



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD  
INSTITUTO DE ECOLOGÍA  
CONTEXTOS URBANOS

ANÁLISIS INTEGRAL DE MATERIALES DE AZOTEA PARA LA CONSTRUCCIÓN  
DE UNA POLÍTICA PÚBLICA DE MITIGACIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANA  
PARA LA CIUDAD DE MÉXICO, UN ENFOQUE DESDE LA SOSTENIBILIDAD

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD

PRESENTA:  
I. A. JUAN CARLOS HERNÁNDEZ BERNARDINO

TUTORA PRINCIPAL  
DRA. ADRIANA LIRA OLIVER  
FACULTAD DE ARQUITECTURA

COMITÉ TUTOR  
MTRA. KARINA CABALLERO GÜENDULAIN  
FACULTAD DE ECONOMÍA

DR. VÍCTOR L. BARRADAS MIRANDA  
INSTITUTO DE ECOLOGÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, DICIEMBRE 2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Coordinación de Estudios de Posgrado  
Ciencias de la Sostenibilidad  
Oficio: CEP/PCS/972/19  
Asunto: Asignación de Jurado

M. en C. Ivonne Ramírez Wence  
Directora General de Administración Escolar  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Presente

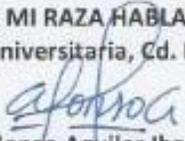
Me permito informar a usted, que el Comité Académico del Programa de Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, en su quincuagésimo primera sesión del 8 de octubre del presente año, aprobó el jurado para la presentación del examen para obtener el grado de **MAESTRO EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD**, del alumno **Hernández Bernardino Juan Carlos** con número de cuenta **518013440** con la tesis titulada "Análisis integral de materiales de azotea para la construcción de una política pública de mitigación de la isla de calor urbana para la ciudad de México, un enfoque desde la sostenibilidad", bajo la dirección de la Dra. Adriana Lira Oliver.

PRESIDENTE: MTRA. KARINA CABALLERO GÜENDULAIN  
VOCAL: DR. VÍCTOR L. BARRADAS MIRANDA  
SECRETARIO: DR. DANIEL ALFREDO REVOLLO FERNÁNDEZ  
VOCAL: DRA. PERLA YANNELLI FERNÁNDEZ SILVA  
VOCAL: DRA. ADRIANA LIRA OLIVER

Sin más por el momento me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, Cd. Mx., 22 de noviembre de 2019.

  
Dr. Alonso Aguilar Ibarra  
Coordinador  
Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, UNAM

## DEDICATORIA

*A mis padres y hermano, por siempre apoyarme y estar conmigo en cada decisión de mi vida y por ser la fuerza que me mantiene en pie todos los días.*

*Los amo.*

*A cada persona que me ha servido de ejemplo e inspiración en la vida.*

## **AGRADECIMIENTOS**

- Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México y al Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad por darme la oportunidad de continuar mi formación académica.
- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios.
- A la Dra. Adriana Lira Oliver por su apoyo total y por darme esta oportunidad de aprendizaje.
- A mi comité tutor, Mtra. Karina Caballero Güendulain y Dr. Víctor Barradas, por su plena atención, disposición y apoyo en la realización de este trabajo.
- A los miembros del jurado, Dra. Perla Fernández y Dr. Daniel Revollo por su atención y valiosas aportaciones.
- A mi compañero Rodolfo, del Laboratorio de Entornos Sostenibles (LES) de la Facultad de Arquitectura, gracias por su valioso apoyo.
- A mis amigos de la maestría, en especial a Ana Gabriela, Martha y Andrea, gracias por su amistad en este tiempo juntos.

## TABLA DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
	I.1 Planteamiento del problema .....	4
	1.2 Antecedentes .....	5
	1.3 Justificación .....	13
	1.4 Hipótesis y objetivos .....	14
	1.5 Marco teórico.....	15
	Sostenibilidad y Ciudad .....	15
	La isla de calor urbana (ICU).....	17
	Política pública e indicadores.....	20
II.	METODOLOGÍA .....	22
	II.1 Medición de la temperatura superficial de materiales propuestos .....	23
	II.2 Encuesta de percepción social y valoración económica .....	30
	II.2.1 Selección del sitio de estudio .....	30
	II.2.2 Diseño de la encuesta .....	32
III.	RESULTADOS .....	37
	III.1 Análisis de los materiales .....	37
	III.1.1 Indicador de temperatura superficial.....	42
	III.2 Información de la encuesta.....	45
	III.2.1 La isla de calor en la Ciudad de México y el sitio de estudio.....	45
	III.2.2 Descripción general de la población y el contexto socioeconómico.....	48
	III.2.3 Indicador de participación en materiales propuestos .....	51
	III.2.4 Indicador valoración económica del confort térmico.....	54
IV.	DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES .....	61
V.	CONCLUSIONES .....	68
	REFERENCIAS.....	70
	ANEXOS.....	78

## Lista de figuras

Figura 1. Esquema general del proyecto de investigación.....	3
Figura 2. Efectos de las medidas de mitigación de la ICU..	7
Figura 3. Perfil de la isla de calor.....	18
Figura 4. Esquema metodológico.....	22
Figura 5. Descripción de las metodologías utilizadas.....	23
Figura 6. Materiales aplicados en las placas de concreto .....	26
Figura 7. Disposición de las muestras en el patio del Laboratorio de Edificaciones Sostenibles .....	27
Figura 8. Zonas vegetadas en CU, UNAM.....	27
Figura 9. Función de la cámara termográfica Fuente: academiaatesto.com.....	28
Figura 10. Cámara Fluke .....	28
Figura 11. Temperatura superficial de los materiales aplicados en las placas de concreto.....	37
Figura 12. Temperatura superficial de las superficies vegetadas analizadas. ....	38
Figura 13. Temperatura superficial (Ts) promedio de las muestras en el mes de julio de 2018. ....	39
Figura 14. Temperatura superficial promedio de las muestras en el mes de enero de 2019. ....	40
Figura 15. Comparación de temperaturas superficial e inferior de las placas de concreto, en verano e invierno.....	41
Figura 16. Distribución de la temperatura en la Ciudad de México. ....	45
Figura 17. Mapa de calor de la Ciudad de México de 2008-2018.....	46
Figura 18. Ubicación de las colonias que forman parte de la zona de estudio.....	47
Figura 19. Frecuencias obtenidas en los rangos de edad y porcentaje respecto del sexo .....	48
Figura 20. Niveles de escolaridad y ocupación de la población encuestada .....	49
Figura 21. Variable de ingreso por mes en la muestra encuestada .....	50
Figura 22. Percepción del calor y conocimiento del fenómeno de la “isla de calor urbana” .....	50
Figura 23. Distribución de la participación.....	51
Figura 24. Tipo de vivienda de los encuestados.....	52
Figura 25. Porcentaje de población con disposición a realizar trabajo por apoyo económico .....	53
Figura 26. Opciones económicas elegidas para una azotea verde .....	53
Figura 27. Porcentaje de personas encuestadas en temas de interés social.....	54
Figura 28. Respuesta de la población para aportar en la valoración del confort térmico.....	54
Figura 29. Frecuencias de los montos expresados para la valoración del confort térmico.....	55
Figura 30. Relación de la disposición a pagar contra el monto (izquierda) y el ingreso (derecha)...	55
Figura 31. Administración de los recursos, según los encuestados.....	56
Figura 32. Molde de madera y fraguado de muestras .....	78
Figura 33. Muestras en el patio del LES .....	78
Figura 34. Análisis econométrico de todas las variables de la encuesta .....	90
Figura 35. Análisis econométrico del Modelo 1.....	91
Figura 36. Análisis econométrico del Modelo 2.....	91
Figura 37. Análisis econométrico del Modelo 3.....	92

## Lista de tablas

Tabla 1. Autores y años de las primeras investigaciones de la isla de calor urbana en el mundo. Fuente: Martínez, 2014.....	6
Tabla 2. Materiales seleccionados en la prueba de desempeño térmico.....	25
Tabla 3. Valores de las propiedades de emitancia térmica y reflectancia solar medidos en laboratorio.....	25
Tabla 4. Características de la experimentación .....	29
Tabla 5. Promedios porcentuales de la temperatura superficial, diaria y semanal en ambas estaciones, de los materiales con respecto de la muestra control de concreto. ....	42
Tabla 6. Análisis ANOVA de grupos de los materiales.....	44
Tabla 7. Características de las colonias seleccionadas.....	47
Tabla 8. Población y número de encuestas de las colonias de la zona de muestreo .....	48
Tabla 9. Variables de la encuesta .....	57
Tabla 10. Variables usadas en la construcción de los modelos de la DAP .....	58
Tabla 11. Variables a utilizar en la ecuación de la DAA.....	59
Tabla 12. Proporciones en la preparación de los bloques de concreto .....	78
Tabla 13. Valores de la temperatura superficial de las muestras.. .....	84
Tabla 14. Valores de la temperatura superficial de las muestras. ....	84
Tabla 15 Resultados del análisis ANOVA de grupos, mediante el software Minitab v2018. ....	86
Tabla 16. Análisis por horario.....	87
Tabla 17. Estadística de la encuesta.....	88

## **RESUMEN**

En las ciudades se presenta la mayor parte de las actividades económicas del mundo y de manera paralela donde se presentan la mayor parte de los riesgos climáticos emergentes. La isla de calor urbana es uno de esos fenómenos climáticos que ha servido como indicador de la sostenibilidad de una ciudad, ya que se define como el aumento de la temperatura del aire de una zona debido a causas tales como la cubierta urbana, la contaminación atmosférica y la ausencia de áreas verdes. Dicho fenómeno en la Ciudad de México ha ido incrementando hasta tener diferencias de temperatura máximas de hasta 15°C entre la zona centro y la zona rural aledaña. Dado lo anterior, el presente proyecto busca una forma de coadyuvar a la mitigación del efecto de dicho fenómeno desde la parte de la cubierta urbana. La propuesta se basa en un estudio integral sobre materiales de uso en azoteas de edificios habitacionales (impermeabilizantes, superficies frescas y azoteas verdes) que reduzcan la temperatura interior y exterior de las mismas y, de esta manera, su contribución hacia la temperatura del ambiente sea menor. Para este análisis se emplea una metodología mixta con el fin de desarrollar tres indicadores que nos brinden información para poder contribuir a la formación de una política pública respecto de la isla de calor urbana en la Ciudad de México y que involucre a la sociedad, gobierno y academia. Los indicadores consisten en: a) la temperatura superficial de materiales de azotea, b) el porcentaje de interés de la sociedad en la implementación de algún material propuesto y c) la valoración económica del confort térmico. Para el primer indicador se realizó la medición de la temperatura superficial de los materiales mediante una cámara termográfica, en tanto que para los otros dos indicadores se realizaron encuestas en cuatro colonias de la Ciudad de México (Doctores, Obrera, Narvarte Oriente y Narvarte Poniente) para obtener el porcentaje de participación y la valoración del confort térmico mediante el método de valoración contingente. Los resultados indican que los materiales blancos (impermeabilizantes y superficie fresca) y la azotea verde tienen el mejor desempeño para reflejar la radiación solar, lo que sirvió para proponerlos en la encuesta como alternativas de uso. De la información de las encuestas se obtuvo que un 97% de la población muestra un interés de participar en la implementación de alguno de estos materiales, siendo el más popular el impermeabilizante blanco, mientras que la valoración del confort térmico en términos monetarios para la gente se encuentra en 324 pesos al año por persona. Dichos indicadores proporcionan información puntual para poder contribuir a una política pública en este tema o reforzar alguna ya implementada, como el caso del Programa de naturación de azoteas de la Ciudad de México, el cual es desconocido para la mayoría de la población.

## I. INTRODUCCIÓN

El futuro de las ciudades ha generado un intenso debate sobre los procesos que se presentarán en torno a ellas, sean ambientales, socio culturales, territoriales, demográficos y económicos, así como su impacto sobre la calidad de vida de las personas, especialmente si se considera el vertiginoso avance de la urbanización en casi todas las regiones del mundo (Izunsa, 2010) y teniendo en cuenta que las proyecciones para el 2050 indican que la población urbana podrían representar entre el 64% y 69% de la población total mundial (Naciones Unidas, 2011). Dado que en las ciudades se presenta la mayor parte de las actividades económicas del mundo, éstas son las zonas donde se consume la mayor cantidad de energía y donde se emiten la mayor cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) (ONU, 2015), y, de manera paralela, donde se presentan la mayor parte de los riesgos climáticos emergentes.

La Ciudad de México ha sido históricamente el centro político, económico y administrativo del país, lo que ha ocasionado grandes flujos de población hacia ésta, derivando en un fenómeno de migración que constituye a la actual Zona Metropolitana del Valle de México. Este crecimiento poblacional descontrolado ha propiciado problemas ambientales y sociales, y, de continuar con éstos, los escenarios que los investigadores plantean han predicho que la actividad antrópica en el ecosistema urbano será insostenible, lo que dará como resultado el eventual cambio en el microclima de la cuenca del Valle de México con el agravamiento de fenómenos tales como la reducción de la calidad del aire y el incremento de la presencia de la isla de calor (Mohar y Galindo, 2016).

Este último fenómeno, la isla de calor urbana (ICU), definido como el aumento de la temperatura del aire en áreas urbanas en comparación con sus alrededores, es un problema que se ha venido presentando de manera más preocupante en ciudades de todo el mundo, producto de la urbanización del medio, y que se ha considerado recientemente por muchos investigadores como un indicador de sostenibilidad urbana, dado que las causas que lo provocan (cubierta urbana, morfología urbana, uso de suelo, contaminación atmosférica y actividades antrópicas, principalmente) son representativas del proceso de urbanización y del impacto en el ambiente y calidad de vida de la población. La Ciudad de México no ha sido inmune a este problema, la cual ha presenciado el incremento constante de la isla de calor a la par de la urbanización que ha sufrido; estudios de los años 80's y 90's mostraban ya una diferencia de 6°C entre el centro histórico y la zona rural (Jauregui y Luyando, 1998), mientras que en trabajos más recientes y mediante plataformas de información climática se han encontrado diferencias de temperatura máxima de entre 10°C y 15°C (Ballinas, 2011; UNIATMOS, 2015; RAMA, 2017). La Ciudad de México tiene una elevación de aproximadamente 2250 metros sobre el nivel del mar, está ubicada en los 99° 08'W y 19° 26'N y está rodeada por altas montañas, presenta además características tropicales, lluvias en verano y clima templado

en invierno, lo que significa que el clima local es fácilmente influenciado por las montañas y la urbanización.

