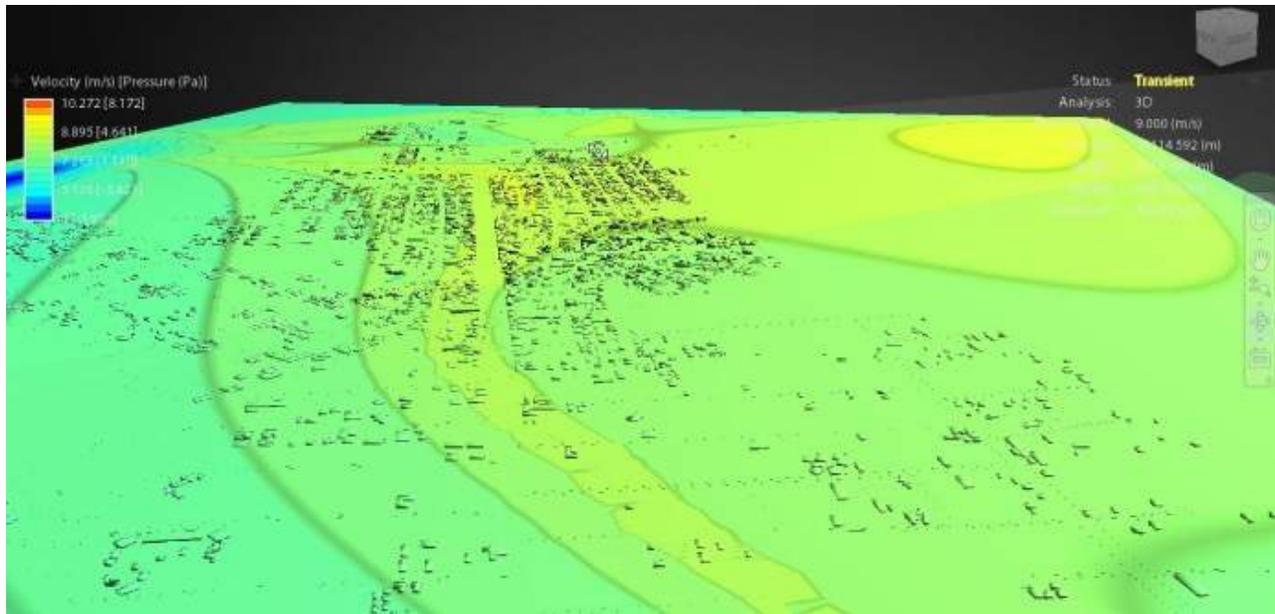


Figura 52. Análisis eólico de Tulum, Quintana Roo, México.

Fuente: Elaboración propia, a partir de análisis en el software *Flow Design*, 2016. *Flow Design* es un software de túnel de viento virtual disponible para uso por parte de estudiantes y educadores. Disponible en <http://www.autodesk.mx/education/free-software/flow-design>

Si se analiza el comportamiento del flujo del viento de Tulum, se observa que las zonas con mayor velocidad de flujo del viento son las que están conexas a la carretera federal y las que se encuentra en el primer cuadrante de la ciudad. Se generan así mayores presiones sobre los edificios que se encuentran en esta zona de crecimiento urbano. Es muy factible que lo anterior se deba a que en el interior de la ciudad se generen líneas de conducción del viento, las cuales, son inducidas por las vialidades, teniendo como resultado el diferencial de presiones que induzca el flujo. Resulta significativo que, a pesar de la baja densidad en cuanto a alturas de las edificaciones sea la morfología urbana relevante para el flujo del aire.

Lo anterior es consistente con la literatura, donde se evidencia que estudios comparativos de forma, densidad y el uso de energía entre ciudades de climas similares es posible, ya que se defiende que el clima es un factor clave en la demanda de energía de las viviendas (Doherty *et al.*, 2014, p. 19).

3.3.2. Resultado del análisis de correlación con la variable espacial.

Primeramente se trataron los datos recabados a efecto de eliminar los componentes sin información. Se procesaron tres bases de datos a cada una se le realizaron pruebas para los modelos hipotéticos planteados en el numeral 3.3. Las bases de datos se encuentran ordenadas en los Anexos T1, T2 y T3, donde ρ = Coeficiente de Utilización del Suelo (%), ρ =densidad de población en superficie total (hab/m²) y ρ = Densidad de población en superficie construida respectivamente. Estas corresponden a las variables exógenas que se evalúan a efectos de determinar que tan explicativo es el modelo funcional.

Para la primera prueba se comienza con ρ = Coeficiente de Utilización del Suelo (%) respecto de los consumos hídricos por unidad espacial (Figura 53). Según la perspectiva teórica que se aborde, se podría esperar que la relación sea lineal (donde si la superficie construida de la ciudad aumenta lo harían a la par los consumos) o más a favor de la compacidad, donde la relación se esperaría que fuera logarítmica o exponencial, en cuyo caso el aumento de la construcción eventualmente llevaría a una disminución en el consumo adicional.

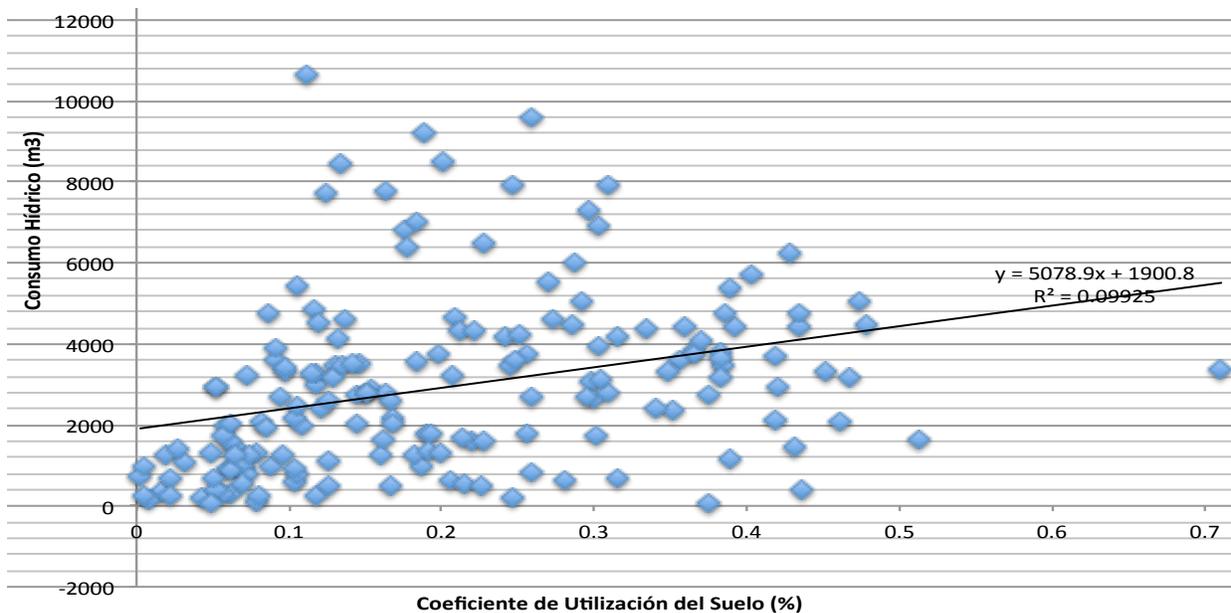


Figura 53. Gráfica donde ρ = Coeficiente de Utilización del Suelo (%)

Fuente: Elaboración propia

El resultado de esta prueba muestra que todas las exógenas son significativas en su regresión, es decir que responde significativamente a cualquier teoría explicativa (Tabla 21). Si bien el R^2 ajustado es más apegado a la relación lineal, más a detalle llama la atención la relevancia del modelo logarítmico, donde hipotéticamente se alcanza un máximo nivel de consumo antes de empezar a decrecer. Este se logra cuando la densidad es de 0.35%, aquí el consumo hídrico alcanza su máximo nivel. Respecto del criterio de información de Akaike⁶⁷ es una prueba de calidad relativa entre modelos probabilísticos. Se emplea para seleccionar entre diferentes candidatos a efectos de minimizar la pérdida estimada de información.

Tabla 21: Resultados de regresiones donde ρ = Coeficiente de Utilización del Suelo

Regresión	Coefficiente	Significancia	R^2 ajustado	Akaike
Consumo Hídrico= $C+a\rho+U$	C= 2321.12 a= 3247.29	0.0000*** 0.0119*	0.2519	17.9152
Log(Consumo Hídrico)= $C+(a)(\log(\rho))+U$	C= 8.5276 a= 0.4774	0.0000*** 0.0000***	0.2327	2.6112
Consumo Hídrico= $C+a\rho^2+b\rho+U$	C= 1441.13 a= -18449.48 b=12923.96	0.0073** 0.0026** 0.0002***	0.2843	17.88

Nota. Unidades de ρ en %. Fuente: elaboración propia.

*valores significativos < .05; **valores muy significativos < .01; ***valores altamente significativos < .001

El resultado no descarta las otras opciones, se presenta un posible argumento a favor de la hipótesis de impactos decrecientes. Lo anterior es coincidente con algunos estudios realizados en ciudades de alta densidad que referencian que el consumo es más eficiente en ciudades densas. Se debe recalcar que la primera prueba no tiene implicaciones respecto de la densidad poblacional, cuya prueba se presenta a continuación.

En la segunda prueba realizada, se cruzan otras dos variables en el espacio: población y consumos hídricos (Figura 54). De la misma manera la interpretación teórica difiere significativamente: por un lado existe la creencia de que al aumentar la población aumentarán

⁶⁷ ACA por sus siglas en inglés *Akaike Information Criterion*.

linealmente los consumos, por otro lado hay quienes defienden que la densificación de la población de alguna manera hace que sus consumos sean más eficientes en todos los sentidos. Cabe señalar que para el caso hídrico esto puede estar influenciado por la presencia, o no, de jardines. Sin embargo, tal como lo demuestra la Tabla 22, todas las variables son significativas.