La isla de calor urbana en la Ciudad de México representa y ejemplifica uno de los llamados problemas complejos (*wicked problems*) en la sostenibilidad, es decir, un problema sin una causa clara, que tiene una red de actores involucrados con distintas visiones y que no tiene una linealidad en el proceso de solución (APS, 2007). Dicho lo anterior, la construcción de la política pública debe abordar procesos vinculantes entre todos los actores y todas las visiones involucradas, y no sólo basarse en la imposición (proceso *top down*), la cual reduce de manera importante el impacto de la misma. La forma en cómo se construye la política ecológica en la Ciudad de México se resume, en su mayoría, en una imposición de parte de organismos institucionales respaldados en ocasiones por la academia, siendo el factor sociedad excluido en la formulación y solamente consultado para dar legitimidad a dicho proceso (Olvera, 2009; Sánchez, 2004). Son casi inexistentes los procesos transdisciplinarios de construcción de la política ecológica, no solo en la Ciudad de México sino en todo el país, lo cual es preocupante y que debe llevar a repensar la forma actual de gobernanza.

El presente trabajo aborda una propuesta de mitigación del efecto de la isla de calor urbana para el caso de la Ciudad de México; tomando como alternativa el uso de materiales para azotea (impermeabilizantes, superficies frescas y azoteas verdes) en edificios de tipo habitacional que propicien una disminución en la emisión de “calor” (radiación infrarroja) hacia la atmósfera y, de esta manera, se reduzca la temperatura del microclima urbano. En la envolvente de los edificios, la azotea es la parte que mantiene contacto con la radiación solar por más tiempo y la recibe con mayor intensidad, además de que, en general, es un espacio poco aprovechado, por lo que se convierte en un blanco de acción adecuado. La investigación desarrolla un estudio integral desde la perspectiva de sostenibilidad mediante tres indicadores creados a partir de metodologías cualitativas y cuantitativas, tratando de abordar a varios actores involucrados como lo son la sociedad, academia y gobierno, para generar alternativas y recomendaciones al problema planteado en un contexto de vinculación colaborativa. Los resultados nos permitirán conocer aspectos básicos en el contexto de este problema socio ambiental para poder involucrar en gran escala a la sociedad, la cual es el objetivo principal.

Estos tres indicadores van de la mano vinculándose con la información que presentan, generando el conocimiento para determinar las recomendaciones de una política en esta materia. El primer indicador involucra una comparativa de materiales de uso común en azotea y de algunos propuestos con una utilidad específica para la reducción de la temperatura de superficies, y nos indica la temperatura superficial (en términos porcentuales) que presentan en condiciones normales de asoleamiento. Para determinar dicho indicador se les realizaron termografías mediante una cámara termográfica, además, se les hicieron mediciones de emitancia térmica y reflectancia solar para obtener

el índice de reflectancia solar (IRS) que indica la eficiencia del material para “rechazar” la radiación solar y evitar la absorción de la misma, así como de la emisión de calor hacia la atmósfera. Dicho análisis fue realizado para comprobar las propiedades ya conocidas de estos materiales y observar su desempeño en las condiciones de intemperismo. La información recabada sirvió para, de una forma más certera, incluir dichos materiales idóneos para reducir la aportación de temperatura superficial de las azoteas y que fueron utilizados en el desarrollo del siguiente indicador. El segundo indicador consiste en el porcentaje de interés ciudadano en la implementación en vivienda de algún material propuesto de los que se seleccionaron del primer indicador, y se determinó mediante una encuesta aplicada a una muestra poblacional en las colonias Doctores, Obrera, Narvarte Oriente y Narvarte Poniente en la Ciudad de México; a través de esta encuesta se preguntó a la población acerca de su disposición a usar alguno de los materiales propuestos del análisis anterior, aunado a varias preguntas en torno a una posible política pública para la mitigación de la ICU. Dicha encuesta contiene interrogantes para desarrollar el tercer indicador consistente en la valoración económica de confort térmico, un servicio ambiental poco estudiado que relaciona el problema de la ICU con la percepción social del mismo. Mediante la metodología de valoración contingente se buscó obtener un valor monetario de parte de la población sobre este servicio ambiental en la zona de estudio, utilizando la encuesta del indicador anterior. Finalmente, en la sección de discusión y recomendaciones, se hace un análisis de los resultados obtenidos con respecto del “Programa de naturación de azoteas de la Ciudad de México”, una política ya implementada con características de interés a este proyecto y de donde nace la propuesta de estos indicadores.

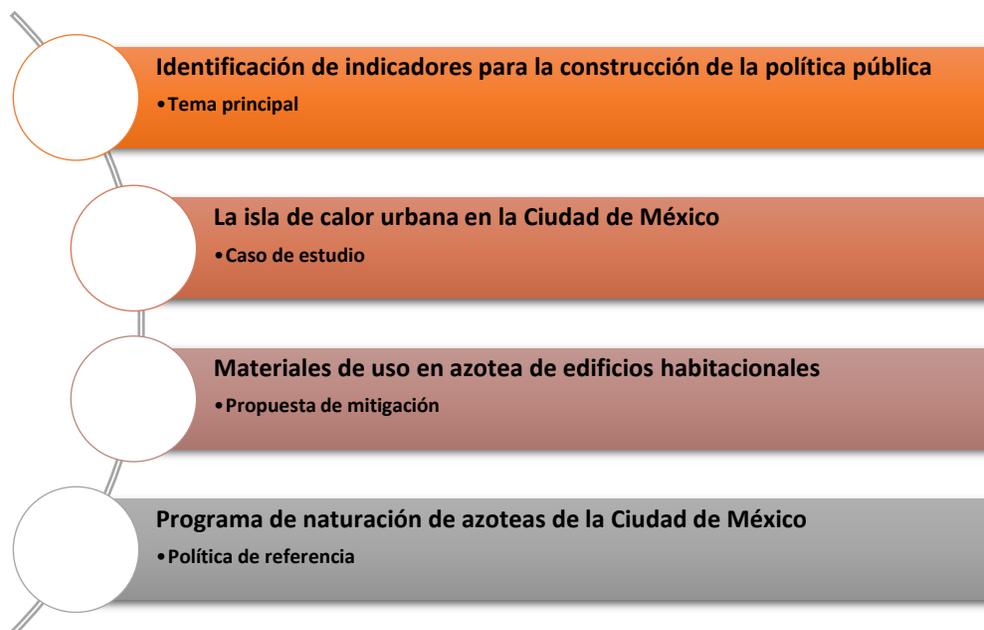


Figura 1. Esquema general del proyecto de investigación

## I.1 Planteamiento del problema

El estudio de la isla de calor se ha desarrollado desde ya un par de siglos atrás, pero más propiamente se han elaborado estudios de este fenómeno en las principales ciudades del mundo desde los años 60's y 70's (Martínez, 2014), siendo el Dr. Ernesto Jauregui, pionero en el estudio del mencionado fenómeno en la Ciudad de México desde los años setentas, donde indagó en aspectos del microclima y las primeras identificaciones de la isla de calor en esta ciudad. El Dr. Jauregui determinó una diferencia de temperatura promedio entre el centro histórico y el área rural que podía alcanzar hasta 6°C (Jauregui y Luyando, 1998), y se ha mantenido relativamente constante. En trabajos más recientes y mediante plataformas de información climatológica, la ICU en cuestión se ha establecido con diferencias de temperatura máximas de entre 10°C y 15°C (Ballinas, 2011; UNIATMOS, 2015, RAMA, 2018), lo cual nos indica una creciente temperatura promedio.

La ICU es un fenómeno donde la proporcionalidad de las diferentes causas (cobertura urbana, contaminación atmosférica, actividad antrópica, áreas verdes) varía de acuerdo a las características locales, sin embargo, es evidente la relación positiva de la urbanización con el aumento de intensidad y distribución de la isla. En la Zona Metropolitana del Valle de México, de la cual forma parte esta ciudad, se ha presentado un aumento de la mancha urbana pasando de 62 mil hectáreas a 236 mil hectáreas de 1980 al 2017 (ONU HABITAT, 2018), respectivamente; lo que en la Ciudad de México significa una invasión de las zonas verdes, en su mayoría del suelo de conservación. Mediante software de información geográfica se puede detectar y observar que la superficie urbanizada de la Ciudad de México registra valores bajos de albedo debido a que se utilizan materiales grises y opacos (concreto, pavimentos, recubrimientos, etc.), mientras que respecto del uso de suelo habitacional en las azoteas se implementan rojos y negros, o simplemente se deja el concreto. Derivado de lo anterior se tiene que el gasto energético en el enfriamiento de las edificaciones tiende a incrementar y, por lo tanto, la emisión de gases de efecto invernadero aumenta también.

La presencia de este fenómeno puede propiciar consecuencias negativas en el confort térmico humano y da origen al estrés térmico, lo que conlleva a un detrimento de la productividad y puede provocar problemas de salud. Lo anterior se agrava dado que no se tiene legislación específica que mitigue este problema, es decir, para contrarrestar las causas se tiene normatividad que de manera indirecta podrían contribuir a la reducción de la isla de calor, como lo es la correspondiente a la contaminación atmosférica, la cual se aplica de forma general a cada fuente de emisión. Se cuenta también con las distintas certificaciones y normas mexicanas en edificaciones "sustentables" (Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables, Certificación LEED, NMX-AA-164-SCF1-2013, NMX-AA-171-SCFI-2014, Programa de Hipoteca Verde, por mencionar algunas) (SEDEMA, 2018), las cuales, sin embargo, aún son voluntarias y con parámetros de evaluación que se

siguen estudiando; por último, se encuentran también los planes de ordenamiento territorial, los cuales han dejado mucho que desear dado que le han abierto las puertas a la urbanización descontrolada, depredando recursos naturales y modificando la morfología de la ciudad en detrimento de su sostenibilidad.

Aunado a lo anterior, el tema de la participación ciudadana en la formulación de la política pública tiene un rezago muy grande no solo en la Ciudad de México, sino en todo el país, a pesar de que este tema se planteó desde la cumbre de Río de 1992. La participación ciudadana en México, aunque muy poca aun, es determinante para la toma de decisiones en temas ambientales, y los estudios de opinión, aunque son una técnica cualitativa básica, pueden ser un buen aliado (Palos, 2008). Si bien es cierto que al día de hoy ya se cuenta con instrumentos normativos que abren las puertas y otorgan un papel importante a la participación de la población en los distintos conflictos socio ambientales, éstos no han sido suficientes y la construcción de la política sigue predominando de manera vertical partiendo del gobierno y, en todo caso, de la academia. Los casos de participación ciudadana recientes en la política pública hacen referencia a entidades tales como los consejos asesores en las Áreas Naturales Protegidas, consejos consultivos (Consejo Consultivo para el Desarrollo Sustentable, por ejemplo), o de instituciones como SEDEMA o PAOT, entre otras, que han tratado de abordar espacios y herramientas para que la ciudadanía sea escuchada (García, 2014). Sin embargo, los organismos antes mencionados han servido más para “reparar” que para “construir”, es decir, que la población acude a ellas para la resolución de conflictos más que para fomentar la elaboración conjunta de nueva política, y en general se abordan temáticas de consulta informativa para legitimar ciertos procesos más no como forma constructiva.

## 1.2 Antecedentes

Los estudios de la isla de calor urbana tienen sus primeros precedentes desde el siglo XV en países como Austria, en el siglo XIX, por ejemplo, ya se registraban estudios en Londres y Francia, donde mediante el uso de termómetros en distintas partes de la ciudad y alrededores se detectaron diferencias de temperatura de hasta 2°C (Landsberg, 1981; Ballinas, 2011). Sin embargo, las investigaciones de este fenómeno se han desarrollado más propiamente a partir de los años 60's del siglo pasado, algunos de los autores pioneros y más importantes son los siguientes:

Tabla 1. Autores y años de las primeras investigaciones de la isla de calor urbana en el mundo. Fuente: Martínez, 2014.

Continente	Ciudad	Autor	Año
EUROPA	París	Dettwiller	1970
	Plymouth	Millward	1976
	Glasgow	Hartley	1977
	Roma	Colacino	1978-1982
	Utrecht	Van Duk	1980
	Cracovia	Morawska y Cebulak	1981
	Viena	Bernhofer	1984
NORTEAMÉRICA	Nueva York	Bornstein	1968-1972
	Montreal	Oke, East y Maxwell	1971 y 1975
	Ciudad de México	Jáuregui	1973
SUDAMÉRICA	Río de Janeiro	Gallego	1972
	Sao Paulo	Lombardo	1985
ASIA	Hiroshima	Shitara	1957
		Fukuoka y Nobuyuki	1980
	Tokyo	Kayane	1964
		Sasakura	1965
		Nishizawa	1979
	Delhi	Bahl y Padmanabharmurty	1979 y 1982
AFRICA	Nairobi	Okoola	1979

Dichos estudios en general ya concluían en que la isla de calor está presente en todas las ciudades, no importa el tamaño de éstas ni de su localización (Capelli de Steffens; et al., 2005), es un fenómeno que se encuentra en todas las áreas urbanas del mundo debido precisamente a los procesos de transformación del medio que la generan, es decir, el hecho de que en un lugar en particular se eleve la temperatura, es una manifestación de que ha sido urbanizada (Landsberg, 1981).

En la actualidad, la mayoría de los estudios sobre ICU han tenido lugar en ciudades densamente pobladas, ubicadas en climas templados y subtropicales (Arnfield, 2003). En términos generales, las investigaciones realizadas sobre el tema se han enfocado principalmente a la identificación y análisis del comportamiento térmico dentro de los espacios urbanos, así como al establecimiento de estrategias de mitigación. El desarrollo de la tecnología ha permitido el uso de diferentes tipos de software e instrumentos a nivel satelital para obtener simulaciones e imágenes de las características de este fenómeno en distintos lapsos de espacio y tiempo. Para determinar la distribución del calor superficial, es decir, el que se produce por fachadas, cubiertas y suelos, se utilizan técnicas de teledetección, donde satélites captan imágenes LANDSAT y AVHRR, las cuales son procesadas para obtener la temperatura radiante de las superficies urbanas (Tzoni, 2015). Mientras que para la detección de la temperatura del aire en el nivel de las construcciones (capa de dosel urbano) se utilizan redes de observación meteorológica o instrumentos convencionales en recorridos móviles (Tzoni, 2015).

Dado que las causas que propician este fenómeno se deben principalmente a las características morfológicas y materiales, y las actividades que se desarrollan en la ciudad, la literatura en general converge en que las principales estrategias para mitigar los efectos de la ICU se basan en (Yang, et al., 2018; Villanueva, et al. 2012; Ballinas y Barradas, 2016; Barradas, 1991), las cuales se describen a continuación:

- Incremento de las áreas de evapotranspiración: Implica el aumento de la evapotranspiración en el entorno urbano. Esto se puede lograr mediante el uso intensivo de zonas verdes urbanas como los parques urbanos y las azoteas verdes y también mediante el uso de pavimentos impermeables (Yang, et al., 2018; Villanueva, et al. 2012; Ballinas y Barradas, 2016; Barradas, 1991).
- Aumento del índice de Reflectancia Solar (ISR): Implica el uso de tecnologías para “rechazar” la radiación solar en el entorno urbano. Esto se logra principalmente mediante el uso de materiales con alta reflectancia solar (y alta emisión térmica) para mantener las superficies frescas. Estos materiales, conocidos como superficies frescas (*cool roofs*), se pueden utilizar en la fachada, los techos y los pavimentos del edificio. El uso de materiales “fríos” disminuye la temperatura de la superficie de las áreas urbanas y minimiza la liberación correspondiente de calor sensible a la atmósfera debido a su reflectancia solar (Yang, et al., 2018).

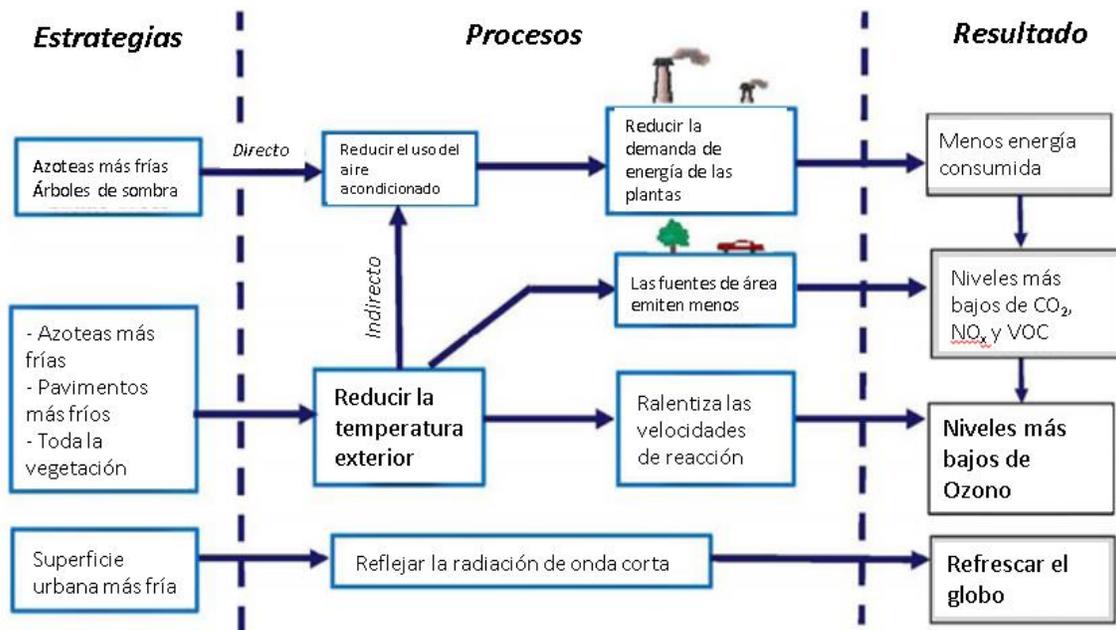


Figura 2. Efectos de las medidas de mitigación de la ICU. Los techos frescos y los árboles reducen el uso de energía del aire acondicionado, lo que lleva a una menor demanda de energía, menor consumo de combustible, menos contaminantes del aire y menores emisiones de gases de efecto invernadero. Los techos frescos, el pavimento fresco y la vegetación urbana refrescan la ciudad y reducen la formación de smog. Los techos y los pavimentos frescos también reflejan la radiación de onda corta hacia el espacio e inducen un forzamiento radiativo negativo. Fuente: (Yang, et al., 2018).

Respecto de la primera estrategia, con la implementación adecuada de la vegetación urbana, es posible mitigar la ICU debido al potencial de enfriamiento dado por la transpiración, ya que la liberación de vapor de agua al aire circundante aumenta la humedad del aire y disminuye la temperatura del aire (Barradas, 1991, 2000; Susca et al., 2011; Kornaska et al., 2015, Ballinas y Barradas, 2016), además de que la vegetación, y en particular los árboles, interceptan la energía solar, y su sombra reduce la temperatura de las superficies inferiores (Wnag y Akbari, 2016). Desarrollar una estructura de vegetación urbana adecuada para mitigar la ICU requiere (i) determinar el comportamiento de transpiración de cada especie de planta involucrada y sus características estructurales y (ii) desarrollar un modelo teórico para articular escenarios de mitigación que elijan diferentes especies de plantas y modifiquen las condiciones ambientales (Ballinas, 2016).

Dentro de las opciones para aumentar las áreas verdes de la ciudad se encuentra la técnica de las azoteas verdes, la cual ha ganado relevancia en las últimas décadas, ya que reducen el consumo de energía de los edificios al tiempo que mejora el microclima del espacio urbano donde se encuentra el edificio. Las azoteas verdes son espacios que están cubiertos total o parcialmente con vegetación, están formados por diversas capas que comprenden la impermeabilización, barrera anti-raíz, drenaje, sustrato, vegetación y drenaje pluvial, capa filtrante y membrana geo-textil (Sahagun-Valenzuela, et al., 2017) y se clasifican en dos tipos principales: intensivos (que pueden incluir pequeños árboles y arbustos) y extensivos (que están cubiertos por una delgada capa de vegetación). Numerosos estudios han analizado el rendimiento de los techos verdes que muestran sus importantes beneficios energéticos, así como su contribución al potencial de mitigación del calor urbano, siendo muy promovido en países como Alemania, Suecia, Estados Unidos, Japón y Singapur (Zhang, 2015; Gómez, et al., 2018).

La azotea verde puede almacenar cierta cantidad de agua de lluvia en las canaletas de su estructura, sirviendo como recolector de agua de lluvia; tiene una función aislante y termorreguladora, por lo que en las zonas con clima frío mantiene los espacios con temperaturas templadas al guardar el calor que se genera en la edificación, ya que disminuye el flujo de calor al exterior de la construcción, mientras que en climas calientes ayuda a mantener temperaturas templadas, puesto que provoca el efecto contrario al no dejar pasar el calor generado por el asoleamiento de la superficie horizontal, la cual es la que mayor temperatura gana en verano, y por la evaporación del agua en el sustrato; esto quiere decir que ayuda a reducir las diferencias de las temperaturas máximas y mínimas de un modo natural (Minke, 2004). Los beneficios de la implementación de un techo verde son múltiples, lo que compensa el elevado precio de su instalación, el cual se puede recuperar en la disminución del gasto energético del edificio (Niu, et al., 2010, Trujillo, et al., 2015).

La segunda opción abarca los materiales con los que cuenta la envolvente urbana y sus respectivas propiedades, hablando puntualmente de los recubrimientos y no de los

distintos tipos de estructura. El rendimiento térmico de los materiales está determinado principalmente por sus características ópticas y térmicas. El albedo y emisividad térmica, son los factores más importantes (Doulos; Santamouris; Livada, 2004). La incorporación de superficies frescas (con alta reflectancia solar y emitancia térmica) en las envolventes de los edificios resulta una técnica pasiva eficiente para disminuir la demanda de energía para refrigerar, las temperaturas máximas del interior en verano pueden reducirse hasta 2°C, y las cargas de refrigeración pueden reducirse entre un 10% y un 40% después de la instalación de techos reflectantes, según las condiciones climáticas y las características del edificio (Santamouris, 2014). Mejorando el microclima de las zonas urbanas mediante la reducción de temperaturas superficiales y la del aire ambiente (Santamouris; Synnefa; Karlessiet, 2011).

Las superficies frescas se caracterizan por:

(a) alta reflectancia solar ( $\hat{\alpha}$ ): la reflectancia solar o albedo, mide la capacidad de un material de reflejar la radiación solar incidente, considerando la reflectancia hemisférica de la radiación integrada en el espectro solar; incluyendo reflexión especular y difusa. Es medida en una escala de 0 a 1 (o 0-100%); y

(b) alta emisión infrarroja ( $\epsilon$ ): la emitancia infrarroja mide la capacidad de una superficie para liberar, a través de radiación infrarroja, la radiación absorbida, en relación con un cuerpo negro de igual temperatura (Alchapar, 2012).

Si una superficie fresca se aplica en una envolvente se traduce en una disminución de las cargas de calor que penetran hacia el interior del edificio y al entorno urbano. Por lo tanto, estos materiales contribuyen con la reducción de la temperatura ambiente, ya que la intensidad convectiva de calor desde una superficie más fría es más baja (Alchapar, 2012).

El uso de las antes mencionadas alternativas de mitigación de la isla de calor ha sido estudiado en numerosos casos de investigación, donde, ya sea mediante modelos matemáticos del comportamiento de especies vegetales (Ballinas, 2016), o mediante software de simulación del desempeño térmico de los materiales (EnviMet, EnergyPlus, por ejemplo) (Yang, 2018), se ha demostrado su efectividad en la reducción de la temperatura de sus respectivas zonas de estudio. Jusuf y Wong (2009), predicen la temperatura del aire en la ciudad de Singapur mediante un modelo que relaciona: la temperatura (mínima, promedio y máxima), la radiación solar diaria, el porcentaje de superficies pavimentadas, la altura promedio de construcción, la superficie total de muros, la superficie de área verde, así como el factor de apertura de cielo y el albedo promedio de superficie. Otras investigaciones mediante modelos de investigación y pronóstico del clima (Morini, et al., 2015) obtienen que las temperaturas máximas en el área urbana pueden reducirse en 1°C durante el día y en aproximadamente 2°C durante la

noche mediante el aumento de albedo en el área de interés, por lo que podría representar una oportunidad para disminuir el efecto ICU y sus consecuencias.

En el trabajo de Yang (2015) se muestra que el potencial de mitigación de los materiales reflectantes depende de un conjunto de factores, entre los que se incluyen las características de los edificios, el entorno urbano, las condiciones meteorológicas y geográficas, entre otros. Al igual que en otros estudios, se concluye que los planificadores de la ciudad y los responsables de la formulación de políticas deben tomar precauciones para el despliegue a gran escala de materiales reflectantes antes de que se comprendan mejor sus impactos ambientales, especialmente en los hidroclimas regionales. En general, se recomienda que la estrategia óptima para ICU se debe determinar ciudad por ciudad, en lugar de adoptar una estrategia de "una solución única para todos".

La inclusión de estas medidas de mitigación en la legislación ambiental aún se encuentra en desarrollo, pocas han sido las ciudades que las han incorporado. En Dinamarca, por ejemplo, luego de haber sido sede de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático COP15 en 2009, la ciudad de Copenhague intensificó el enfoque de los techos verdes estableciendo un diseño urbano con esta tecnología en el Plan de Clima de la Ciudad de Copenhague, haciendo su uso obligatorio en construcciones civiles de edificios de gobierno, hasta la escala municipal. El uso de la azotea verde no solo corresponde a la mitigación de la isla de calor, sino que también esta direccionada hacia otras líneas del plan de sostenibilidad de dicha ciudad, como la captura de agua y la mitigación de emisiones atmosféricas (Baykal, 2018).

En la ciudad de Toronto, a finales de 2010, se estableció como requisito obligatorio a las construcciones con más de 2000 m<sup>2</sup> de superficie total la implementación de cobertura de techo verde de entre el 20 y 60% del techo disponible (City of Toronto, 2010). En Francia, en el año 2015, el senado declaró mediante una nueva ley que los tejados en edificios nuevos construidos en zonas comerciales deben estar parcialmente cubiertos con plantas o paneles solares. Algunas otras ciudades como Sydney, Berlín, Chicago, Portland y en países como China, Chile y Argentina (Ley 4428 Ley de Techos y Terrazas Verdes), se han creado normativas para la implementación de techos verdes, no de forma obligatoria, pero si con beneficios económicos (Baykal, 2018).

En la ciudad de Denver, E.U.A., se tenía implementada hasta octubre de 2018 la ley de edificios verdes, que obligaba a implementar un porcentaje de la azotea en cobertura verde, sin embargo, a finales de ese mismo año, se cambió el objetivo principal de esta ley, por lo que ahora en lugar de *green roof*, se solicitará *cool roof*, es decir, el porcentaje que ahora deberán implementar los edificios nuevos será de superficie fresca y no de azotea verde. Mientras que en Los Ángeles se han implementado programas para pintar los pavimentos de colores más claros, a fin de reducir la temperatura superficial de los mismos y del ambiente (Denver Revised Municipal Code, 2018).

En la Ciudad de México se cuenta desde el 2007 con el Programa de naturación de azoteas, el cual consiste en un beneficio fiscal del 10% en la reducción del impuesto predial a las personas físicas que instalen un sistema de naturación de azoteas, descrito en el Código Fiscal del Distrito Federal (artículo 296 BIS, fracción II). Para que se pueda otorgar este beneficio es necesario cumplir con la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007, la cual establece los requisitos necesarios para la validación de la superficie naturada, misma que debe abarcar por lo menos un tercio de la azotea, luego de la instalación se debe avisar a la autoridad ambiental para hacer la revisión correspondiente y obtener el descuento. Este programa al no ser obligatorio no resultó de la mejor manera, ya que las solicitudes para obtener el descuento de parte de la población prácticamente son de cero desde su implementación, lo que indica que necesita mejorarse para lograr una aceptación adecuada, lo cual se aborda en la sección de discusión de esta investigación.