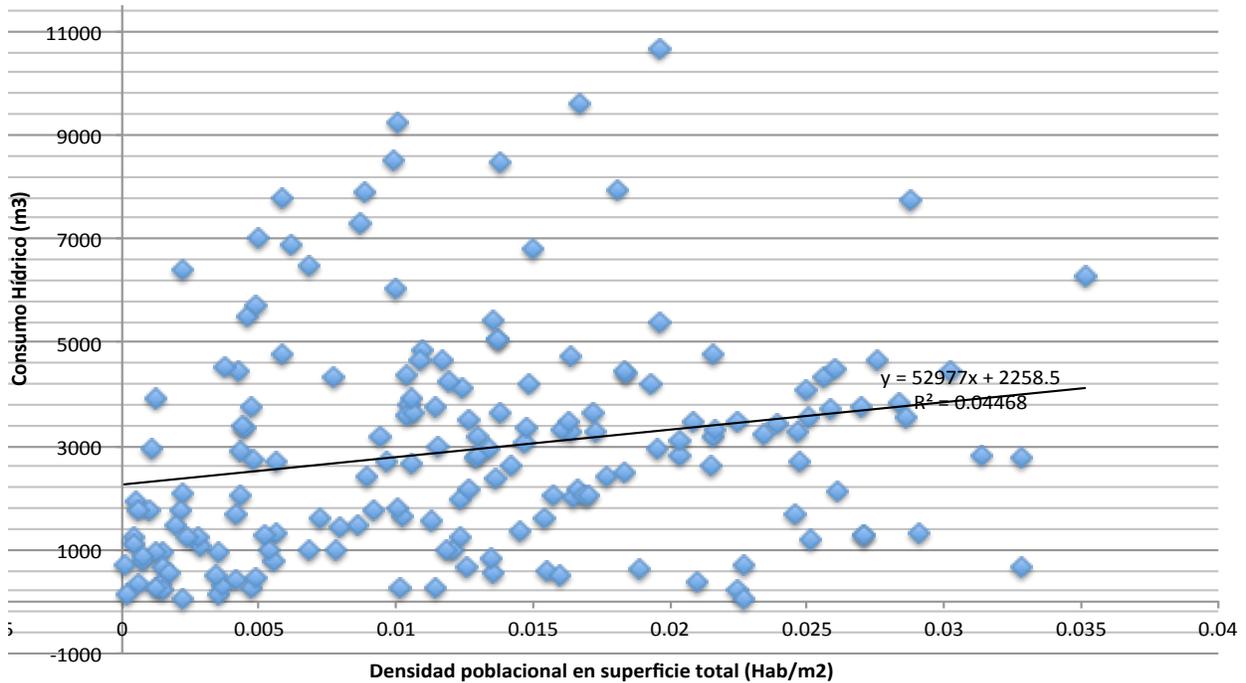


Figura 54. Gráfica donde ρ =densidad de población en superficie total (hab/m²).

Fuente: Elaboración propia

De manera análoga con la prueba anterior llama la atención el resultado de la regresión logarítmica, que probablemente, y a pesar de su R², sea más representativa tal como lo evidencian los coeficientes presentados.

Tabla 22: Resultados de regresiones donde ρ =densidad poblacional entre superficie

Regresión	Coefficiente	Significancia	R ² ajustado	Akaike
Consumo Hídrico= C+a ρ +U	C= 2370.35 a= 48367.74	0.0000*** 0.0081**	0.2522	17.9194
Log(Consumo Hídrico)= C+(a)(log(ρ))+U	C= 9.088 a= 0.3077	0.0000*** 0.0000***	0.1767	2.6819
Consumo Hídrico= C+a ρ^2 +b ρ +U	C= 1850.98 a= -3446598 b=152758.6	0.0001*** 0.0168* 0.0016**	0.2653	17.9071

Nota. Unidades de ρ en hab/m². Fuente: elaboración propia.

*valores significativos < .05; **valores muy significativos < .01; ***valores altamente significativos < .001

Finalmente se presenta la última prueba, donde se evalúa la variable de “personas en superficie construida” como explicativa del consumo hídrico. Entonces, ya no se trata de la simple de “superficie construida” (donde a mayor construcción mayores consumos) ni de personas en espacio urbano bidimensional total (donde el aumento de densidades poblacionales identificadas en m² urbano, significaría un respectivo aumento en los consumos), sino más bien que tanto explica el hacinamiento (aumento de personas respecto de una unidad espacial construida) el aumento o la disminución de los consumos para el caso hídrico. En este contexto, la Figura 55 muestra una notable diferencia en la aglutinación de datos. Esto puede explicarse debido a que Tulum es consistente respecto de que las altas densidades construidas se encuentran en las zonas donde habitan mayor número de personas. Si bien esto pareciera obligado, el debate se encuentra en verdaderos y significativos diferenciales de densidades urbanas lo cual es congruente con cierta literatura⁶⁸.

No obstante, Tulum no presenta grandes diferenciales en densidades urbanas, se trata más bien de una ciudad más o menos homogénea en cuanto a la superficie construida ocupada por habitante. En este sentido, los resultados de la regresión expuestos en la Tabla 23 muestran como ninguna variable resulta significativa. De manera que, al menos para el caso de Tulum, el hacinamiento en ninguno de los casos explicaría el consumo de agua.

⁶⁸ A manera de ejemplo, en 2015, el gobierno del Estado de California en EE UU, afirmó que áreas altamente urbanizadas y densas reportan una disminución en el consumo hídrico per cápita, explicando que esto puede deberse a que no cuentan con áreas verdes que incrementen el consumo por el riego que representan. Disponible en: http://www.waterboards.ca.gov/waterrights/water_issues/programs/drought/docs/factors.pdf

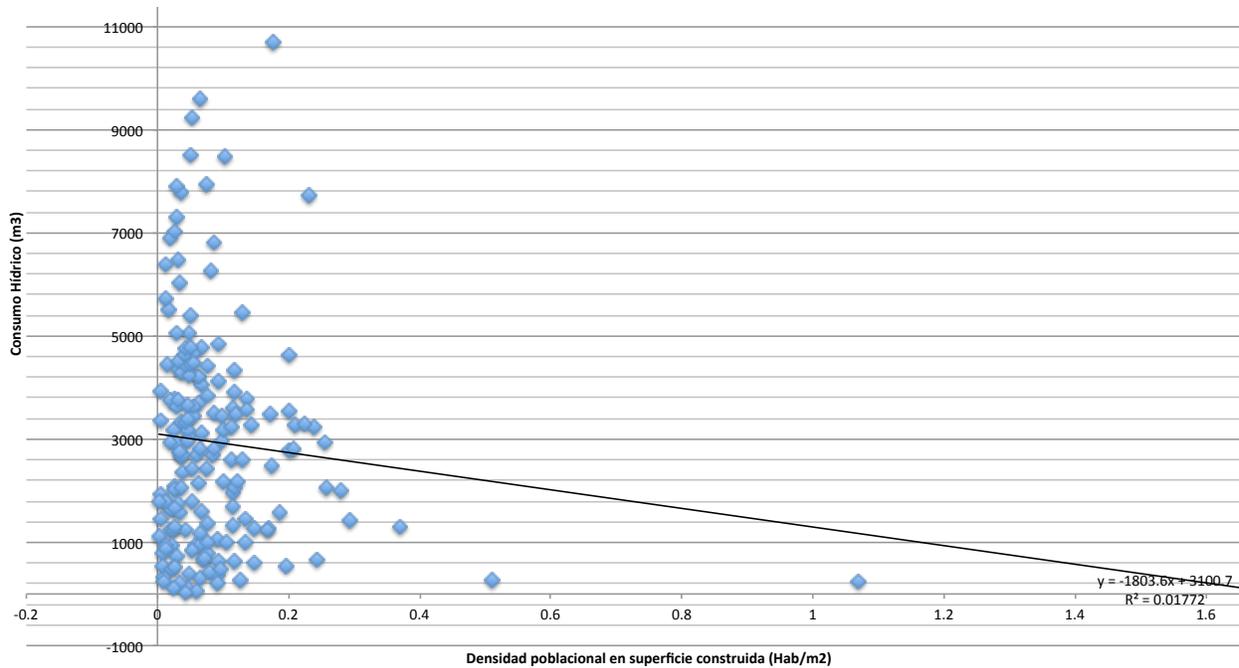


Figura 55. Gráfica donde ρ = Densidad de población en superficie construida (hab/m^2).
Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Resultados de regresiones donde ρ = densidad poblacional en superficie construida

Regresión	Coefficiente	Significancia	R ² ajustado	Akaike
Consumo Hídrico = C + a ρ + U	C = 3093.82	0.0000***	0.2194	17.9623
	a = -1189.84	0.3412		
Log(Consumo Hídrico) = C + (a)(log(ρ)) + U	C = 7.6232	0.0000***	0.0778	2.7955
	a = -0.0004	0.9950		
Consumo Hídrico = C + a ρ^2 + b ρ + U	C = 3103.76	0.0000***	0.2148	17.9736
	a = 114.8162	0.9635		
	b = -1334.24	0.5459		

Nota. Unidades de ρ en hab/m^2 . Fuente: elaboración propia.

*valores significativos < .05; **valores muy significativos < .01; ***valores altamente significativos < .001

Finalmente se concluye que se ve más solidez con la construcción en donde las tres formas funcionales lo representan. Se puede investigar particularmente los datos atípicos los cuales pueden revelar información interesante. Existe consistencia teórica que vincula al consumo directamente con el número de habitantes. Se debe realizar el estudio en lugares donde las densidades sean mayores, pero el clima sea similar, con el fin de poner a prueba la regresión logarítmica.

Discusión y Conclusiones

Actualmente, el consumo energético e hídrico a nivel mundial, se origina en las ciudades. Dentro de ellas, el sector que más demanda es el compuesto por las edificaciones comerciales y habitacionales. La evidencia de los estudios metabólicos urbanos, apunta a que los esfuerzos de política pública debieran enfocarse a hacer eficiente esta unidad primaria que compone su tejido, las construcciones. Sin embargo, se han identificado disociaciones espaciales entre lo demandado a nivel privado, dentro de las edificaciones y lo que abarca y regula, la intervención pública a nivel urbano y territorial. Como resultado, se disocia la demanda de recursos por las edificaciones en los asentamientos humanos, respecto de la capacidad del territorio circundante sujeto de ordenamiento.