La aplicación de medidas para contrarrestar o mitigar el efecto de la ICU puede depender de muchos factores, algunos de los cuales se pueden incorporar a las estrategias de planificación, mientras que otros se escapan del control del uso y geometría de los espacios. En general en los procesos de planificación el proyectista tiene que considerar los diferentes factores y promover un desarrollo compatible con el medio, que promueva la eficiencia y el ahorro energético, además de la funcionalidad y la salubridad para los ciudadanos.

En el contexto de la Ciudad de México, tal como se ha constatado, no todas las estrategias en materia de mitigación y adaptación han tenido los resultados esperados o algunas ni siquiera se han realizado. Entre esos obstáculos se encuentra: 1) la falta de participación y concientización de la sociedad sobre temas ambientales; 2) la confusión y los malentendidos sobre los objetivos, procesos y resultados de estas acciones entre las delegaciones políticas y secretarías de gobierno y 3) la carencia de coordinación y colaboración entre diversos sectores. De igual forma, la apatía de la población para conocer las problemáticas del clima en la ciudad, sus impactos y cómo podrían contribuir para hacerle frente han dificultado la implementación exitosa de estrategias de mitigación y adaptación (INEGI, 2015).

Para poder involucrar a la sociedad se ha recurrido a diferentes herramientas de participación ciudadana, como por ejemplo la consulta pública, que es uno de los principales mecanismos de participación en asuntos ambientales pero que generalmente tiene el objetivo de informar y legitimar decisiones, lo cual sigue siendo insuficiente en la democratización verdadera de la participación. Entonces, tomando como referencia la escalera de participación de Arnstein (1969), el peldaño del que se debería partir para decir que se forma parte como tal de un proceso es el que involucra una participación mixta y mediadora entre gobierno y sociedad (peldaño 6: asociación), donde el poder es redistribuido a través de las negociaciones entre los ciudadanos “olvidados” y los

poseedores del poder, dicha participación puede ser más efectiva si existen organizaciones sociales en las escalas más pequeñas (de barrio, por ejemplo), a partir de ahí el camino es claro, el de empoderar más a la sociedad en un sentido de fomentar los hábitos de sustentabilidad como forma de cultura.

Casos en específico en la Ciudad de México que han implementado de manera oficial la participación ciudadana en alguna de sus modalidades fueron las consultas a partir del año 2000, donde se realizó la primera para el programa de ordenamiento ecológico del Distrito Federal. El segundo precedente se remonta con la primera Consulta ciudadana relativa a Políticas y Proyectos ambientales para el Distrito Federal, del año 2007, la cual se publicó en la gaceta oficial del Distrito Federal, esta consulta llamada Primer consulta verde fue el espacio donde los ciudadanos participantes aprobaron la construcción de 500 pozos de absorción de agua pluvial, cuatro plantas de tratamiento y dos lagunas de regulación, así como la aprobación de la construcción de la línea 12 del sistema de transporte colectivo metro. El porcentaje de participación fue muy bajo, 3.8% de una lista nominal de 7, 199, 000 electores, sin embargo, se sentaron las bases de la participación social. Uno de los casos más recientes es el de la consulta ciudadana del proyecto “Corredor Cultural Chapultepec-Zona Rosa”, el cual tras varias denuncias fue convocado a consulta mediante la gaceta oficial el 18 de noviembre de 2015, la cual fue planeada solo para los habitantes con domicilio en la delegación Cuauhtémoc, teniendo como resultado la negación del proyecto (Rodríguez, 2018).

Los casos antes mencionados han sido llevados a cabo mediante el instrumento de la consulta, que al final sigue siendo solo informativa para decidir el aval o no de un proyecto, sin embargo, hace falta enfocar la participación a la construcción de la política, desde la difusión de la información, la colaboración y construcción hasta la toma de decisiones, con todos los actores involucrados. La forma en que se crea la política ambiental debe voltear a este tipo de enfoques, de colaboración y vinculación, más que de consulta informativa hacia la población.

### 1.3 Justificación

La ciencia de la sostenibilidad está surgiendo como un esfuerzo transdisciplinario dinámico y en evolución, que hace énfasis entre la actividad humana y el medio ambiente (Clark y Dickson, 2003); es por eso que también tiene el deber de propiciar espacios para diferentes filosofías y metodologías, siempre compartiendo la idea de que una transición de las estructuras sociales, las instituciones y los modos de regulación hacia la sostenibilidad es necesaria y urgente (Spangenberg, 2011).

Dicho lo anterior, se aborda el caso de estudio de la isla de calor urbana (ICU) en la Ciudad de México, un problema socio ambiental que ha tomado una gran relevancia en las últimas décadas y que se ha ido agravando, proponiendo una alternativa de mitigación dirigida a la sociedad civil, pero con la colaboración de academia y gobierno. Ésta consiste en el uso de ciertos materiales en azoteas de edificios habitacionales de esta ciudad que reduzcan la aportación de “calor” y de esta manera baje la temperatura del microclima urbano que propicia este fenómeno. La metodología usada es mixta, incorporando herramientas cuantitativas y cualitativas, e involucrando la visión de sociedad y academia, principalmente, mediante el desarrollo de tres indicadores desde la sostenibilidad.

En la Ciudad de México no hay normatividad específica para este fenómeno, por lo que la mitigación se puede realizar indirectamente con normatividad de otros temas, como la que hay de emisiones atmosféricas, ordenamiento territorial, eficiencia energética, entre otras; por lo que es importante atender de manera oficial este problema. Aunado a lo anterior, tampoco hay un porcentaje de participación ciudadana suficiente en la toma de decisiones ambientales, lo que involucra una apatía de la población, pero también una falla en los canales de comunicación de las entidades ambientales, es decir, falta poner más atención en la difusión de la información para aumentar el alcance en la sociedad; en términos simples, hay una desconexión muy grande entre gobierno y sociedad para la elaboración conjunta de la política pública y en general de la solución de conflictos, lo cual se remite a la comunicación y vinculación.

Es de vital importancia y necesario que en la cultura de los ciudadanos se generen hábitos sostenibles, es decir, que mediante distintas estrategias se proporcionen las herramientas a la sociedad para que puedan generar conciencia de los problemas sostenibles y puedan aportar desde su posición conductas que propicien una mejora en el bienestar individual y colectivo.

Los problemas complejos de la sostenibilidad deben ser atendidos de forma colectiva, es por eso que en este trabajo se realiza una investigación con carácter vinculante, y que, aunque es corto en alcance, trata de realizar un diagnóstico social respecto del fenómeno en cuestión y de desarrollar recomendaciones hacia una política pública.

## 1.4 Hipótesis y objetivos

### Hipótesis

Los materiales propuestos para uso en azoteas en edificios de tipo habitacional (superficies frescas, impermeabilizantes y azoteas verdes), con enfoque de mitigación del efecto de la ICU, pueden ser implementados por la sociedad si ésta cuenta con la información suficiente sobre ellos y se acompaña con facilidades para la aplicación en una política pública en la Ciudad de México.

### Objetivos

#### General

Elaborar recomendaciones para la construcción de una política ecológica tomando el caso de la isla de calor urbana en la Ciudad de México, vinculando a la sociedad, academia y gobierno, mediante el desarrollo de tres indicadores desde la perspectiva de la sostenibilidad.

#### Objetivos específicos

- Evaluar y comprobar la capacidad de materiales de uso en azotea (impermeabilizantes, superficies frescas, superficies con vegetación) de reflejar la radiación solar mediante una cámara termográfica, para considerarlos como alternativas de mitigación de la ICU.
- Realizar un estudio de percepción social sobre los materiales propuestos mediante la aplicación de encuestas en cuatro colonias de la Ciudad de México (Doctores, Obrera, Narvarte Oriente y Narvarte Poniente).
- Generar un indicador de valoración económica respecto del confort térmico de la población en las cuatro colonias abordadas.
- Generar un diagnóstico respecto de la percepción social acerca del problema y de las alternativas de mitigación del fenómeno de la Isla de Calor Urbana.
- Desarrollar las recomendaciones para la generación de una política pública en materia de mitigación del efecto de la ICU a partir del Programa de naturación de azoteas de la Ciudad de México.

## 1.5 Marco teórico

El uso del término sostenibilidad ha aumentado demasiado en las últimas décadas, tanto en el discurso oficial como en el popular, su asociación principal es con el ambientalismo, pero también se despliega en relación con las esferas económica, social y política; además, la sostenibilidad lleva consigo un marcado sabor científico, específicamente en relación con la ecología (Campbell y Mollica, 2009). Se desarrollarán a continuación los conceptos claves del cual se basa este proyecto, partiendo del concepto de sostenibilidad y las implicaciones en el campo urbano, así como del fenómeno de la isla de calor urbana y la importancia de política pública y su construcción.

### Sostenibilidad y Ciudad

En el año de 1984 se reunió por primera vez la comisión mundial de medio ambiente y desarrollo de la ONU, con la idea de poder construir un futuro más próspero, más justo y más seguro. Pero sería hasta 1987 cuando dicha comisión presenta su informe Nuestro futuro común, conocido también como Informe Brundtland, en honor a la secretaria de las naciones unidas de ese entonces, la activista europea Harlem Brundtland. Es en este trabajo donde el concepto en consideración gana reconocimiento a nivel internacional, clarificando y definiendo que el desarrollo sea sostenible, es decir, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias (ONU, 1987). A partir de este informe muchas son las definiciones que se han generado respecto de la sostenibilidad, así como sus interpretaciones. Otro acercamiento a la definición de la sostenibilidad o sustentabilidad lo da el holandés Peter Nijkamp quién, en abril de 1990 en Washington D. C., presenta el trabajo titulado *Regional sustainable development and natural resources use* traducido como *Desarrollo regional sustentable y el uso de recursos naturales*, donde sintetiza el concepto de sustentabilidad, simbolizando gráficamente la relación entre el crecimiento económico, la equidad social y la sustentabilidad ambiental para dar lugar al desarrollo sustentable, área central del denominado triángulo de Nijkamp (Zarta, 2018).

En las décadas más recientes, el término se ha definido de manera general como la capacidad de mantener un cierto proceso o estado para mejorar la calidad de la vida humana, mientras se vive dentro de la capacidad de carga de los ecosistemas de apoyo, por lo que el concepto de sostenibilidad se ha considerado por muchos autores como una utopía con justificación ética y normativa que describe un estado de economía, sociedad y medio ambiente considerado óptimo (Spangenberg, 2011). La sostenibilidad incorpora una conjunción de ecologismo basado en la ciencia, prudencia colectiva y un grado de compromiso con la justicia social que ha surgido como un factor para tener en cuenta en la política democrática y que afecta los deberes percibidos de los gobiernos, las empresas y los ciudadanos (Campbell y Mollica, 2009). Al tomar este concepto y manejarlo como “desarrollo sostenible”, ha generado fuertes críticas, ya que puede ser contradictorio y

prestarse a la ambigüedad o manipulación por parte de los intereses de algunos grupos sociales (como por ejemplo la industria, el sector privado o empresas con discursos ambivalentes), negando o distorsionando su finalidad (Bermejo, 2014). No obstante, en la actualidad, el concepto del desarrollo sostenible ha permeado muchos estratos socioculturales, políticos e intelectuales, abriendo espacios de intercambio y direccionando acciones hacia la transformación (Provencio y Carabias, 1993).

La sostenibilidad emerge como ciencia, cada vez con más fuerza, dado que se ha hecho necesario responder a las demandas de vinculación entre economía, ciencia, sociedad y ambiente (Kates, et al., 2001; Bautista, 2018), lo hace a través de un abordaje de teoría de sistemas, y abarca las dimensiones social, ambiental y económica (Spangenberg, 2011). Dentro de la larga lista de temas a considerar por la sostenibilidad, las dimensiones políticas y normativas también deben considerarse, debido a la importancia que estas tienen en los procesos sociales y de toma de decisiones (Miller, 2013). La construcción de la sostenibilidad, considerando el enfoque vinculatorio de las diferentes dimensiones y su complejidad y dinamismo, implica además un acuerdo sobre la concepción del desarrollo (Miller, 2013).

Dentro del marco del desarrollo, las ciudades constituyen un fenómeno dinámico y complejo, que es difícil de abordar conceptualmente, se puede definir como los espacios complejos en los que se dan múltiples formas de interacción social que influyen en el desequilibrio y el deterioro de sus ecosistemas (Quiroz, 2013). Las consecuencias e implicaciones de la creciente urbanización intensificarán los daños ambientales dentro y fuera de los límites de las ciudades, ya que para todos los procesos que allí se desarrollan se requieren insumos que se producen en otros lugares, pero también porque éstas desechan residuos dentro y fuera de sus límites. Lo anterior coloca a las ciudades en una situación particular frente a la problemática de cambio climático, donde se reconocen al menos tres aspectos relevantes: emisiones, vulnerabilidad y capacidad de respuesta (Quiroz, 2013).

El término de sostenibilidad urbana todavía es un concepto ambiguo que abarca un gran número de definiciones y posturas diferentes, para Benton-Short y Short (2008) la noción central es el tiempo, donde se considera a la sostenibilidad para un tiempo relativamente largo, mientras que otras posturas la definen como una articulación de prácticas funcionales económicas y ecológicas, con el fin de promover políticas públicas hacia el urbanismo sostenible (National Science Foundation, 2000). Sin embargo, el discurso de la sostenibilidad, en este caso en el campo urbano, una vez más puede distorsionarse, ya que varios elementos del discurso hegemónico de sostenibilidad urbana se pueden identificar como procesos de neoliberalización de la naturaleza y del espacio urbano (Harvey, 2005; Contreras-Escandón, 2017).