Convencionalmente, la forma y la dispersión urbana no son variables determinantes en la planificación de la trama de las ciudades. No resulta evidente relacionar el ambiente local con los límites tecnológicos de provisión, uso y disposición de residuos. Menos aún, que estos pudieran estar ligados a demandas de recursos que, en condiciones no alteradas, resultarían menores. Lo anterior deriva en un contrasentido de las políticas, ya sean internacionales para la mitigación del cambio climático, o nacionales respecto del uso eficiente de los recursos públicos. Al menos en intención, el ordenamiento de los asentamientos humanos debe ser desarrollado sosteniblemente, ya que es propósito constitucional⁶⁹ tanto la equidad en la riqueza como el imponer el interés público y el beneficio social, al interés privado o particular. La planificación del espacio público debiera entonces prevenir y contemplar los consumos futuros, estableciendo óptimos o límites de demanda al sistema natural, en concordancia con los preceptos de la sostenibilidad territorial.

⁶⁹ Artículo 27 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

A nivel nacional, la población se aglomera en el centro del país, de modo que resulta razonable conservar las últimas áreas agrícolas y forestales que, a manera de cinturón verde, delimitan los perímetros urbanos antes de la eventual conurbación. De ahí que, la economía ambiental explique que la valoración de los bienes naturales comience a ser relevante a partir de su escases. En ese contexto, la delimitación de las fronteras de las ciudades y la densificación surgen como una propuesta prácticamente incuestionable. No obstante, se debe tener presente que la fórmula por sí sola no resuelve todos los problemas ambientales, y que sin una planificación eficaz, pueden inclusive generar des-economías de escala y problemas de aglomeración. Quintana Roo es el caso contrario, la proporción entre tierra y población es diametralmente diferente. Esta coyuntura parece forzar la inviabilidad económica para los desarrolladores de invertir en densidad adicional, debido en mucho, al precio comparativamente accesible de los terrenos.

En consecuencia, se presentó una propuesta metodológica de evaluación de la sostenibilidad urbana, la cual permitió integrar la escala micro de la dimensión urbana (las edificaciones), en la planificación de la escala regional. En primer lugar, se obtuvieron los datos con metodologías estándar de cuantificación de los impactos biofísicos (huella de carbono y huella hídrica). Posteriormente, en función de la consistencia de estos, se analizó el metabolismo urbano en un territorio. Por último, los resultados se graficaron en un plano cartesiano a efectos de someterlos a una evaluación espacial, la cual fue construida a partir de las hipótesis del comportamiento de teórico de la ciudades. En la investigación, se procuró la claridad y comparabilidad de los indicadores, resolviendo los problemas de agregación que presentan muchos de ellos. Además, se vigiló que se tuviera noción de la magnitud de los resultados y se pudiera asumir el tamaño de los mismos.

Si bien el instrumento metodológico no sustituye a la planificación convencional, éste se apega a identificar una problemática puntual, que en un futuro puede ser automatizada y en

tiempo real. Finalmente, la propuesta de evaluación puede fortalecer la toma de decisiones alineadas a objetivos ambientales particularizados para cada ciudad y su región urbana. Así, el método revela la efectividad de las estrategias para alcanzar la sostenibilidad en diferentes escenarios. Para el caso particular del estudio, se pretendió introducir, en un contexto de análisis espacial, variables relevantes para las regiones tropicales a efectos de generar una evaluación cuantitativa comparable. En definitiva, una planificación territorial y urbana, apegada a objetivos, puede hacer eficiente el gasto público alineado a metas ambientales.

Finalmente se comprobó la hipótesis de que, tanto la forma como la dispersión espacial de una ciudad del trópico húmedo, inciden en el peso de las variables que determinan la sostenibilidad de la misma. Si bien los resultados de la evaluación econométrica respaldan ligeramente la compacidad poblacional y constructiva, la densificación no debe ser concebida como un modelo único exportable a cualquier realidad social o ambiental. Simplemente no se puede comparar las grandes ciudades del primer mundo, cuyas condiciones climáticas, problemas ambientales y retos sociales difieren considerablemente de las naciones en desarrollo. De manera que, ahí donde no exista la necesidad de establecer economías de la aglomeración, la dispersión puede ofrecer tratamiento de residuos orgánicos en sitio, producción agroalimentaria endógena, y favorecer más fácilmente la generación de microclimas naturales por las áreas arboladas.

Recomendaciones

Respecto del desarrollo de ciudades en las regiones tropicales, se pronostica que no se están ocupando las ventajas geográficas que proporciona el medio natural, condenando a los países situados en el trópico a competir bajo un modelo adaptado a regiones de mayores latitudes y menor diversidad de ecosistemas. En otras palabras, el generar isla de calor urbana en las regiones trópico húmedas, resta la competitividad urbana al forzar el aumento en los consumos energéticos. Adicionalmente, las características cársticas del suelo, y la cercanía del manto freático, consiguen exceder la capacidad soporte del medio natural, por la concentración de los impactos negativos de la contaminación.

Una aproximación científica es un instrumento que nos permite analizar una realidad no aparente, cuyo nivel de detalle o precisión se ve perfeccionado, o modificado, con la ampliación de las fronteras del conocimiento de determinada materia. Para su estudio, el desarrollo sostenible es un reto complejo y transversal, cuyo planteamiento no surgió a manera de una pregunta científica, con un marco teórico definido y con metodologías colectivamente aceptadas; por el contrario, es resultado de una afrenta más bien filosófica, que casi invita a responderla intuitivamente. En este contexto, la geografía presenta un marco epistemológico amplio, que le permite ir delimitando, conceptual e interdisciplinariamente, los métodos de evaluación.

El retomar ciudades que respondan al clima, la orientación respecto del sol y los vientos dominantes de la época más cálida, es una necesidad racionalmente sustentada; donde, a nivel micro, debiesen existir disposiciones normativas sobre el espacio privado, es decir, las construcciones. Para articular tal política, y con fundamento en el bien público, se deben crear conceptos espaciales respecto de esas nuevas realidades constructivas. De manera que, con soluciones fácilmente comprensibles para el grueso de la población, se sustente la necesidad de

fomentar la circulación del aire entre los macizos construidos de las cuadras urbanas. Así como en las naciones septentrionales se regula el acceso al sol como un derecho, en estas regiones el acceso a una adecuada ventilación debiese serlo. De manera que las fachadas reaccionarían diferente y se contaría con espacios destinados al libre flujo de viento. Así, en el colectivo social se insertaría el paradigma de que en una misma calle, las fachadas contrapuestas resultasen naturalmente diferentes, debido a la simple razón de que responden a diametralmente distintas orientaciones.

A nivel del espacio público las recomendaciones para generar ciudades más acordes al medio ambiente son una realidad histórica y olvidada. En función de que las calles son las principales conductoras del flujo de aire, la planificación y el fraccionamiento de futuras zonas de asentamientos, deben optar por una traza favorable que distribuya las presiones del viento sobre la ubicación tentativa de las las construcciones, favoreciendo así las posibilidades de su climatización con medios pasivos.

En cuanto al agua y su consumo, es conocido que este depende de múltiples factores, entre ellos la temperatura, las tasas de evaporación, las necesidades consuntivas de riego de jardines, la antigüedad de la red de provisión, el nivel socioeconómico, el tamaño del predio, el precio del bien, así como el crecimiento poblacional y su densidad. Si bien esta diversidad dificulta el ofrecer una recomendación única, se puede afirmar que el organismo operador del agua debe actuar en función de los costos marginales de operación, es decir donde en el momento le resulte más eficiente invertir sus recursos escasos. Una alternativa es generar energía eléctrica y capitales propios a partir del biogás de los sistemas de tratamiento, donde el manejo de aguas negras signifique la recuperación de recursos y no solamente su dispendio. Finalmente, el estudio en particular de los datos atípicos de la evaluación econométrica, pueden revelar comportamientos particulares en un campo que, hasta el momento, ofrece mucho por descubrir.

Referencias Bibliográficas

- Adelle, C., & Pallemarts, M. (2005). Sustainable Development in OECD Countries. *Annexe. Sustainable Development Indicators* (pp. 177–192). Recuperado de Oecd-ilibrary.org.
- Alonso, W. (1964). *Location and Land Use: Towards a general theory of land rent*. Harvard University Press. Cambridge, MA.
- Arribas Herguedas, F. (2007). "La idea de desarrollo sostenible". En *Sistema: Revista de Ciencias Sociales* (n° 196), pp. 75-86.
- Arroyo, L., Frausto, O., Segrado, R. & Chuc, I. (2013). "Unsustainable littoral tourism in Tulum, Mexico". En *Papers de Turisme*. n° 54, pp. 88-108.
- Auliciems, A., & Szokolay, S. V. (2007). *Thermal comfort* .(Segunda ed). Brisbane: Passive and Low Energy Architecture International. Recuperado de base de datos <http://plea-arch.org/plea-notes/>
- Ayers, J. (2009). International funding to support urban adaptation to climate change. *Environment and Urbanization*, 21 (1), pp. 225-240.
- Azqueta Oyarzum, D. (2007). *Introducción a la economía Ambiental*. 2a Edición, Editorial McGraw Hill, Madrid, España, pp. 456.
- Baker, L.A., Hope, D., Xu, & Edmonds, J., Lauver, L., (2001). "Nitrogen balance for the Central Arizona-Phoenix (CAP) ecosystem". En *Ecosystems* 4, pp. 582-602.
- Barton, H., Davis, G. & Guise, R. (1995). *Sustainable Settlements: A Guide for Planners, Designers and Developers*. Bristol: Universidad del Oeste de Inglaterra.
- Banco Interamericano de Desarrollo [BID] (2012). *Guía metodológica. Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles*. Primera edición. Pp. 173.
- Banco Mundial (2011). "Importance of Land Use Planning" Modulo 1 Material imprimible del curso *Sustainable Urban Land Planning*. Disponible en <http://www.cityindicators.org/Default.aspx>
- Bocco G., Priego Á. & Cotler H. (2005). "La geografía física y el ordenamiento ecológico del territorio. Experiencias en México" en *Gaceta ecológica* 2005 76: 23-34 Instituto Nacional de Ecología [INE], México.
- Bocco, G. & Urquijo P. (2010). "La geografía ambiental como ciencia social". En Lindón A. & Hiernaux D. (eds.), *Los giros de la geografía*. Anthropos/UAM-I, Barcelona.

- Bojorquez Morales, G. (2010). *Confort Térmico en Exteriores: Actividades en espacios recreativos, en clima cálido seco extremo. Ucol.Mx.* Universidad de Colima. Retrieved from http://www.ucol.mx/interpretos/pdfs/909_inpret1009.pdf
- Breheny, M. (2003). "Centerists, Decenterists and Compromisers: Views on the Future of Urban Form". En Jenks, M., Burton, K. & Williams K. (eds.) *The Compact City: a Sustainable Urban Form?*. Ed. Routledge, p. 258-276.
- Brown G.Z. & Dekay Mark (2000). *Sun, wind & light. Architectural Design Strategies.* Ed. Wiley. Segunda Edición 400 p
- Button, K. (1998). "Where did the 'New Urban Economics' go after 25 Years?". Artículo para el *38º Congreso de la Asociación Europea de Ciencia Regional*. 28 de agosto al 01 de septiembre, Viena. Disponible en: www.researchgate.net/publication/23732509_Where_did_the_new_urban_economics_go/file/3deec525c860ce2ff0.pdf.
- Cabrales L. (2011). "Comentario a Geografía y ambiente de Carlos Reboratti". En Bocco G., Urquijo P. & Vieyra A. (eds.), *Geografía y ambiente en América Latina*, Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental [CIGA] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], Instituto Nacional de Ecología [INE]. Ciudad de México., pp. 45-50.
- Campos, B. (2009). *Procesos de urbanización y turismo en Playa del Carmen, Quintana Roo.* México: UQROO y Plaza y Valdés.
- Castillo Villanueva, L. (2009). *Urbanización, Problemas Ambientales y Calidad de Vida Urbana.* México: UQROO y Plaza y Valdés.
- Castillo Villanueva, L. & Velázquez Torres, D. (2010). "Indicadores de Calidad de Vida Urbana: Una Aproximación Metodológica" en: *Castillo, Orozco & Velázquez* (eds.) *Ciudades, Urbanización y Metropolización*
- Chau Kwong-Wing, Wong S. K., Yau Y. & Yeung A. K. C. (2007) "Determining Optimal Building Height" en *Urban Studies*, Vol. 44, No. 3, 591-607.
- Chinitz, B. (1991). "A Framework for Speculating about Future Urban Growth Patterns in the US". En *Urban Studies* 28: pp. 939-959.
- Comisión de las Comunidades Europeas [CCEE] (2007). *Un Vitruvio Ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico Sostenible.* Barcelona: Gustavo Gili.
- Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo. (1987). *Our Common Future.* Oxford: Oxford University Press.

- Comisión Nacional de Vivienda [CONAVI] (2009). “Características paquete básico para programa de subsidios 2009”. Boletín Comité Técnico de Evaluación. Disponible en <http://boletin.dseinfonavit.org.mx/020/documentos/PaquetedeSubsidiosCONAVI2009.pdf>
- Common M. & Stagl S. (2005). *Ecological Economics: An Introduction*. Editorial Cambridge University Press, 592 p.
- Copertino, V. A., Di Pierro, M., Scavone, G., & Telesca, V. (2012). Comparison of algorithms to retrieve Land Surface Temperature from LANDSAT-7 ETM+ IR data in the Basilicata Ionian band. *Journal of Mediterranean Meteorology & Climatology*, 9, 25–34. <http://doi.org/10.3369/tethys.2012.9.03>
- Cortinas de Nava C. & Ordáz Y. (coords) (1994). *Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente 1993-1994*. Dirección General de Planeación Ecológica. Instituto Nacional de Ecología [INE], Secretaría de Desarrollo Social [SEDESOL]. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/16/5.html>
- Cristóbal Rosselló, J., Casals Ninyerola, M., Pons Fernández, X., & Pla Montferrer, M. (2006). Mejoras en la modelización de la temperatura del aire mediante el uso de la teledetección y de los Sistemas de Información Geográfica. En *XII Congreso del Grupo de Tecnologías de la Información Geográfica. El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas* (pp. 93–103). Granada: Cuadernos Geográficos.
- Daly H. & Farley J. (2011). *Ecological Economics: Principles and Applications*. 2a edición, editorial Island Press, Washington D.C., 488 p.
- Daniels, T., Keller, J. & Lapping, M. (2007). *Small Town Planning Handbook*, 3a edición, editorial APA Planners Press, Chicago, 402 p.
- Departamento de Energía y Cambio Climático, [DECC], & Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales, [DEFRA] (2012). *2012 Guidelines to DEFRA / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting*. DEFRA publications, Department for Environment, Food and Rural Affairs, Londres, 85 p.
- Dobson, S. & Gerrard, B. (1991). “Intraurban Location Effects on Firm Performance: Some Evidence from the Leeds Engineering Sector”. En *Environment and Planning A*, 23: pp. 757-764.
- Doherty, M., Nakanishi, H., Bai, X. & Meyers J. (2014). “Relationships between form, morphology, density and energy in urban environments”. En: *GEA Background Paper*. Cap. 18, International Institute for Applied Systems Analysis [IIASA]. 28 p.
- Durán Romero, G. (2000). "Medir la sostenibilidad: Indicadores económicos, ecológicos y sociales". Comunicación en *la VII Jornadas de Economía Crítica*, 3-5 de febrero, Albacete, España. Disponible en: <http://www.ucm.es/info/ec/jec7/pdf/com1-6.pdf>.

- Entrena, F. (2005). Procesos de periurbanización y cambios en los modelos de ciudad. Un estudio europeo de casos sobre sus causas y consecuencias. *Revista de sociología*. 78, pp. 59-88.
- Eriksson, R. & Andersson, J. (2010). *Elements of ecological economics*. Editorial Routledge, Francis & Taylor Group, New York, 164 p.
- Espinosa, D., Ocegueda S. et al. (2008). El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural, en Capital natural de México, vol. I : *Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio, México, pp. 33-65.
- Fernández Christlieb, F. (2011). “Paradero 2010: la geografía universitaria en México setenta años después. En Bocco G., Urquijo P. & Vieyra A. (eds.), *Geografía y ambiente en América Latina*, Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental [CIGA] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], Instituto Nacional de Ecología [INE]. Ciudad de México, pp. 87-126.
- Field, B. & Field, M. (2009). *Environmental Economics: An introduction*, 5a Edición, editorial McGraw Hill-Irwin, Boston, 493 p.
- Flipo, F. & Schneider, F. (2008). Economic De-Growth for Ecological Sustainability and Social Equity. Actas de la Primera Conferencia Internacional (eds.). Sociedad Europea de Economía Ecológica 18-19 Abril del 2008, Paris, 321 p.
- Fulford, M. (2003). “The Compact City and the Market: the Case of Residential Development”, en Jenks, M., Burton, K. & Williams, K. (eds.) *The Compact City: a Sustainable Urban Form?*. Ed. Routledge, pp. 105-115.
- Gandy, M., (2004). “Rethinking urban metabolism: water, space and the modern city”. En *City* 8 (3), pp. 363-379.
- García E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Serie Libros, Núm. 6, Quinta edición. Instituto de geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 90 p.
- García-López, M. & Muñoz Olivera, I. (2007). “¿Policentrismo o dispersión? Una aproximación desde la nueva economía urbana” en *Investigaciones Regionales* No. 11. pp. 25-43.
Disponibile en:
<http://www.aecr.org/images/ImatgesArticles/2008/02%20Garcia%20Lopez.pdf>
- Garibay Orozco C. (2011). “Comentario a Paradero 2010: la geografía universitaria en México setenta años después de Federico Fernández Christlieb”. En Bocco G., Urquijo P. & Vieyra A. (eds.), *Geografía y ambiente en América Latina*, Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental [CIGA] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], Instituto Nacional de Ecología [INE]. Ciudad de México, pp. 127-130.

- Garza G. (2013). *Teoría de las Condiciones y los Servicios Generales de la Producción*. En colaboración Sobrino Jaime et al. 1ra Ed. El Colegio de México, Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales. 382p.
- Girardet, H. (2010). *Regenerative Cities*. Hamburgo: World Future Council y Universidad Hafencity. Recuperado de http://www.worldfuturecouncil.org/fileadmin/user_upload/papers/WFC_Regenerative_Cities_web_final.pdf
- Gilpin, A. (2010). *Economía ambiental: Un análisis crítico*. Ediciones Alfaomega Grupo Editor, México, 352 p.
- Givoni, B. (2003). "Urban design and climate". En Watson, D., Plattus A., & Shibley, R. G. (eds.), *Time Saver Standards for Urban Design* (1ra Ed. pp. 382-395). Nueva York: Ed. McGraw Hill.
- Gobierno Municipal de Solidaridad (2008). *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Tulum 2006-2030*. H. Ayuntamiento de Solidaridad Administración 2005-2008. 258 p.
- González-Medrano, F. 2003. *Las comunidades vegetales de México. Propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], Instituto Nacional de Ecología [INE]., México. 77p. Disponible en <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/421.pdf>
- Global Cities Research Institute (2014). "The Global City Indicators Facility". Universidad RMIT Australia. Disponible en <http://www.cityindicators.org/Default.aspx>
- Gordon, P., & Richardson H. (1997). "Are Compact Cities a Desirable Planning Goal?". *Journal of the American Planning Association* 63 (1), pp. 95-106. Chicago.
- Gudiño M. (2010). "Desafío Municipal: Ordenamiento y Desarrollo Territorial". Ponencia presentada en el *Foro Regional Redmuni 2010 Cuyo: Políticas Públicas Para El Desarrollo Local*, 14-15 de octubre, Mendoza. Disponible en: http://www.vinculacion.uncu.edu.ar/upload/Gudi%C3%B1o_RedMuniCuyo2010.pdf
- Gutiérrez Chaparro J. (2010). "Planeación Metropolitana en México: Desarrollos Recientes y Obsolescencia del Modelo." en: Castillo, Orozco & Velázquez (eds.) (2010) *Ciudades, Urbanización y Metropolización*
- Guy S. & Marvin S. (1999). "Understanding sustainable cities: competing urban futures" en *European Urban and Regional Studies* 0969-7764 (199907) 6:3. SAGE Publications, London, Thousand Oaks and New Delhi, Vol. 6 (3): 268-275.
- Haffer J. (2001). "Ciclos de tiempo e indicadores de tiempos en la historia de la Amazonia". pp. 119-128. En Llorente Bousquets, J., Morrone, J. (eds.) *Introducción a la biogeografía en*

Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 278p.

Halvorsen R. (2009). "What Does the Empirical Work Inspired by Solow's 'The Economics of Resources or the Resources of Economics' Tell Us?". *Journal of Natural Resources Policy Research*, vol. 1, enero, pp. 87-90.

Harvey, D. (1996). *Justice, Nature and the Geography of Difference*. Oxford: Blackwell.