La sostenibilidad urbana no solo se trata de calidad ambiental, sino que es el resultado de una compleja interacción entre el entorno ambiental, económico y social (Mella, 2003). La dimensión ambiental es el relativo a los recursos físico-naturales y construidos, la

económica incluye todos los aspectos relativos a la producción, el consumo, la inversión, el comercio exterior y la actividad de los diferentes sectores productivos, mientras que la social tiene que ver con la calidad de vida de los ciudadanos, el acceso a la vivienda y a los servicios, al empleo y a un nivel aceptable de renta (Mella y López, 2015).

La interacción entre estos tres entornos tiene sus efectos positivos (uso eficiente de los recursos, eficiencia energética, economías de escala, generación de empleo, acceso a servicios, dotación de zonas verdes, equipamientos ambientales urbanos) y negativos (agotamiento de recursos, uso extensivo de energía, contaminación, desempleo, pobreza, exclusión, problemas de salud, deterioro del patrimonio, etc.). Las ciudades sostenibles serán aquellas en las que los tres entornos interactúan de manera que la suma de todos los efectos positivos es mayor que la suma de todos los efectos negativos, y que además saben sacar provecho de las ventajas vinculadas a las economías de aglomeración (de personas, recursos, actividades y equipamientos) y mantienen bajo un cierto umbral la capacidad de carga del espacio urbano (Mella y López, 2015).

En resumen, las ciudades sostenibles podrán ser aquellas que garanticen un nivel de bienestar no decreciente a sus pobladores, teniendo una buena estabilidad económica sin comprometer la calidad de vida de sus ciudadanos ni de los demás, a la par de contribuir a reducir el impacto negativo sobre la biosfera dado por los procesos generados por la ciudad y en general la urbanización. Dentro de las implicaciones generadas por la urbanización se encuentran las alteraciones al microclima urbano, de donde se desprenden fenómenos tales como la isla de calor urbana, la cual ha sido considerada ya como un indicador de sostenibilidad de las ciudades.

#### [La isla de calor urbana \(ICU\)](#)

La urbanización, como una transformación drástica del medio ambiente, presenta muchos efectos en el área de asentamiento; uno de estos efectos es la isla de calor urbana (Ballinas y Barradas, 2016). Este fenómeno involucra un aumento de la temperatura del aire en áreas urbanas en comparación con sus alrededores rurales y es más evidente durante las horas nocturnas, cuando las áreas no urbanas se enfrían más rápido porque no se acumula el calor. La forma e intensidad de este fenómeno varía con el tiempo y el espacio, siendo un resultado de las características meteorológicas, geográficas y urbanas (Capelli et al, 2001), el perfil general de una isla de calor urbana se observa en la siguiente figura:

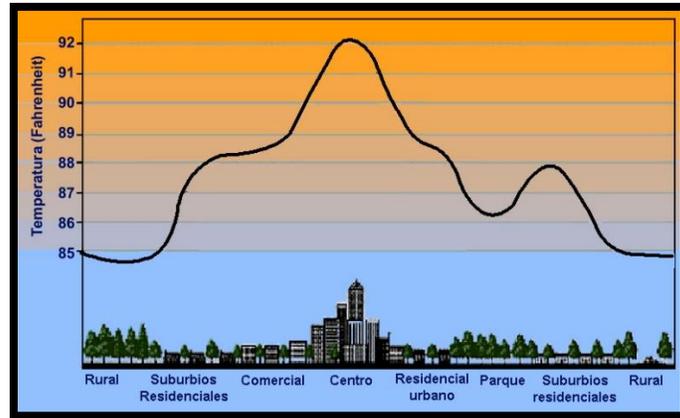


Figura 3. Perfil de la isla de calor. Fuente: Windows to the universe, 2018.

El aumento de temperatura en una ciudad o área urbana se debe a la redistribución y almacenamiento de la energía de radiación solar en la misma (Ballinas, 2011). La diferencia de esta temperatura urbana-rural alcanza con frecuencia los 4°C y puede llegar hasta los 10°C (Gartland, 2008; Oke, 2006; Wong y Yu, 2008). Entre los factores causantes de este fenómeno, la literatura coincide en los siguientes (Martínez, 2014):

- **Cubierta urbana:** Un mayor almacenamiento del calor debido a las propiedades térmicas y caloríficas de los materiales de construcción:
  - a) Albedo: Es el valor que nos indica la relación entre la radiación reflejada y la absorbida (Marija, et al., 2018), por lo cual, un valor alto de albedo indica una capacidad mayor de reflejar la radiación. Las superficies construidas con asfalto y concreto absorben del 75% al 90% de la radiación incidente.
  - b) Capacidad calorífica y conductancia térmica: La capacidad de los materiales de almacenar más calor que las superficies naturales (Wypych y Bowka, 2003), por lo que, al estar expuestos a la radiación, la absorben y la liberan en forma de calor paulatinamente durante la noche, de forma más lenta que las superficies vegetadas.
- **La geometría de las ciudades:** El arreglo de calles y edificios que forman los llamados cañones urbanos propicia que la radiación solar incidente se refleje en paredes, fachadas, tejados y suelos antes de salir a la superficie, además de que parte de ella se queda almacenada, lo que altera el equilibrio del intercambio de calor en el entorno construido al afectar los patrones de sombra y viento y que da como resultado un aumento de la temperatura del aire (Moreno, 1993), también puede cambiar la intensidad y los patrones del flujo de aire en estos cañones urbanos.

- **Cambio de uso de suelo y reducción de área verde:** La sustitución de la superficie natural originaria por un suelo impermeable, asfaltado o pavimentado, provoca la disminución de la evaporación y, por lo tanto, de la humedad del aire, disminuyendo el enfriamiento del ambiente, además de que se truncan otros beneficios de la vegetación tales como la sombra y la intercepción de la radiación por el follaje (Barradas, 2011).
- **Contaminación atmosférica:** La radiación que es emitida del suelo hacia la atmósfera choca con las partículas contaminantes en la atmósfera urbana, por lo que parte de esta radiación es absorbida y emitida de regreso por dicha capa, fomentando un efecto invernadero local en las ciudades.
- **Actividades antrópicas:** La producción de calor antropogénico procedente de las diferentes actividades y procesos de combustión que se llevan a cabo en las áreas urbanas e industriales, como el transporte, la calefacción, alumbrado, etc.

La isla de calor urbana (ICU) puede propiciar consecuencias negativas en el confort térmico humano, ya que para que el cuerpo se pueda mantener estable sin realizar ningún esfuerzo (transpirar) la temperatura ambiente debe estar en un límite máximo de 26°C (Olgay, et al., 1998), de lo contrario se da origen al estrés térmico, lo que conlleva a un detrimento de la productividad y puede provocar problemas de salud, principalmente en las temporadas de primavera y verano, donde se presenta la mayor insolación y se presentan las olas de calor (Haynes, 2008, Seppanen et al., 2004; Tse and So, 2007; Barradas, 1987).

Aunado a lo anterior, se producen daños económicos a la población, ya que se propicia el aumento en el consumo de energía eléctrica para enfriamiento de los edificios. Esto último también implica que se incremente la generación de gases de efecto invernadero (GEI), creando consecuentemente un ciclo de degradación ambiental (contaminación atmosférica) y de la salud humana (Ballinas y Barradas, 2016).

En el panorama actual del cambio climático, serán las ciudades uno de los escenarios que pondrán a prueba la capacidad de adaptación del ser humano frente al aumento de la temperatura global, por lo que es urgente atender este problema lo más pronto posible. Es así que este fenómeno se está estudiando mediante diversos indicadores involucrados con él y que se debe plasmar en las agendas de gobierno con carácter prioritario y materializando políticas públicas en esta materia.

Como se ha mencionado anteriormente, los objetivos de la sostenibilidad, en sus tres dimensiones, tienen que verse reflejadas en muchos aspectos dentro de la gobernanza, uno de ellos es la política pública, un aspecto vital para esa transición. Dentro de este marco, que el pueblo tenga la capacidad de anticipar el futuro en el uso más eficiente de los recursos con el fin de mejorar la calidad de vida, constituye un signo de avance hacia una adecuada articulación entre la sociedad y el medio natural, es decir, no se puede pensar en alcanzar objetivos de desarrollo sostenible sin el correcto uso de los instrumentos colectivos, dentro de los cuales se encuentran las políticas públicas.

Una política puede definirse como un comportamiento propositivo, intencional, planeado, que no siempre es reactivo y que se manifiesta con la decisión de alcanzar ciertos objetivos mediante ciertos medios, es decir, es una acción con sentido que también se podría catalogar como una actividad de comunicación pública (Ruiz y Cárdenas, 2003), son un medio para la resolución de problemas. En otra definición, se puede referir a ellas como decisiones y acciones legítimas de gobierno que se generan a través de un proceso abierto y sistemático de deliberación entre grupos, ciudadanos y autoridades, con el fin de resolver, mediante instrumentos específicos, las situaciones definidas y construidas como problemas públicos (Arellano y Blanco, 2013). Sin embargo, podría parecer como un conjunto de buenas intenciones, sobre todo para un país como el nuestro en el que por mucho tiempo las decisiones se tomaron y se siguen tomando unilateralmente y de forma autoritaria en los diferentes niveles de gobierno. En muchas ocasiones los programas de política pública que se aplican, incluidos por su puesto la ambiental, se han diseñado con objetivos institucionales que a menudo resultan incompatibles con el sentido de la conservación y uso sustentable del territorio (Pérez Campuzano, 2014), ya que dichos programas y acciones tienen objetivos diferentes, marcados desde sus reglas de operación, lo que representa una incongruencia institucional que dificulta el desarrollo efectivo de las prácticas de conservación; este hecho genera un conflicto operativo que tiene que ver con el impacto potencial que puede producirse por la falta de control de su cumplimiento (PAOT, 2012; Ostrom, 2005; Rojo, et al., 2018).

En el proceso de formulación de la política pública (compuesta de etapas como: a) establecimiento de la agenda política, b) la definición de los problemas, c) la previsión, d) establecimiento de objetivos, e) La selección de la opción) se debe empoderar a la sociedad, quién a fin de cuentas es el encargado de la ejecución de las mismas; el restringir la visión y voz de la sociedad, establecerá en gran medida el éxito o fracaso de cualquier propuesta gubernamental (Ruiz y Cárdenas, 2003). El proceso de construcción debe adquirir un carácter colectivo y democrático, encaminado al bienestar con un enfoque de desarrollo sostenible. En la actualidad, se han desarrollado varios instrumentos en la legislación que propician la participación ciudadana en la política pública, sin embargo, aún queda un camino largo por avanzar para que sea algo significativo y realmente tenga impacto dicha participación.

Dentro de las herramientas que se cuentan para el análisis de datos y toma de decisiones, y claro está, para la elaboración de la política pública, se encuentran los indicadores, los cuales no son más que la síntesis de datos de algún tema en específico, que se transforman para identificar algún hecho o fenómeno de forma más simple y sistémica; y que gracias a esas cualidades se reconocen como una necesidad fundamental para el desarrollo sustentable (Perevochtchikova, 2013). Los indicadores, en el campo de la sostenibilidad, nos pueden permitir dar seguimiento al impacto humano sobre el ambiente biofísico y socioeconómico, por lo que su necesidad es fundamental en las distintas escalas para la toma de decisiones importantes. A la vez que sirven como instrumentos de evaluación de las políticas públicas y en pro de las metas de la sostenibilidad (López y Rodríguez, 2008).

## II. METODOLOGÍA

Para poder construir los indicadores que se plantearon en este proyecto, se recurrió a utilizar metodologías diferentes para cada uno, la información generada en cada uno de los indicadores se relaciona de manera directa entre ellos, es así como del primer indicador del análisis de materiales se desprenden las recomendaciones de los mismos para plantearlos en la encuesta de percepción social, que incluye a su vez una sección de valoración económica del confort térmico. Las metodologías se resumen a continuación:

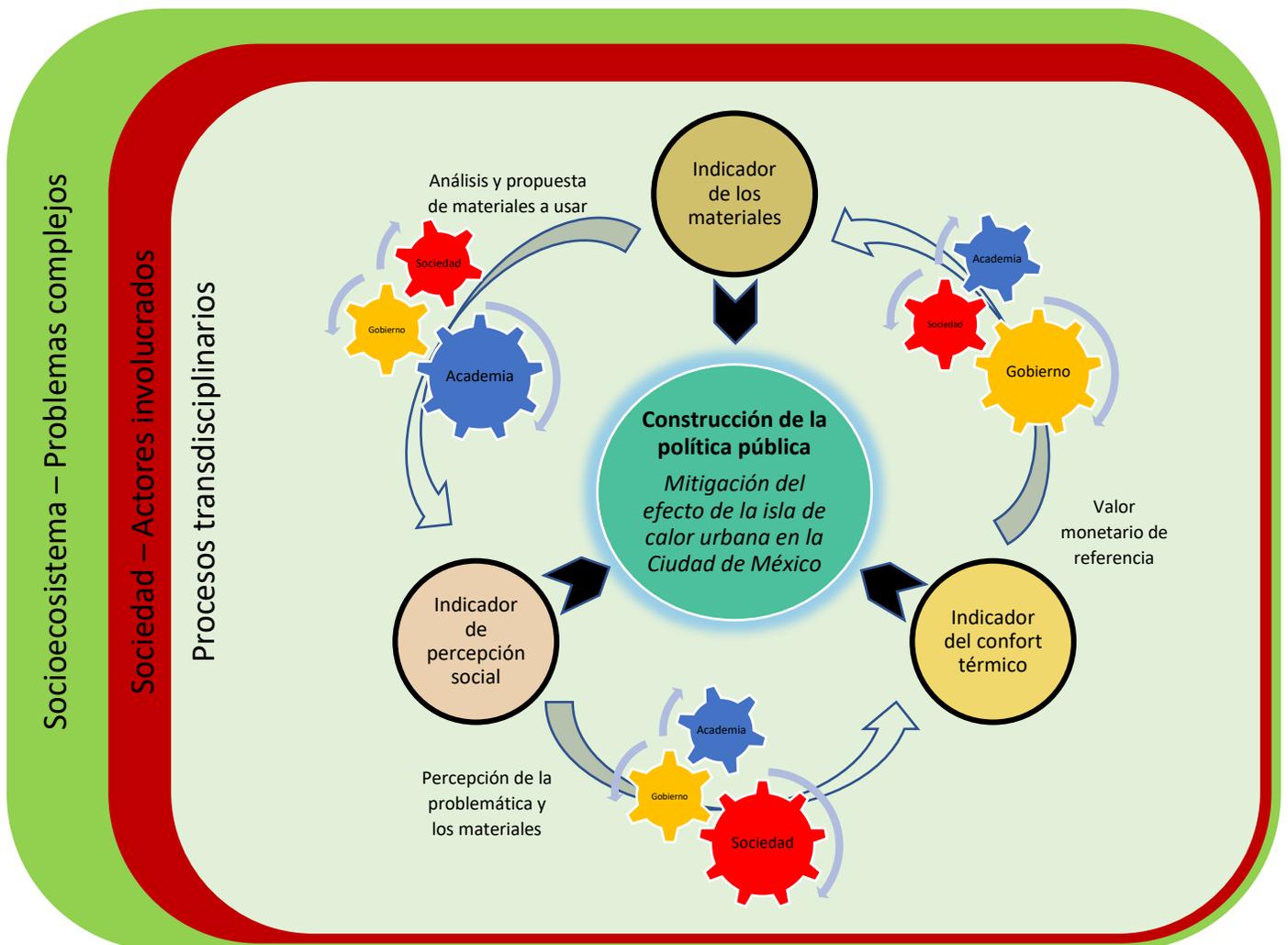


Figura 4. Esquema metodológico. Dentro del socioecosistema, la sociedad debe mantener constante los procesos transdisciplinarios, es decir, procesos donde los diversos actores involucrados en cualquier fenómeno de estudio se relacionen entre sí en cada aspecto del mismo respecto de su resolución. En este caso, los tres indicadores van relacionados uno del otro tratando de involucrar a sociedad, academia y gobierno.