Harvey, D. (2012). *Revel Cities. From the right to the city to the urban revolution*. Ed. Verso. Londres.

Harvey, D. (2014). *Diecisiete contradicciones y el fin del capitalismo*.
<http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Haughton G. (1997). "Developing Sustainable Urban Development Models" en *Cities* Vol. 14 (4). Pp. 189-195.

Hemphill, L., McGreal, S. & Berry, J. (2004). "An Indicator Based Approach to Measuring Sustainable Urban Regeneration Performance: Part 1, Conceptual Foundations and Methodological Framework" en *Urban Studies*, Vol. 41: pp. 725-755.

Hermanowicz, S.W., Asano, T., (1999). "Abel Wolman's 'the metabolism of cities' revisited: a case for water recycling". En *Water Science & Technology* 40 (4), 29-36.

Hoeskstra, A.Y. & Chapagain, A.K.. (2008). *Globalization of water. Sharing the planet's freshwater resources*. Blackwell Publishing.

Hotelling, H. (1929). "Stability in competition". En *The Economic Journal*. Taylor and Francis. Vol. 39 (No. 153): pp. 41-57. doi:10.2307/2224214. JSTOR 2224214. Ed. Wiley a nombre de la Royal Economic Society. Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/2224214>

Hoyos Castillo, G. (2012). "El Cambio Urbano, Hipótesis En Exploración en América Latina" En Orozco M., Castillo L., Velázquez D., (eds.), *Desarrollo territorial y sostenible en riesgo*, 1era Ed. Departamento Editorial UAEM México, D.F., pp. 33- 48.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI] (2010). "Censo de Población y Vivienda 2010. Resultados Definitivos". Disponible en:
<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/>

Instituto Mexicano para la Competitividad [IMCO] (2012). *El Municipio: una institución diseñada para el fracaso*. Propuestas para la gestión profesional de las ciudades. México. 172 p.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI] & Instituto Nacional de Ecología [INE] (2000). *Indicadores de Desarrollo Sustentable en México*. Disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/download/311.pdf>.
- International Community Foundation [ICF], Fundación FEMSA, Ayuntamiento de La Paz & Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles [ICES] del Banco Interamericano de Desarrollo [BID] (2012). *La Paz, Baja California Sur, México: Plan de Acción*. 68 p.
- Iracheta Cenecorta A. (2006). *Hacia una estrategia nacional integrada para un desarrollo territorial sustentable*. VII Seminario de la RMCS y VI Reunión de la AMIMP, Villahermosa, Tabasco. Recuperado de <http://www.forogobernanzametropolitana.org/>
- Jáuregui E. (1979). La isla de calor en Toluca, México, en *Boletín 9*. Instituto de Geografía UNAM, Méx.
- Jáuregui Ostos, E. (2000). *El clima de la ciudad de México*. 1ra ed. México D.F. Plaza y Valdés editores. 129p.
- Jenks, M., Burton, K. & Williams, K. (eds.) (2003). *The Compact City: a Sustainable Urban Form?*. Ed. Routledge, 360 p.
- Jones O. (2009). "After Nature: Entangled Worlds". En Castree N., Demeritt D., Liverman D.v & Rhoads B. (eds.), *A Companion to Environmental Geography*. Wiley- Blackwell, Chichester, UK, pp. 294-312.
- Karakiewicz, J. (2011). "Urban Metabolism of Low Carbon Cities". Caso de estudio presentado en el 47° *Congreso de la International Society of City and Regional Planners (ISOCARP)*. 28 de octubre. Wuhan, China.
- Kennedy, C., Cuddihy, J., & Engel-Yan, J. (2007). The Changing Metabolism of Cities. *Journal of Industrial Ecology*, Vol 11, Num. 2., pp. 43-59.
- Klooster D. (2011). "Relatoría Final: Geografías Ambientales". En Bocco G., Urquijo P. & Vieyra A. (eds.), *Geografía y ambiente en América Latina*, Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental [CIGA] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], Instituto Nacional de Ecología [INE]. Ciudad de México, pp. 339-350
- Kolstad C. (2010). *Environmental Economics*. 2a Edición, editorial Oxford University Press, USA, 496 p.
- Lambrechts B. (2009). *The polycentric metropolis unpacked: concepts, trends and policy in the Randstad Holland*. Amsterdam Institute for Social Science Research [AISSR] 208 p. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11245/1.306862>

- Leal G. (2008). "Debate sobre la Sostenibilidad". *Documentos de trabajo*, Desarrollo Conceptual y Metodológico de una Propuesta de Desarrollo Urbano Sostenible para la Ciudad-Región Bogotá en clave de ciudad Latinoamericana, Pontificia Universidad Javeriana. Disponible en http://www.javeriana.edu.co/arquid/maeplan/publicaciones/documents/DebatesobrelaSostenibilidad_000.pdf.
- Lefèvre, Benoit (2009). "Urban Transport Energy Consumption: Determinants and Strategies for its Reduction." en *S.A.P.I.E.N.S.*, Vol.2, No N°3. Cities and Climate Change. Disponible en: <<http://sapiens.revues.org/914>>.
- Makido, Y., Dhakal, S., & Yamagata, Y., (2012). Relationship between urban form and CO2 emissions: Evidence from fifty Japanese cities. *Urban Climate*. 2(0), 55–67. doi: 10.1016.
- Mankiw G. (2009). *Principios de Economía*. Cengage Learning Editores S.A. de C.V., México, 872 p.
- Margalef R. (1981). *Ecología*. Ediciones Planeta, España, 255 p.
- Martínez J. (2001). "Riesgos por exposición a isocianatos". *Higiene industrial*, Publicación Institucional de Ibermutuamur, n°26, pp. 56-63.
- Massey, D. (2005). *For Space*. Editorial Sage. Londres.
- Massiris A. (2012). "Hacia una estrategia de desarrollo territorial sostenible para América Latina". En Orozco M., Castillo L., Velázquez D., (eds.), *Desarrollo territorial y sostenible en riesgo* 1era Ed. Departamento Editorial UAEM México, D.F., pp. 17-32.
- Mathewson K. (2011). "Sauer's Berkeley School Legacy: Foundation for an Emergent Environmental Geography?". En Bocco G., Urquijo P. & Vieyra A. (eds.), *Geografía y ambiente en América Latina*, Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental [CIGA] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], Instituto Nacional de Ecología [INE]. Ciudad de México, pp. 51-81.
- Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J & Behrens W. (1972). *The Limits to growth. A report for the club of Rome's project on the predicament of mankind*. Ed, Potomac Associates Books. Nueva York. 205 p.
- Meijer, M., Adriaens, F., van der Linden, O., & Schik, W. (2011). A next step for sustainable urban design in the Netherlands. *Cities*, 28(6), 536–544. <http://doi.org/10.1016/j.cities.2011.07.001>
- Mills, E. S. (1967). "An Aggregative Model of Resource Allocation in a Metropolitan Area". En *American Economic Review*, Vo. 57. pp. 197-210.
- Morales Méndez, C., Madrigal Uribe, D., González Becerril L., (2007) "Isla de calor en Toluca, México". En *Ciencia Ergo Sum*, 14 (3). Universidad Autónoma del Estado de México.

- Moreno Pires, S., Fidélis, T., & Ramos, T. B. (2014). Measuring and comparing local sustainable development through common indicators: Constraints and achievements in practice. *Cities*, 39, 1–9. <http://doi.org/10.1016/j.cities.2014.02.003>
- Morrone, J. (2014). “Biogeographical regionalisation of the Neotropical región” en *Zootaxa* 3782 (1). pp. 001-110 Editorial Magnolia Press Auckland, Nueva Zelanda
- Muth, R. F. (1969). *Cities and Housing*,. Chicago University Press. Chicago.
- Naciones Unidas (1972). “Report of the United Nations Conference on the Human Environment” Resultado de la *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano*, celebrada en Estocolmo, 5 al 16 de junio de 1972. Disponible en: <http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=97>
- Naciones Unidas (1992). “Report of the United Nations Conference on the Human Environment” Resultado de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Cumbre para la Tierra), celebrada en Río de Janeiro, 3 al 14 de junio de 1992. Disponible en: <http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-4.htm>
- Naciones Unidas (2007). *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. 3ra Edición, Nueva York, 93 p. Disponible en: <http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/guidelines.pdf>
- Natural Resources Defense Council (1998). *Another Cost of Sprawl, The Effects of Land Use on Wastewater Utility Costs*. Obtenido en <http://www.nrdc.org/cities/smartgrowth/cost/execsum.asp>
- Newman P. (1999). “Sustainability and cities: extending the metabolism model”. En *Landscape and Urban Planning*. 44 (1999) pp. 219-226, disponible en http://www.esf.edu/cue/documents/Newman_metab.pdf
- Newman P. & Kenworthy J. (2006). “Urban Design to Reduce Automobile Dependence”, en *Opolis: An International Journal of Suburban and Metropolitan Studies*. Vol. 2: No. 1, Artículo 3. Disponible en: <http://repositories.cdlib.org/cssd/opolis/vol2/iss1/art3>
- Nissan Tulum (2014), *Documento técnico unificado para el cambio de uso de suelo*, 230 p.
- Odum E. (1971). *Ecología*. 3a Edición, Nueva Editorial Interamericana, S.A de C. V., México, 639p.
- Olgyai, V. (2010). *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas* (1ª ed.). Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SL.

- Organización de las Naciones Unidas. [ONU] (2012). *World Urbanization Prospect, the 2011 Revision*. Nueva York: Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Población.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. [OCDE] (2012). *Compact City Policies: A Comparative Assessment*. OECD Green Growth Studies.: Accesado Noviembre 12, 2015. doi: 10.1787/9789264167865-en.
- Orozco, M., Hoyos, G., Calderón J. (2012). “Planificación del Desarrollo, Gestión Ambiental y Visión Metropolitana en México”. En Orozco M., Castillo L., Velázquez D., (eds.), *Desarrollo territorial y sostenible en riesgo* 1era Ed. Departamento Editorial UAEM México, D.F., pp. 49-61.
- Parra, J. C., Sobrino, S. A., Acevedo, P. S., & Morales, L. J. (2006). Estimación de la temperatura de suelo desde datos satelitales AVHRR-NOAA aplicando algoritmos de split window. *Revista Mexicana de Física*, 52(3), 238–245.
- Parra E. (2008). *Hibridación Múltiple en la Ciudad Fragmentaria*. Universidad Nacional de Colombia. Cita de Manzana de Concentración.
- Parris, T. & Kates, R. (2003). “Characterizing and Measuring Sustainable Development”, *Annual Review of Environment and Resources*, vol 28, pp. 559-586.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2011). “GROUP A: Tropical/megathermal climates”. Universidad de Melbourne.
- Piguet, P., Blunier, P., Loïc, L., Mayer, M., & Ouzilou, O. (2011). A new energy and natural resources investigation method: Geneva case studies. *Cities*, 28(6), 567–575. <http://doi.org/10.1016/j.cities.2011.06.002>
- Pinheiro, A. C. T., Privette, J. L., Bates, J. J., & Pedelty, J. (2008). Satellite Retrievals of Land Surface Temperature: Challenges and Opportunities. In *20th Conference on Climate Variability and Change, The 88th AMS Annual Meeting* (p. 5). New Orleans. Recuperado de <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/131227.pdf>
- Pires, S. M., Fidélis, T. & Ramos, T. B. (2014). “Measuring and comparing local sustainable development through common indicators: Constraints and achievements in practice” en *Cities* Vol. 39 pp. 1-9.
- Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. [ONU-HABITAT] (2008). 3.4 Energy Consumption in Cities. *State of the World's Cities 2008/9 - Harmonious Cities*, Malta: Gutenberg Press Ltd., 153-163.
- Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos [ONU-HABITAT]. (2014). *Sustainable Building Design for Tropical Climates. Principles and Applications for Eastern Africa*. (S. Ball, Ed.). Nairobi: UNON, Publishing Services Section.

- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2005). (coord.). *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Informe de Síntesis*. Un Informe de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. 43 p.
- Prüss-Üstün, A., & Corvalán, C. (2006). *Preventing Disease Through Healthy Environments*. Suiza: World Health Organization.
- Ramírez I. (2011). “Comentario a Conservación participativa del paisaje de Alejandro Velázquez y Alejandra Larrazábal”. En Bocco G., Urquijo P. & Vieyra A. (eds.), *Geografía y ambiente en América Latina*, Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental [CIGA] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], Instituto Nacional de Ecología [INE]. Ciudad de México, pp. 217-219.
- Reboratti, C. (2011). “Geografía y ambiente”. En Bocco G., Urquijo P. & Vieyra A. (coord.), *Geografía y ambiente en América Latina*, Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental [CIGA] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], Instituto Nacional de Ecología [INE]. Ciudad de México., pp. 21-44.
- Reboratti C. (2011). “Comentario a El medio ambiente en el quehacer geográfico de Colombia de Andrés Guhl”. En Bocco G., Urquijo P. & Vieyra A. (eds.), *Geografía y ambiente en América Latina*, Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental [CIGA] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], Instituto Nacional de Ecología [INE]. Ciudad de México, pp. 151-155.
- Rogers, R. & Gumuchdjian, P. (2000). *Ciudades para un pequeño planeta*. Ed. Gustavo Gili. 180p.
- Ruggiero A. (2001). “Interacciones entre la biogeografía ecológica y la macroecología: aportes para comprender los patrones espaciales de la diversidad biológica”. pp. 81-94. En Llorente Bousquets, J., Morrone, J. (eds.) *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 278p.
- Sahely, H.R. & Kennedy, C.A. (2007). “Water use model for quantifying environmental and economic sustainability indicators”. En *Journal of Water Resources Planning and Management* 133 (6): 550-559.
- Santos, M. (1996). *Metamorfosis del espacio habitado*. Editorial Oikos Tau. Barcelona
- Secretaría de Desarrollo Social. [SEDESOL] (2012). *Estudio de Implicaciones de los Modelos de Crecimiento en el Costo de Infraestructura: Caso de Estudio Los Cabos*. México: SEDESOL. Recuperado de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470692066.fmatter/summary>

- Secretaría de Desarrollo Social [SEDESOL] (2012). *Guía Metodológica para la Elaboración de Programas de Desarrollo Urbano*, Dirección General de Desarrollo Urbano y Suelo, 178 p., Recuperado de <http://www.inapam.gob.mx/es/SEDESOL/Documentos>
- Sen, A. (2000). *Desarrollo y libertad*. Editorial Planeta, Barcelona, 440 p.
- Serageldin, I. (1993). "Cómo lograr un desarrollo sostenible". *Finanzas y Desarrollo*, Vol. 30, n°4, pp. 6-10.
- Seymoar, N., & Anderson S. (2009). "Next generation communities" Documento de antecedentes presentado en el *Foro de Innovación Jasper*. 1-4 Noviembre, Jasper, Canada.
- Siniscalco, A. (2011). *La sostenibilità energetico-ambientale nella progettazione urbanistica*. Università Degli Studi Di Salerno. Recuperado de <http://elea.unisa.it>
- Sinkiene, J. (2008). "Urban Competitiveness Model". Resumen de disertación doctoral. Kaunas University of Technology, Facultad de Ciencias Sociales, Departamento de Administración Pública. Disponible en: <http://en.ktu.lt/sites/default/files/2008-12-11%20sinkiene.pdf>
- Smyth, H. (2003) "Running the Gauntlet: a Compact City within a Doughnut of Decay". En Jenks, M., Burton, E. & Williams K. (eds) *The Compact City: a Sustainable Urban Form?*. Ed. Routledge. pp. 87-97.
- Solow, R. (1986). "On the Intergenerational Allocation of Natural Resources". *Scandinavian Journal of Economics*, vol. 88, n°1, pp. 141-149.
- Sylvatica (2012). *Diagnóstico programa de ordenamiento ecológico local de Tulum*, México, 208 p.
- Sylvatica (2014). *Pronóstico programa de ordenamiento ecológico local de Tulum*, México, 168 p.
- The Forestry Commission. (2013). *Air temperature regulation by urban trees and green infrastructure*. Farnham. Recuperado de www.forestry.gov.uk/publications
- Thériault, J., Laroche, A.-M., (2009). "Evaluation of the urban hydrologic metabolism of the Greater Moncton region", New Brunswick. En *Canadian Water Resources Journal* 34 (3), 255-268.
- Thrift, N. (1996). *Spatial Formations*. Editorial SAGE Publications en asociación con Theory, culture & society. Londres. 367 p.
- Tourn, G., Peinetti, H., Folmer, O., Giai, S. & Herner, M. (2004). "La sustentabilidad ambiental en la ciudad: limitaciones y posibilidades del área periurbana. Ejes conceptuales." *Revista Anuario de la Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de la Pampa*, año VI, n° 6, pp. 77-86.

- Vega-Azamar, R. E., Glaus, M., Hausler, R., Oropeza-García, N. A., & Romero-López, R. (2013). An energy analysis for urban environmental sustainability assessment, the Island of Montreal, Canada. *Landscape and Urban Planning*, *118*, 18–28.
<http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.06.001>
- Vettorato, D., Geneletti, D., & Zambelli, P. (2011). Spatial comparison of renewable energy supply and energy demand for low-carbon settlements. *Cities*, *28*(6), 557–566.
<http://doi.org/10.1016/j.cities.2011.07.004>

Anexo T1: Datos para regresión donde ρ = Coeficiente de Utilización del Suelo

Ref	Variable endógena		Variable exógena	
	C_Hidr	S_Tot	S_Const	DENSIDAD 1 S_Const/S_Tot (%)
1	4769	12702	1088.9	0.085726657
2	1255	44214	872.9	0.019742615
3	118	13284.4	1045.7	0.078716389
4	2751	6872.4	987.5	0.143690705
5	258	9730.2	784.2	0.080594438
6	590	7896.5	823.7	0.104312037
7	941	10557.9	744	0.070468559
8	357	11426.2	174.4	0.015263167
9	1463	7804.5	498	0.063809341
10	2090	21520.4	1743.8	0.081030092
11	1318.5	3373.8	166.8	0.049439801
12	1298	6627.3	522	0.078765108
13	202	8099	346.5	0.04278306
14	781	7933.4	838.6	0.105704994
15	941	11609.8	1210.7	0.104282589
16	322	11564.9	716.8	0.061980648
17	714	136393	350	0.002566114
18	135	17285.8	127	0.007347071
19	3250	8097.6	585.8	0.072342422
20	941	13161.9	783.4	0.059520282
21	1927	19040.4	1603.7	0.084226172
22	3700	5728.5	2398.4	0.418678537
23	1071	8012.4	254.6	0.031775748
24	288	8826.5	502.2	0.056896845
25	415	9588.7	502.2	0.052374149
26	4856	11754.3	1367.9	0.116374433
27	795	11425.3	833.7	0.072969638
28	995	8070.4	518.3	0.064222343
29	1579	8225.3	499	0.06066648
30	631	3650.7	747.9	0.20486482
31	1999	2312.1	136.3	0.058950737
32	382	3195.1	1392.4	0.435792307
33	2696	13105	1232.7	0.094063335
34	252	8698.4	38.4	0.004414605
35	990	8194.5	38.4	0.00468607
36	2138	5435	2274.5	0.41849126
37	974	6625.3	1241	0.187312273
38	1111	7573.5	946.6	0.124988447
39	1744	7203.5	413.4	0.057388769
40	673	7941	174.5	0.021974562
41	1422	7790.2	210.33	0.026999307
42	7289	12755.6	3782	0.296497225
43	4360	9720.5	3240.6	0.333377913
44	208	4631	1141.3	0.246447851
45	691	6132.9	1928.8	0.314500481
46	1276	4951.3	793	0.160159958
47	1276	5468	992	0.181419166
48	543	2322.5	500	0.215285253
49	1642	1952.2	1000	0.512242598
50	3519	8510.6	1247.3	0.14655841
51	5041	6625.3	1936.6	0.292303745