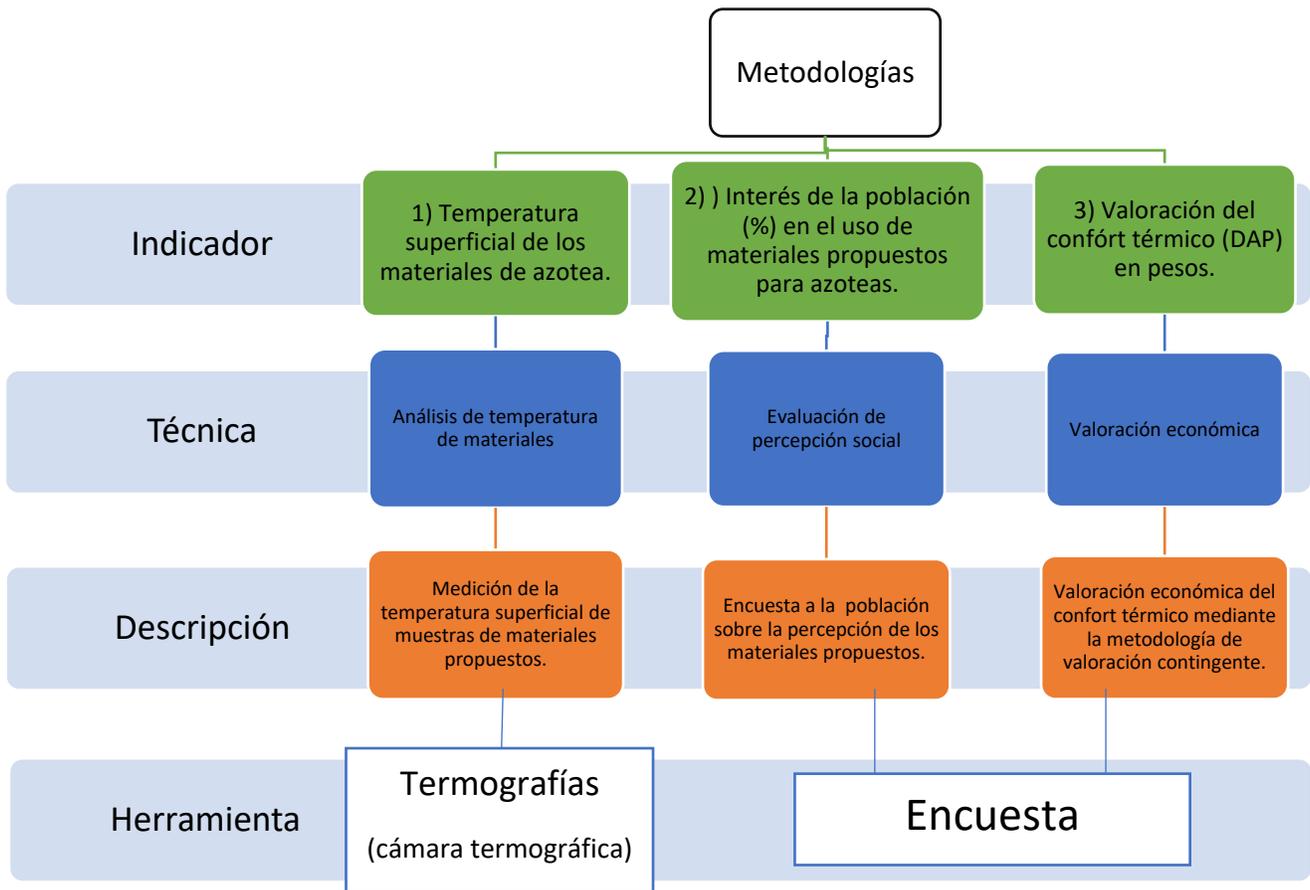


Figura 5. Descripción de las metodologías utilizadas

## II.1 Medición de la temperatura superficial de materiales propuestos

La selección adecuada de las envolventes, como se vio en secciones anteriores, contribuye a disminuir las temperaturas de las ciudades. En el caso de una edificación, la zona de azotea, generalmente, es la que se encuentra con mayor exposición a la radiación a lo largo del día. Esta investigación aborda a las alternativas de materiales que se pueden usar en las azoteas de edificios de tipo habitacional y, de esta manera, poder involucrar a la sociedad en general en la mitigación de la isla de calor urbana.

El estudio consiste en la medición de la temperatura superficial de materiales para verificar el desempeño de cada uno en condiciones normales de asoleamiento respecto de la capacidad de reflexión de la radiación solar y de esta manera evitar su absorción y su posterior emisión de calor. Se busca hacer una comparativa con los materiales seleccionados entre aquellos de uso común (como los impermeabilizantes rojos) y algunas alternativas para la mitigación de la ICU (impermeabilizantes blancos, superficies frescas y superficies vegetadas). Se consideró a los materiales de marcas más comerciales y que son de fácil acceso y disponibilidad a la población.

La diversidad de materiales que se van a estudiar en este proyecto incluye:

- **Impermeabilizantes (acrílico y prefabricado):** El material de uso común para proteger las techumbres e impedir el paso del agua. Tiene propiedades de impermeabilidad, aislamiento, durabilidad y resistencia a los movimientos estructurales (Elizalde, 2005).
- **Superficies frescas:** Productos que reducen la temperatura de una superficie, tienen las propiedades de un impermeabilizante, además de un alto índice de reflectancia solar (IRS), (NMX-U-125-SCFI-2016).
- **Superficies con vegetación:** Superficies dotadas de especies de tipo suculentas, tales como las crasuláceas, *flor de cuchillo*; también se incorpora una superficie con pastos. Dichas superficies ofrecen beneficios (desde la perspectiva térmica) de aislamiento hacia el edificio y de enfriamiento hacia el exterior mediante la evapotranspiración (Pérez, 2017), haciendo referencia a una azotea verde.
- **Concreto:** Una muestra con concreto joven, sin ningún recubrimiento, que sirva de control en la experimentación.

Lo anterior determinó los siguientes 14 materiales a evaluar:

Tabla 2. Materiales seleccionados en la prueba de desempeño térmico. Fuente: Elaboración propia. \*Para este caso se considera el precio desde la perspectiva de una azotea verde.

Tipo	Nombre/Característica	Rango de precio por m <sup>2</sup>
Impermeabilizante Acrílico (IA)	IA Marca 1 – Color Blanco	50 – 100 \$ mxn
	IA Marca 1 – Color Rojo	50 – 100 \$ mxn
	IA Marca 2 – Color Blanco	50 – 100 \$ mxn
	IA Marca 2 – Color Rojo	50 – 100 \$ mxn
Impermeabilizante prefabricado de tipo Teja (IT)	IT – Color Blanco	100 – 200 \$ mxn
	IT – Color Gris	100 – 200 \$ mxn
	IT – Color Verde	100 – 200 \$ mxn
	IT – Color Rojo	100 – 200 \$ mxn
Superficie fresca (SF)	SF Marca 1 – Color Blanco	50 – 100 \$ mxn
	SF Marca 2 – Color Blanco	50 – 100 \$ mxn
	SF Marca 2 – Color Rojo	50 – 100 \$ mxn
Superficie con vegetación SV	SV - Pasto	1,500 – 2,500 \$ mxn*
	SV - Diversas especies (suculentas)	1,500 – 2,500 \$ mxn*
Muestra Control (MC)	MC - Concreto	-

El índice de reflectancia solar (IRS) de los materiales fue medido en el Laboratorio de Entornos Sostenibles (LES) de la Facultad de Arquitectura, UNAM, para tener la referencia de esta propiedad en los materiales (recordando que un valor alto del índice indica una alta reflexión de la radiación de onda larga):

Tabla 3. Valores de las propiedades de emitancia térmica y reflectancia solar medidos en laboratorio.

Material	Emitancia térmica	Reflectancia solar	Índice de Reflectancia Solar (IRS)
<b>Concreto (muestra control)</b>	<b>0.90</b>	<b>0.42</b>	<b>0.4837</b>
SF marca 1	0.87	0.72	0.8836
IA marca 1 Blanco	0.89	0.59	0.7095
SF marca 2 Blanco	0.87	0.59	0.7039
IA marca 2 Blanco	0.89	0.57	0.6823
SF marca 2 Rojo	0.86	0.30	0.3070
IA marca 1 Rojo	0.88	0.29	0.3027
IT Blanco	0.93	0.27	0.2988
IA marca 2 Rojo	0.89	0.27	0.2808
IT Gris	0.92	0.16	0.1520
IT Rojo	0.92	0.13	0.1135
IT Verde	0.92	0.12	0.1007

Los materiales mencionados anteriormente fueron aplicados a muestras de concreto que simulan las características de la losa de una vivienda común (Anexo I). El lugar donde se procedió a hacer la simulación y mediciones fue en el Laboratorio de Entornos Sostenibles (LES), de la Facultad de Arquitectura, UNAM.

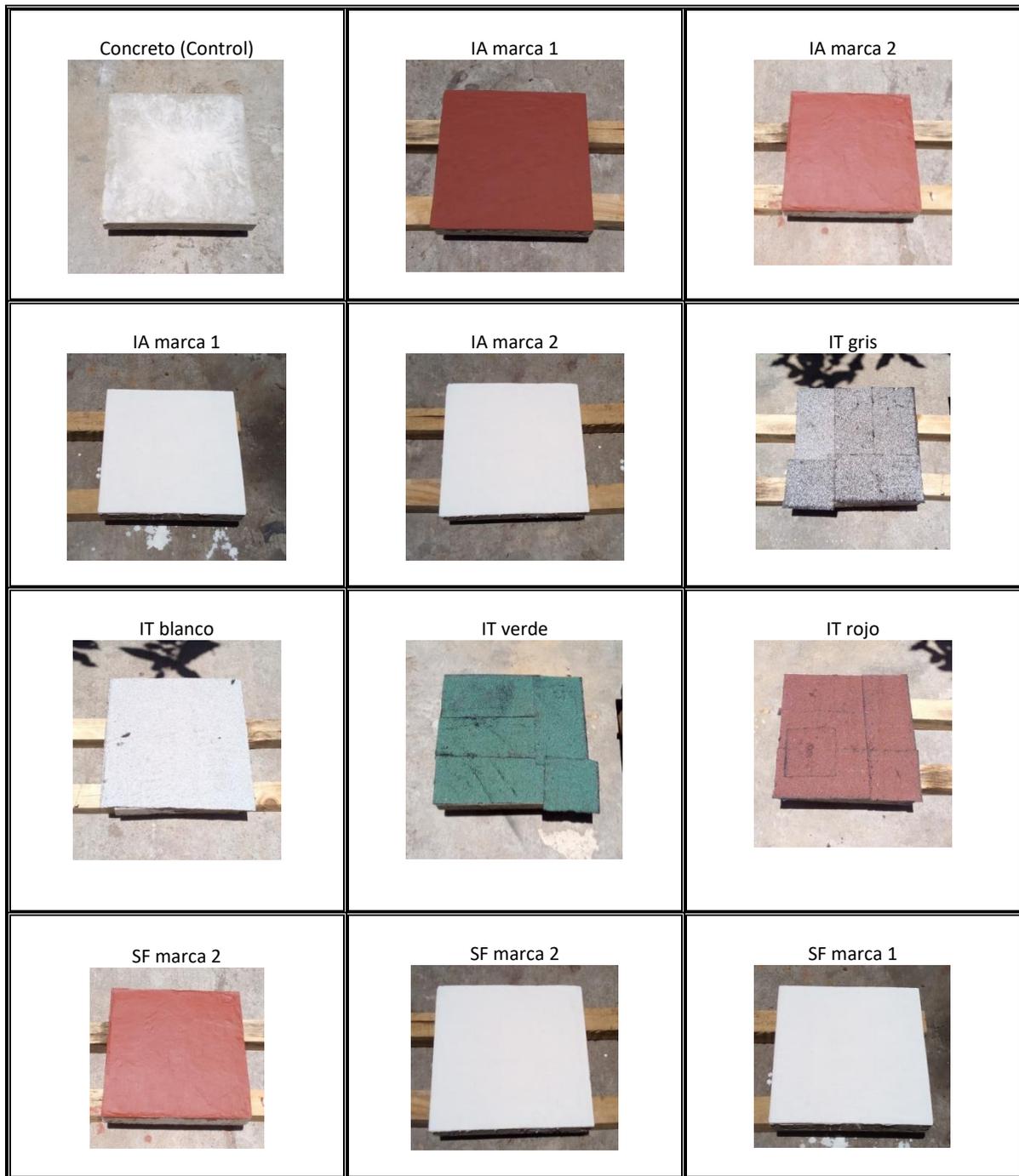


Figura 6. Materiales aplicados en las placas de concreto



Figura 7. Disposición de las muestras en el patio del Laboratorio de Edificaciones Sostenibles, Facultad de Arquitectura, UNAM. Tipos de materiales: Impermeabilizante tipo teja (IT), impermeabilizante acrílico (IA), superficie fresca (SF), muestra de concreto (MC).

Para hacer la comparación con una superficie verde, se utilizaron dos zonas acondicionadas con elementos vegetales:

Zona verde "Islas", CU UNAM	Azotea en edificio DGOAE, UNAM
 <p>Vegetación: Pasto Densidad vegetal aprox.: 0.9-1</p>	 <p>Vegetación: Suculentas (Crasuláceas) Densidad vegetal aprox.: 0.7-0.8</p>

Figura 8. Zonas vegetadas en CU, UNAM.

## Termografías

Para la medición de las superficies de los materiales se recurrió a la técnica de la termografía, que consta en la detección de la energía infrarroja que emite un objeto, la convierte en temperatura aparente y muestra el resultado como una imagen infrarroja de colores falsos. La cámara termográfica mide la radiación infrarroja de onda larga y con los datos obtenidos calcula la temperatura de un objeto sin haber estado en contacto con él. Los resultados se plasman en una imagen virtual coloreada (imagen térmica) y de esta manera se hace visible la distribución de la temperatura en el objeto medido, donde cada pixel de la imagen es un punto de temperatura de la superficie (Testo, 2019).

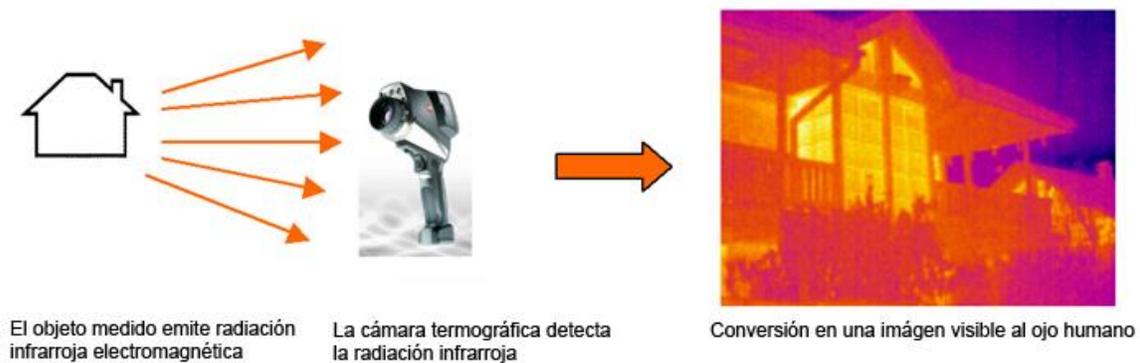


Figura 9. Función de la cámara termográfica Fuente: academiaatesto.com

## Equipo de medición

El equipo utilizado para realizar las capturas de temperatura superficial de los materiales fue el siguiente:

- Cámara termográfica Fluke Ti400



Figura 10. Cámara Fluke

Se utilizó también equipos para medir parámetros adicionales, tales como la temperatura a nivel superficial, la humedad relativa y la velocidad del viento:

- Multímetro, BSIDE EET100
- Anemómetro digital, PEAKMETER

### Características de la experimentación

El experimento fue diseñado para incluir mediciones de temperatura de los materiales en condiciones normales de asoleamiento e intemperismo, simulando las condiciones a las que están expuestas las azoteas de un edificio y para observar cómo se desenvuelven térmicamente dichos materiales a lo largo del día. Se hizo en dos estaciones del año diferentes para comparar los resultados.

Tabla 4. Características de la experimentación

Condiciones	Característica
<b>Estaciones del año</b>	Verano (23 al 27 de julio de 2018) Invierno (7 al 11 de enero de 2019)
<b>Horarios de medición</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 07:00</li> <li>➤ 09:00</li> <li>➤ 11:00</li> <li>➤ 13:00</li> <li>➤ 15:00</li> <li>➤ 17:00</li> <li>➤ 19:00</li> </ul>
<b>VARIABLES DE MEDICIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Temperatura superficial (termografía), de forma perpendicular a 1 m de distancia.</li> <li>➤ Temperatura superficial del ambiente (a 30 cm del piso).</li> <li>➤ Humedad relativa.</li> <li>➤ Intensidad del viento.</li> </ul>

### Análisis ANOVA

Dentro del análisis estadístico se realizará una prueba ANOVA de Tukey (comparación de medias), con el objetivo de determinar si hay una diferencia estadística entre un material u otro respecto de la temperatura que registra, y de esta manera obtener un mejor criterio en su evaluación.

## II.2 Encuesta de percepción social y valoración económica

La vinculación y comunicación de los diferentes actores involucrados en la resolución del fenómeno de la isla de calor es uno de los objetivos más importantes en este trabajo de investigación. El involucramiento de la sociedad civil en los distintos problemas que enfrenta la ciudad, y el mundo en general, debe ser un factor clave a considerar para cualquier acción de parte de las autoridades. Así mismo, las herramientas de difusión de la información y participación deben de estar más cerca y de fácil acceso a la población; una sociedad que cuenta con estos elementos será capaz de colaborar de mejor manera en la resolución de problemas.

Una de las herramientas clásicas que ayuda a la recopilación de datos de forma rápida y eficaz y que es ampliamente utilizada en investigación es la encuesta. Esta técnica permite recoger y analizar una serie de datos de una muestra poblacional del que se pretende explorar, describir o explicar una serie de hechos o fenómenos (García, 1993). Este instrumento puede funcionar como mecanismo de difusión de información y al mismo tiempo fomentar la participación social, en el caso de consultas públicas, ya que es un medio adecuado para la interacción entre varios actores sociales.

### II.2.1 Selección del sitio de estudio

El trabajo de investigación busca que se pueda aplicar los resultados obtenidos a una política que aplique a toda la Ciudad de México; sin embargo, para el estudio en específico del presente y por causa de tiempo, se buscó una zona representativa que cumpla con el objetivo de estudio del problema socioambiental, en una escala a nivel colonia, por lo que la selección constará de cuatro colonias representativas para el estudio. Los criterios que se utilizaron para encontrar áreas a fines con el propósito del proyecto fueron: a) presencia de la isla de calor urbana (mapa de temperatura), b) áreas verdes urbanas, y c) uso de suelo habitacional.

#### a) Presencia de la isla de calor urbana

El primer criterio de elección fue que el área de estudio se encontrara dentro de las zonas de mayor intensidad de la isla de calor en la Ciudad de México, por lo que, para identificar la distribución e intensidad de la misma, se utilizó un mapa de temperaturas (visto ya en la parte de planteamiento del problema), elaborado con la base de datos de las estaciones de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) ubicados en la Zona Metropolitana del Valle de México. En este caso se tomó el mapa elaborado con los datos promedio anual. Los datos obtenidos nos permitirán determinar la cobertura de la ICU, así como la intensidad mediante las diferencias de temperatura entre la zona centro y un

punto periférico de referencia (el área de conservación de la zona sur de la ciudad, por ejemplo); por lo que el valor de la isla de calor urbana en la Ciudad de México resulta como el gradiente de diferencia de temperatura entre la zona urbana y la zona rural,  $Temp_{Urbana} - Temp_{Rural}$  (Barradas, 2011).

#### b) Área verde urbana

El segundo criterio se determinó con base en el área verde urbana por cada habitante en la ciudad. Se tomaron los datos de la página de la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México (PAOT, 2017), respecto de la cantidad de metros cuadrados de área verde urbana por habitante en cada delegación de la Ciudad de México. De esta manera, se identificaron las delegaciones y colonias que presentan los números más bajos de este parámetro, los cuáles serán prioridad como un indicador de déficit de áreas verdes y a la vez de urbanización.

#### c) Uso de suelo

El enfoque de análisis del proyecto se centra en un escenario de acción desde la vivienda, por lo que, para este criterio, se tomaron en cuenta las zonas que presentan un uso de suelo Habitacional.

El traslape de los criterios mencionados anteriormente nos proporcionará las zonas representativas de estudio del fenómeno socioambiental de la Isla de Calor Urbana en la Ciudad de México, de las cuáles se seleccionarán varias colonias para la aplicación de la encuesta.

#### Determinación de la muestra

En las investigaciones donde se requiere tomar una muestra de sujetos que serán quienes participen en la misma, la determinación del tamaño de la muestra es una parte importante, ya que dicha muestra debe ser representativa para los posteriores análisis estadísticos. Los parámetros de confianza y error definen la precisión de la información, hablando en sentido estadístico y para este caso que se desarrollan análisis cuantitativos.

Las colonias de la zona de estudio cuentan con una población de 130,634 (INEGI, 2010), por lo que, dados los tiempos de la maestría, se determinó un nivel de confianza al 90% y margen de error de 5%, se calculó una  $n = 257$  de acuerdo al cálculo de la muestra con la siguiente fórmula (Cáceres, 2012):

$$n = \frac{k^2 pqN}{(e^2(N-1)) + k^2 pq}$$

Donde

**N:** es el tamaño de la población o universo (número total de posibles encuestados).

**k:** es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos.

**e:** es el error muestral deseado.

**p:** es la proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio. Este dato es generalmente desconocido y se suele suponer que  $p=q=0.5$  que es la opción más segura.

**q:** es la proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es  $1-p$ .

**n:** es el tamaño de la muestra (número de encuestas que vamos a hacer).

El desarrollo del trabajo de campo en la aplicación de las encuestas fue en el periodo de mayo a septiembre de 2018, en horarios de 9 am a 16 pm, principalmente en lugares de concurrencia, tales como parques o plazas públicas; y fue desarrollado de manera personal y por un solo aplicador, para evitar sesgo en la forma en que se aplicaba la encuesta.

### II.2.2 Diseño de la encuesta

El diseño de la encuesta va encaminada a encontrar la información para identificar los otros dos indicadores de la encuesta: el interés en participar en la implementación de alguno de los materiales propuestos del indicador uno, y el de valoración económica del confort térmico, de lo anterior entonces se diseñó con cuatro ejes fundamentales (ver encuesta en Anexo II):

- Realizar un diagnóstico acerca del conocimiento de la problemática ambiental por parte de la población.
- Conocer la percepción social de materiales de uso en azoteas que ayuden a la mitigación de la temperatura de la azotea.
- Obtener información de algunas variables sobre la implementación de una posible política/programa de mitigación del efecto de la ICU.
- Realizar la valoración económica del confort térmico.

El desarrollo de la encuesta contiene los siguientes apartados:

- Diagnóstico del problema
- Percepción social de los materiales propuestos
- Valoración económica del confort térmico

El apartado de los datos socioeconómicos contiene las variables de edad, sexo, escolaridad, ocupación, estado civil e ingreso económico.

#### *Diagnóstico del problema*

Esta sección está enfocada en realizar el diagnóstico del fenómeno estudiado: la isla de calor urbana. El objetivo es evidenciar el conocimiento que tiene la población sobre el mismo, y tener la referencia para posteriores análisis. La sección comienza con la pregunta sobre la percepción del estrés térmico, esto es, si es que la gente ha notado un aumento de la temperatura del ambiente en los años recientes o si por el contrario ha disminuido, lo que nos arrojará información sobre cómo la gente concibe su ambiente en términos de temperatura y así poder saber esa notoriedad o si en verdad la gente se ha acostumbrado y/o adaptado a los cambios climáticos a tal grado de no reconocer los cambios de éste. Se les cuestiona también las horas que pasan fuera de casa, como una variable que pudiera explicar tal percepción de la temperatura del aire. Luego de dar esa pequeña introducción, se les pregunta a continuación si conocen el fenómeno en cuestión, si saben qué es el efecto de la isla de calor urbana, en caso de no saber se les explica lo que éste conlleva. Mediante esas preguntas se podrá realizar un diagnóstico sobre la ICU y la identificación por parte de la población.

#### *Percepción social de los materiales propuestos*

Como se mencionó anteriormente, luego de identificar aquellos materiales de azotea que pueden mitigar la temperatura del ambiente, éstos serán incluidos en la encuesta para poder determinar el interés de la población en la participación para implementar alguno de ellos en sus viviendas. Dichos materiales (impermeabilizantes blancos, superficies frescas y azoteas verdes), serán consultados respecto de su conocimiento, y en caso de no conocerlos se les serán explicados a detalle (costo, mantenimiento, beneficios) para que el encuestado pueda realizar una elección con conocimiento de ellos. El indicador será el porcentaje de la población que haya seleccionado alguno de ellos como interés de implementarlo.

Esta sección contiene preguntas acerca de temas como el conocimiento de la “vivienda sustentable” y sobre algunas características de su vivienda. Dado que uno de los objetivos de la encuesta es obtener parámetros acerca de una posible política pública, se incluyen temas de interés asociados a ella. Se interroga a las personas si es que mediante un estímulo económico podrían participar en la implementación de alguno de los materiales. Derivado de este beneficio se les pregunta si estarían dispuestos a recibir el monitoreo de

parte de la autoridad ambiental en el cumplimiento de un supuesto programa, o si a cambio podrían participar en actividades de servicio social, talleres, pláticas, etc.

Como parte de estas variables en el tema de política pública se les pregunta además acerca de si en algún momento se les ha realizado alguna encuesta de este tipo, con el objetivo de verificar el supuesto de la nula atención a la opinión de la sociedad en la formulación de políticas. Y puesto que se tiene como referencia el Programa de naturación de azoteas de la Ciudad de México, se les pregunta sobre si conocen dicho programa, y de esta manera diagnosticar la difusión y conocimiento de éste. Los datos obtenidos de la encuesta se analizaron mediante la estadística descriptiva básica para conocer los porcentajes de cada pregunta y presentar los resultados de una forma clara.