52	258	11110.1	249.2	0.022430041
53	3782	5748.9	2201.1	0.382873245
54	1585	6661.9	1461.9	0.219441901
55	1777	8035	1530.4	0.190466708
56	4662	10542.9	2197.4	0.208424627
57	993	5754.7	507.54	0.088195736
58	1007	7862	544	0.069193589
59	875	8397.8	518.2	0.061706637
60	1784	8238.4	2111.2	0.256263352
61	2966	6697.4	790.5	0.118030878
62	1785	8649.8	1662.7	0.192224098
63	6267	10274.8	4395.2	0.427765017
64	60	2910.1	1088.9	0.374179581
65	2354	3969	1395	0.351473923
66	2422	10461.5	1269.6	0.12135927
67	2899	9470.7	1460	0.154159671
68	8462	6811.5	909	0.133450782
69	1594	7251.6	1646.9	0.2271085
70	3599	7900.5	715.5	0.090563888
71	3280	4863	571.8	0.11758174
72	481	18760.6	4232	0.225579139
73	1360	4411.1	841.3	0.190723402
74	9599	4958.4	1286.1	0.259378025
75	256	8658.2	1015	0.117229909
76	3476	5525.4	716.2	0.129619575
77	2673	5498	1644.7	0.299145144
78	3750	26098.6	6685.9	0.256178492
79	40	8200.9	405.2	0.049409211
80	543	8269.1	571.8	0.069149
81	2177	7983.1	1337.8	0.167579011
82	1978	3973.4	430	0.108219661
83	3281	5810	662.8	0.114079174
84	6481	10362.3	2353.1	0.227082791
85	7925	6146.4	1516.5	0.246729793
86	5520	8621.1	2330.4	0.270313533
87	488	8504.1	1412.3	0.166072835
88	3064	6277.6	1874.4	0.298585447
89	6018	8616.5	2477.1	0.287483317
90	2051	4313.3	262.5	0.060858276
91	2961	5484.3	2302	0.419743632
92	1240	4205.8	310.6	0.073850397
93	3770	3737.5	738.2	0.197511706
94	2600	12023.6	1516.5	0.12612695
95	1762	6300.4	1895.6	0.300869786
96	3456	6678.2	2563.3	0.383830972
97	3935	2424.6	732.3	0.302029201
98	9241	6973.2	1310	0.187862101
99	1668	13719.1	2210.7	0.161140308
100	3446	5518.7	1351.8	0.244948992
101	3630	6762.7	2407	0.35592293
102	4306	8174.3	1734.5	0.212189423
103	4326	4686.3	1033.4	0.220515119
104	4640	5297	725.8	0.137020955
105	2780	3661.1	600.2	0.1639398
106	4122	6774.4	897.6	0.132498819
107	3831	6129.1	2236.8	0.364947545

108	6805	6051.7	1062.2	0.175520928
109	3182	5090.9	652.9	0.128248443
110	512	8416.8	1055	0.125344549
111	650	6221.5	1744.3	0.280366471
112	671	6782.8	347.2	0.0511883
113	846	2308.1	595.9	0.258177722
114	1184	6896.3	2686.4	0.389542218
115	1237	11633.5	744.5	0.063996218
116	1248	7296.4	694.6	0.095197632
117	1286	6690.7	1333.3	0.199276608
118	1461	6014.9	2596	0.431594873
119	1692	7216	1537.5	0.213068182
120	2032	8606.8	1450	0.168471441
121	2046	4082.2	589.1	0.144309441
122	2068	6531.2	3013.8	0.461446595
123	2182	7487.4	778.4	0.103961322
124	2414	4918.5	1676.6	0.340876283
125	2480	6050.4	638.2	0.105480629
126	2600	5674.3	940.5	0.165747317
127	2680	3719.4	1099.2	0.295531537
128	2702	11974.9	3102.8	0.259108636
129	2768	5734	2148.2	0.374642483
130	2802	5456.1	1684.9	0.308810322
131	2805	4236.4	637.1	0.150387121
132	2814	6932.5	1044.9	0.150724847
133	2942	18834.1	978.5	0.051953637
134	2950	6940.7	362.8	0.052271385
135	3113	6819	2070	0.303563572
136	3177	5699.8	2667	0.467911155
137	3186	6678.6	2560.2	0.383343815
138	3240	4061.1	842.1	0.207357612
139	3310	4706.5	456.5	0.09699352
140	3316	5360	2420.3	0.451548507
141	3333	6699.3	2329.5	0.347722896
142	3362	6915	4914	0.710629067
143	3397	10473.8	1017.2	0.097118524
144	3471	5703.4	769.9	0.134989655
145	3536	6326.7	897.3	0.141827493
146	3560	4750	868.7	0.182884211
147	3620	11992.8	2976.5	0.248190581
148	3651	5764.6	2203.7	0.382281511
149	3755	5686.2	2077	0.365270304
150	3916	6843.4	620.3	0.090642078
151	4068	7048	2605.1	0.369622588
152	4199	6683.2	1613.2	0.241381374
153	4207	5452.4	1715.5	0.314632089
154	4227	3856.3	968.9	0.251251199
155	4420	6729.3	2920.2	0.433953011
156	4432	6522.8	2553.5	0.391472987
157	4437	6703.9	2403	0.358448068
158	4452	6396.6	1828.2	0.285808086
159	4480	5725.8	2735.6	0.477767299
160	4509	12928.2	1552.4	0.120078588
161	4640	5229.3	1428.2	0.273114948
162	4748	7032.5	2712.1	0.385652328
163	4777	6360.2	2763.9	0.434561806

164	5067	5481	2593.3	0.473143587
165	5397	5351.2	2076.8	0.388099865
166	5435	8104.8	847.7	0.10459234
167	5717	6725.4	2707.5	0.402578285
168	6386	6883.2	1217.4	0.176865411
169	6906	6520.4	1974.6	0.302834182
170	7024	9527.9	1750.7	0.183744582
171	7720	2465.8	306.7	0.124381539
172	7793	8043.3	1314.2	0.163390648
173	7906	25230.1	7812.8	0.309661872
174	8520	14694.1	2946.6	0.200529464
175	10682	6822.2	757.3	0.111005248

Anexo T2: Datos para regresión donde ρ =densidad poblacional en superficie total

Ref	Variable endógena		Variable exógena	
	C_Hidr	Hab	S_Tot	DENSIDAD 2 Hab/S_Tot (hab/m ²)
1	4769	74	12702	0.005825854
2	1255	18	44214	0.000407111
3	118	47	13284.4	0.003537984
4	2751	33	6872.4	0.004801816
5	258	99	9730.2	0.010174508
6	590	122	7896.5	0.015449883
7	941	16	10557.9	0.001515453
8	357	16	11426.2	0.001400291
9	1463	67	7804.5	0.008584791
10	2090	47	21520.4	0.002183974
11	1318.5	19	3373.8	0.005631632
12	1298	193	6627.3	0.029121965
13	202	12	8099	0.001481664
14	781	6	7933.4	0.000756296
15	941	14	11609.8	0.001205878
16	322	7	11564.9	0.00060528
17	714	10	136393	7.33175E-05
18	135	3	17285.8	0.000173553
19	3250	140	8097.6	0.017289073
20	941	46	13161.9	0.003494936
21	1927	10	19040.4	0.000525199
22	3700	148	5728.5	0.025835734
23	1071	23	8012.4	0.002870551
24	288	32	8826.5	0.003625446
25	415	40	9588.7	0.004171577
26	4856	129	11754.3	0.010974707
27	795	63	11425.3	0.005514078
28	995	55	8070.4	0.006815028
29	1579	93	8225.3	0.011306578
30	631	69	3650.7	0.018900485
31	1999	38	2312.1	0.016435275
32	382	67	3195.1	0.02096961
33	2696	74	13105	0.0056467
34	252	41	8698.4	0.004713511
35	990	64	8194.5	0.007810117
36	2138	142	5435	0.026126955
37	974	80	6625.3	0.012074925
38	1111	3	7573.5	0.000396118
39	1744	7	7203.5	0.00097175
40	673	12	7941	0.001511145
41	1422	62	7790.2	0.007958717
42	7289	111	12755.6	0.00870206
43	4360	101	9720.5	0.010390412
44	208	104	4631	0.022457353
45	691	139	6132.9	0.022664645
46	1276	134	4951.3	0.027063599
47	1276	148	5468	0.027066569
48	543	4	2322.5	0.001722282
49	1642	20	1952.2	0.010244852
50	3519	108	8510.6	0.012690057
51	5041	91	6625.3	0.013735227
52	258	127	11110.1	0.01143104

53	3782	60	5748.9	0.010436779
54	1585	48	6661.9	0.007205152
55	1777	17	8035	0.002115744
56	4662	123	10542.9	0.011666619
57	993	68	5754.7	0.011816428
58	1007	42	7862	0.005342152
59	875	6	8397.8	0.000714473
60	1784	5	8238.4	0.000606914
61	2966	77	6697.4	0.011496999
62	1785	87	8649.8	0.010058036
63	6267	361	10274.8	0.035134504
64	60	66	2910.1	0.022679633
65	2354	54	3969	0.013605442
66	2422	93	10461.5	0.008889739
67	2899	41	9470.7	0.004329141
68	8462	94	6811.5	0.013800191
69	1594	112	7251.6	0.015444867
70	3599	82	7900.5	0.010379909
71	3280	120	4863	0.024676126
72	481	91	18760.6	0.004850591
73	1360	64	4411.1	0.014508853
74	9599	83	4958.4	0.016739271
75	256	11	8658.2	0.001270472
76	3476	124	5525.4	0.022441814
77	2673	58	5498	0.010549291
78	3750	124	26098.6	0.004751213
79	40	18	8200.9	0.002194881
80	543	112	8269.1	0.0135444
81	2177	133	7983.1	0.016660195
82	1978	49	3973.4	0.012332008
83	3281	95	5810	0.016351119
84	6481	71	10362.3	0.006851761
85	7925	111	6146.4	0.018059352
86	5520	39	8621.1	0.004523785
87	488	136	8504.1	0.015992286
88	3064	92	6277.6	0.014655282
89	6018	86	8616.5	0.009980851
90	2051	68	4313.3	0.015765191
91	2961	107	5484.3	0.019510238
92	1240	52	4205.8	0.012363878
93	3770	101	3737.5	0.027023411
94	2600	171	12023.6	0.01422203
95	1762	58	6300.4	0.009205765
96	3456	139	6678.2	0.020813992
97	3935	3	2424.6	0.001237317
98	9241	70	6973.2	0.010038433
99	1668	57	13719.1	0.004154791
100	3446	132	5518.7	0.023918676
101	3630	72	6762.7	0.010646635
102	4306	63	8174.3	0.007707082
103	4326	120	4686.3	0.025606555
104	4640	146	5297	0.027562771
105	2780	120	3661.1	0.032777034
106	4122	84	6774.4	0.012399622
107	3831	174	6129.1	0.02838916
108	6805	91	6051.7	0.015037097

109	3182	66	5090.9	0.012964309
110	512	29	8416.8	0.00344549
111	650	204	6221.5	0.03278952
112	671	85	6782.8	0.012531698
113	846	31	2308.1	0.013430961
114	1184	173	6896.3	0.025085916
115	1237	32	11633.5	0.002750677
116	1248	17	7296.4	0.002329916
117	1286	35	6690.7	0.005231142
118	1461	12	6014.9	0.001995046
119	1692	177	7216	0.024528825
120	2032	37	8606.8	0.004298926
121	2046	69	4082.2	0.016902651
122	2068	111	6531.2	0.016995345
123	2182	95	7487.4	0.012687982
124	2414	87	4918.5	0.01768832
125	2480	111	6050.4	0.018345894
126	2600	122	5674.3	0.021500449
127	2680	92	3719.4	0.024735172
128	2702	116	11974.9	0.009686928
129	2768	74	5734	0.012905476
130	2802	111	5456.1	0.020344202
131	2805	133	4236.4	0.03139458
132	2814	90	6932.5	0.01298233
133	2942	20	18834.1	0.001061904
134	2950	93	6940.7	0.013399225
135	3113	139	6819	0.020384221
136	3177	123	5699.8	0.021579705
137	3186	63	6678.6	0.009433115
138	3240	95	4061.1	0.023392677
139	3310	102	4706.5	0.021672156
140	3316	86	5360	0.016044776
141	3333	99	6699.3	0.014777663
142	3362	31	6915	0.004483008
143	3397	46	10473.8	0.004391911
144	3471	93	5703.4	0.016306063
145	3536	181	6326.7	0.028608911
146	3560	119	4750	0.025052632
147	3620	165	11992.8	0.013758255
148	3651	99	5764.6	0.017173785
149	3755	65	5686.2	0.011431184
150	3916	72	6843.4	0.010521086
151	4068	176	7048	0.024971623
152	4199	99	6683.2	0.014813263
153	4207	105	5452.4	0.019257575
154	4227	46	3856.3	0.011928533
155	4420	124	6729.3	0.018426879
156	4432	197	6522.8	0.030201754
157	4437	123	6703.9	0.018347529
158	4452	27	6396.6	0.004220992
159	4480	149	5725.8	0.026022565
160	4509	48	12928.2	0.003712814
161	4640	57	5229.3	0.01090012
162	4748	115	7032.5	0.016352648
163	4777	137	6360.2	0.021540203
164	5067	75	5481	0.013683634

165	5397	105	5351.2	0.019621767
166	5435	110	8104.8	0.013572204
167	5717	33	6725.4	0.004906771
168	6386	15	6883.2	0.002179219
169	6906	40	6520.4	0.006134593
170	7024	47	9527.9	0.004932881
171	7720	71	2465.8	0.028793901
172	7793	47	8043.3	0.005843373
173	7906	224	25230.1	0.008878284
174	8520	146	14694.1	0.009935961
175	10682	134	6822.2	0.019641758

Anexo T3: Datos para regresión donde ρ = Densidad poblacional en superficie construida

Ref	Variable endógena		Variable exógena	
	C_Hidr	Hab	S_Const	DENSIDAD 3 Hab/S_Const (hab/m ²)
1	4769	74	1088.9	0.06795849
2	1255	18	872.9	0.020620919
3	118	47	1045.7	0.044945969
4	2751	33	987.5	0.033417722
5	258	99	784.2	0.126243305
6	590	122	823.7	0.148112177
7	941	16	744	0.021505376
8	357	16	174.4	0.091743119
9	1463	67	498	0.134538153
10	2090	47	1743.8	0.026952632
11	1318.5	19	166.8	0.113908873
12	1298	193	522	0.369731801
13	202	12	346.5	0.034632035
14	781	6	838.6	0.007154782
15	941	14	1210.7	0.011563558
16	322	7	716.8	0.009765625
17	714	10	350	0.028571429
18	135	3	127	0.023622047
19	3250	140	585.8	0.238989416
20	941	46	783.4	0.058718407
21	1927	10	1603.7	0.00623558
22	3700	148	2398.4	0.061707805
23	1071	23	254.6	0.090337785
24	288	32	502.2	0.063719634
25	415	40	502.2	0.079649542
26	4856	129	1367.9	0.094305139
27	795	63	833.7	0.075566751
28	995	55	518.3	0.106116149
29	1579	93	499	0.186372745
30	631	69	747.9	0.092258323
31	1999	38	136.3	0.278796772
32	382	67	1392.4	0.048118357
33	2696	74	1232.7	0.060030827
34	252	41	38.4	1.067708333
35	990	64	38.4	1.666666667
36	2138	142	2274.5	0.062431304
37	974	80	1241	0.064464142
38	1111	3	946.6	0.003169237
39	1744	7	413.4	0.016932753
40	673	12	174.5	0.068767908
41	1422	62	210.33	0.294774878
42	7289	111	3782	0.029349551
43	4360	101	3240.6	0.031167068
44	208	104	1141.3	0.091124157
45	691	139	1928.8	0.072065533
46	1276	134	793	0.168978562
47	1276	148	992	0.149193548
48	543	4	500	0.008
49	1642	20	1000	0.02
50	3519	108	1247.3	0.086587028
51	5041	91	1936.6	0.046989569
52	258	127	249.2	0.509630819

53	3782	60	2201.1	0.027259098
54	1585	48	1461.9	0.032833983
55	1777	17	1530.4	0.011108207
56	4662	123	2197.4	0.055975243
57	993	68	507.54	0.133979588
58	1007	42	544	0.077205882
59	875	6	518.2	0.011578541
60	1784	5	2111.2	0.002368321
61	2966	77	790.5	0.097406705
62	1785	87	1662.7	0.052324532
63	6267	361	4395.2	0.082135056
64	60	66	1088.9	0.060611626
65	2354	54	1395	0.038709677
66	2422	93	1269.6	0.073251418
67	2899	41	1460	0.028082192
68	8462	94	909	0.103410341
69	1594	112	1646.9	0.068006558
70	3599	82	715.5	0.114605171
71	3280	120	571.8	0.209863589
72	481	91	4232	0.021502836
73	1360	64	841.3	0.076072745
74	9599	83	1286.1	0.064536195
75	256	11	1015	0.010837438
76	3476	124	716.2	0.173135996
77	2673	58	1644.7	0.03526479
78	3750	124	6685.9	0.018546493
79	40	18	405.2	0.044422507
80	543	112	571.8	0.195872683
81	2177	133	1337.8	0.099416953
82	1978	49	430	0.113953488
83	3281	95	662.8	0.143331322
84	6481	71	2353.1	0.030172963
85	7925	111	1516.5	0.073194857
86	5520	39	2330.4	0.016735324
87	488	136	1412.3	0.096296821
88	3064	92	1874.4	0.049082373
89	6018	86	2477.1	0.034718017
90	2051	68	262.5	0.259047619
91	2961	107	2302	0.046481321
92	1240	52	310.6	0.167417901
93	3770	101	738.2	0.13681929
94	2600	171	1516.5	0.112759644
95	1762	58	1895.6	0.030597172
96	3456	139	2563.3	0.054226973
97	3935	3	732.3	0.004096682
98	9241	70	1310	0.053435115
99	1668	57	2210.7	0.025783688
100	3446	132	1351.8	0.097647581
101	3630	72	2407	0.029912754
102	4306	63	1734.5	0.036321707
103	4326	120	1033.4	0.116121541
104	4640	146	725.8	0.201157344
105	2780	120	600.2	0.199933356
106	4122	84	897.6	0.093582888
107	3831	174	2236.8	0.0777897
108	6805	91	1062.2	0.085671248

109	3182	66	652.9	0.101087456
110	512	29	1055	0.027488152
111	650	204	1744.3	0.116952359
112	671	85	347.2	0.244815668
113	846	31	595.9	0.052022151
114	1184	173	2686.4	0.064398451
115	1237	32	744.5	0.042981867
116	1248	17	694.6	0.024474518
117	1286	35	1333.3	0.026250656
118	1461	12	2596	0.004622496
119	1692	177	1537.5	0.115121951
120	2032	37	1450	0.025517241
121	2046	69	589.1	0.117127822
122	2068	111	3013.8	0.036830579
123	2182	95	778.4	0.122045221
124	2414	87	1676.6	0.051890731
125	2480	111	638.2	0.173926669
126	2600	122	940.5	0.129718235
127	2680	92	1099.2	0.083697234
128	2702	116	3102.8	0.037385587
129	2768	74	2148.2	0.034447444
130	2802	111	1684.9	0.065879281
131	2805	133	637.1	0.208758437
132	2814	90	1044.9	0.086132644
133	2942	20	978.5	0.020439448
134	2950	93	362.8	0.256339581
135	3113	139	2070	0.067149758
136	3177	123	2667	0.046119235
137	3186	63	2560.2	0.024607453
138	3240	95	842.1	0.112813205
139	3310	102	456.5	0.223439211
140	3316	86	2420.3	0.035532785
141	3333	99	2329.5	0.04249839
142	3362	31	4914	0.006308506
143	3397	46	1017.2	0.045222179
144	3471	93	769.9	0.120794908
145	3536	181	897.3	0.20171626
146	3560	119	868.7	0.136986301
147	3620	165	2976.5	0.055434235
148	3651	99	2203.7	0.044924445
149	3755	65	2077	0.031295137
150	3916	72	620.3	0.116072868
151	4068	176	2605.1	0.067559787
152	4199	99	1613.2	0.061368708
153	4207	105	1715.5	0.061206645
154	4227	46	968.9	0.04747652
155	4420	124	2920.2	0.042462845
156	4432	197	2553.5	0.077149011
157	4437	123	2403	0.051186017
158	4452	27	1828.2	0.014768625
159	4480	149	2735.6	0.054467027
160	4509	48	1552.4	0.030919866
161	4640	57	1428.2	0.039910377
162	4748	115	2712.1	0.042402566
163	4777	137	2763.9	0.04956764
164	5067	75	2593.3	0.02892068

165	5397	105	2076.8	0.050558552
166	5435	110	847.7	0.129762888
167	5717	33	2707.5	0.012188366
168	6386	15	1217.4	0.012321341
169	6906	40	1974.6	0.020257267
170	7024	47	1750.7	0.026846404
171	7720	71	306.7	0.231496576
172	7793	47	1314.2	0.035763202
173	7906	224	7812.8	0.028670899
174	8520	146	2946.6	0.049548632
175	10682	134	757.3	0.176944408