### *Valoración económica del confort térmico*

El actual modelo de desarrollo ha provocado que los servicios ecosistémicos se utilicen de forma excesiva e inadecuada, a pesar de la importancia de los mismos, a tal grado que se han hecho cambios irreversibles a los ecosistemas. El cambio en las actividades humanas hacia un enfoque sostenible es de vital importancia para evitar más daños al ambiente y para la misma subsistencia humana. Una forma de lograr esos cambios es mediante instrumentos que generen información más clara sobre los ecosistemas y que puedan conducir a una adecuada toma de decisiones (Haro y Taddei, 2010).

Desde los estudios de la economía, la rama encargada de darle una mayor importancia y adecuada valoración de los recursos naturales es la economía ambiental. Este enfoque consiste en que los problemas ambientales surgen de lo que es conocido como las fallas de mercado, las cuales están asociadas generalmente a que no se tiene mercado para muchos bienes y servicios ambientales (Cristeche y Penna, 2008). Dentro del marco de la economía ambiental se encuentran las metodologías de valoración económica, las cuales permiten asignar valor monetario a bienes y servicios ambientales y, de esta manera, integrar de mejor manera al ambiente en el sistema económico actual.

El tercer indicador que se propone en esta investigación consiste en la valoración económica de un servicio ambiental poco estudiado y que sirve de referencia para observar el impacto de éste en los aspectos social y económico de la población: el confort térmico. El confort es un concepto subjetivo que depende de factores como la edad, género, forma corporal, alimentación, cultura, entre otros, y básicamente es la relación entre el clima de un área y la percepción de la población (Ferrelli, 2017). Sin embargo, precisamente por esta complejidad es que se necesitan estudios sobre la percepción de la población, pues son referentes que ayudan a tomar decisiones en las políticas. En este caso, se aborda la parte térmica, es decir, la percepción de una muestra poblacional sobre el confort térmico en un medio urbano cada vez más carente de espacios verdes.

En los estudios de la economía ambiental se han desarrollado varios métodos para poder llevar a cabo la valoración económica de un bien o servicio ambiental. En general los métodos de valoración económica se clasifican en directos, donde se realiza la interacción directa con el usuario del bien o servicio ambiental y éste declara sus preferencias y postura (valoración contingente), e indirectos, donde se buscan referencias mediante un mercado alterno (precios hedónicos, costo de viaje, costos evitados).

Dentro de esta investigación se considera al confort térmico como un servicio ambiental de uso directo, es decir, se considera que se está “consumiendo” de forma directa, tal como sería el agua potable o el aire de la ciudad, por ejemplo. Dado lo anterior es que se optó por la metodología de valoración contingente puesto que, dentro de las metodologías de valoración, esta utiliza un acercamiento directo con el usuario y te permite conocer más a fondo las perspectivas que éste tiene sobre el objeto de estudio. Además, este método permite construir un mercado hipotético para bienes que no tienen mercado ni precios (Barreiro y Pérez, 2001), en otras palabras, dado que no se puede “comprar una dotación de confort térmico”, se realiza la simulación de que esto se pudiera para generar la información de valoración monetaria.

En términos generales, la metodología consiste en que el ciudadano usuario del servicio declara su disponibilidad a pagar para generar cambios en el bienestar de este servicio ambiental, es decir, es un indicador de un cambio en el ingreso monetario (negativa, dado que se desprende de una parte de este) para generar una mejora en la calidad del ambiente y, por lo tanto, generar un cambio en el bienestar (positivo)(Myrick, et al., 2014), entonces la disminución en el ingreso se compensa al tener una mejor calidad del servicio ambiental, por lo que se pasa de un estado a otro igual o mejor.

Para lograr la interacción directa, este método utiliza la encuesta como el instrumento para recopilar la información. Dentro de la metodología mixta que se maneja en este proyecto se cuenta con un formato de encuesta para la percepción social de los materiales propuestos en la mitigación de la isla de calor en la cual ha sido añadida una sección correspondiente a la valoración ambiental del confort térmico (preguntas informativas, valorativas y socioeconómicas, ver Anexo II).

Respecto de la parte que concierne a la valoración económica, la encuesta inicia con un diagnóstico respecto del fenómeno de la ICU (Sección I), para después abordar, en un formato abierto, la posición del encuestado respecto de la valoración monetaria del servicio en estudio (Sección II), es decir, la cantidad que estaría dispuesto a pagar, además de otras cuestiones como la forma de cobro y la administración de los recursos. La valoración se calculó en términos de aportaciones al mes, en sentido de que se podría realizar varias aportaciones al año, luego de que en las encuestas piloto resultara esta la mejor alternativa. La Sección III está destinada a la percepción de los materiales propuestos, descrita en la metodología del indicador anterior. Finalmente se tiene un apartado para recopilar los datos socioeconómicos del encuestado en la sección IV.

## Elaboración del modelo y obtención de la DAP monetaria

Para el análisis de los datos se recurrió a la econometría, utilizando la información de la encuesta y mediante software de modelación econométrica. El objetivo de esta parte de la metodología es obtener el indicador de valoración monetaria de parte de la población respecto del confort térmico y también un modelo que explique las variables que influyen en la disposición o no de aportar monetariamente.

En primer lugar, se obtendrán modelos de la disposición a aportar, esto es, una ecuación que explica cuáles son las variables que más influyen en la decisión de la gente en aportar o no al mejoramiento del confort térmico y utiliza las preguntas de la encuesta como variables explicativas. Mediante una regresión logística se construye esta ecuación donde la pregunta 4 respecto de su disposición a aportar (DAA) es la variable dependiente (con respuestas de Si=1 y No=0), mientras que de las demás preguntas se tomarán aquellas que tengan una significancia estadística y el signo adecuado, para formar parte de la ecuación como las variables explicativas, como se observa a continuación:

$$DAA = \theta_0 + \theta_1 X_1 + \theta_2 X_2 + \dots + \theta_n X_n + e$$

Donde **DAA** es la disposición a aportar, en términos de probabilidad, la cual toma valores de 0 y 1 (para una respuesta negativa y afirmativa, respectivamente),  $\theta_0$  es el coeficiente del origen de la ecuación,  $\theta_n$  son los coeficientes de cada variable,  $X_n$  son los valores de las variables explicativas y  $e$  corresponde al error estocástico.

En segundo lugar, para el cálculo monetario de esta disponibilidad a pagar (DAP) el cual es nuestro tercer indicador del proyecto, se utilizó la siguiente fórmula

$$DAP = -(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \dots + \hat{\beta}_n X_n) / \hat{\beta}_i$$

Donde **DAP** es la cantidad monetaria a aportar,  $\hat{\beta}_0$  es el coeficiente del origen de la ecuación,  $\hat{\beta}_n$  son los coeficientes de cada variable,  $X_n$  son los valores de las variables explicativas y  $\hat{\beta}_i$  es el coeficiente de la variable del ingreso.

### III. RESULTADOS

#### III.1 Análisis de los materiales

Las termografías tomadas nos permitieron observar el comportamiento térmico de las muestras a lo largo de un periodo de tiempo, en este caso fue de 12 horas: de 07:00 a 19:00 horas. La gama de colores permite diferenciar las superficies cálidas (las más brillantes) de las frías (las más oscuras).

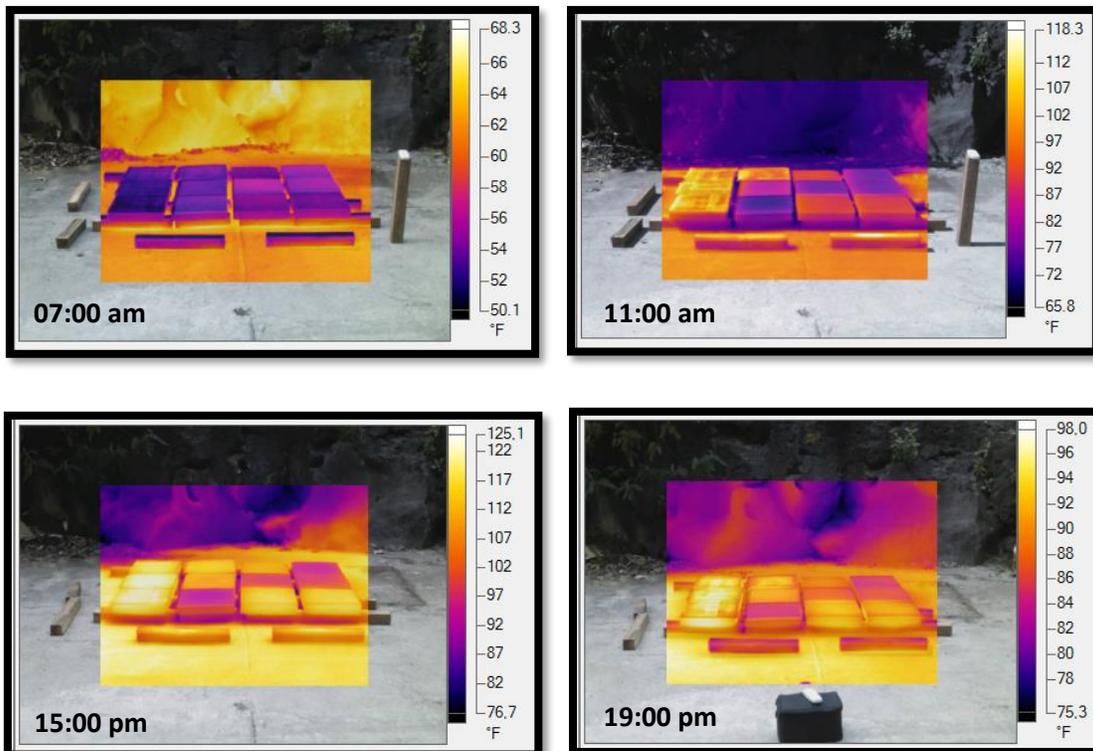


Figura 11. Temperatura superficial de los materiales aplicados en las placas de concreto.

Para las áreas con vegetación se obtuvieron las siguientes termografías:

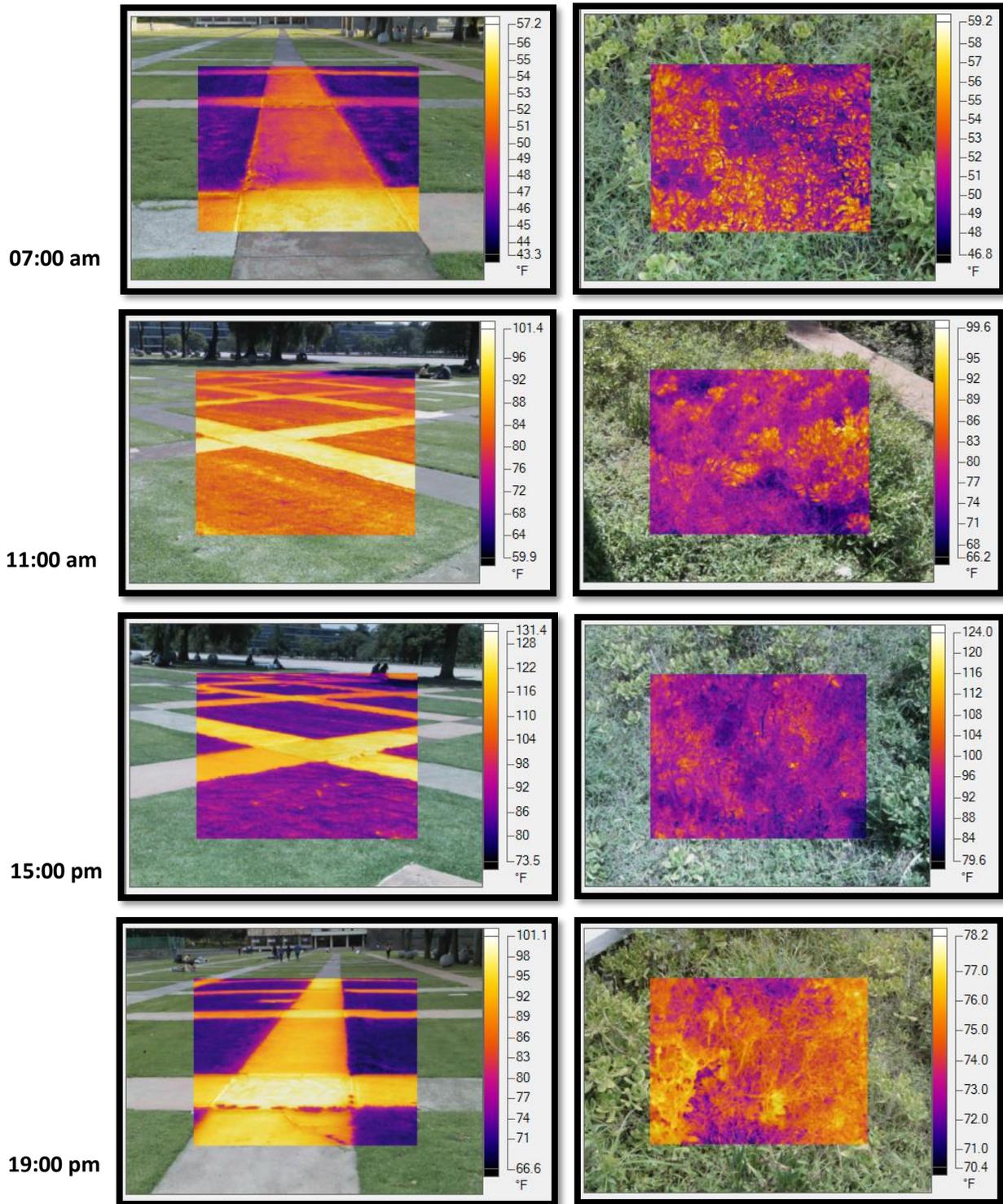


Figura 12. Temperatura superficial de las superficies vegetadas analizadas.

Las mediciones se realizaron en verano e invierno, con el objetivo de realizar una comparación de las temperaturas, por lo que, después del análisis estadístico, se obtuvieron los resultados representados en la siguiente gráfica (ver tablas de datos promedio obtenidos en Anexo III):

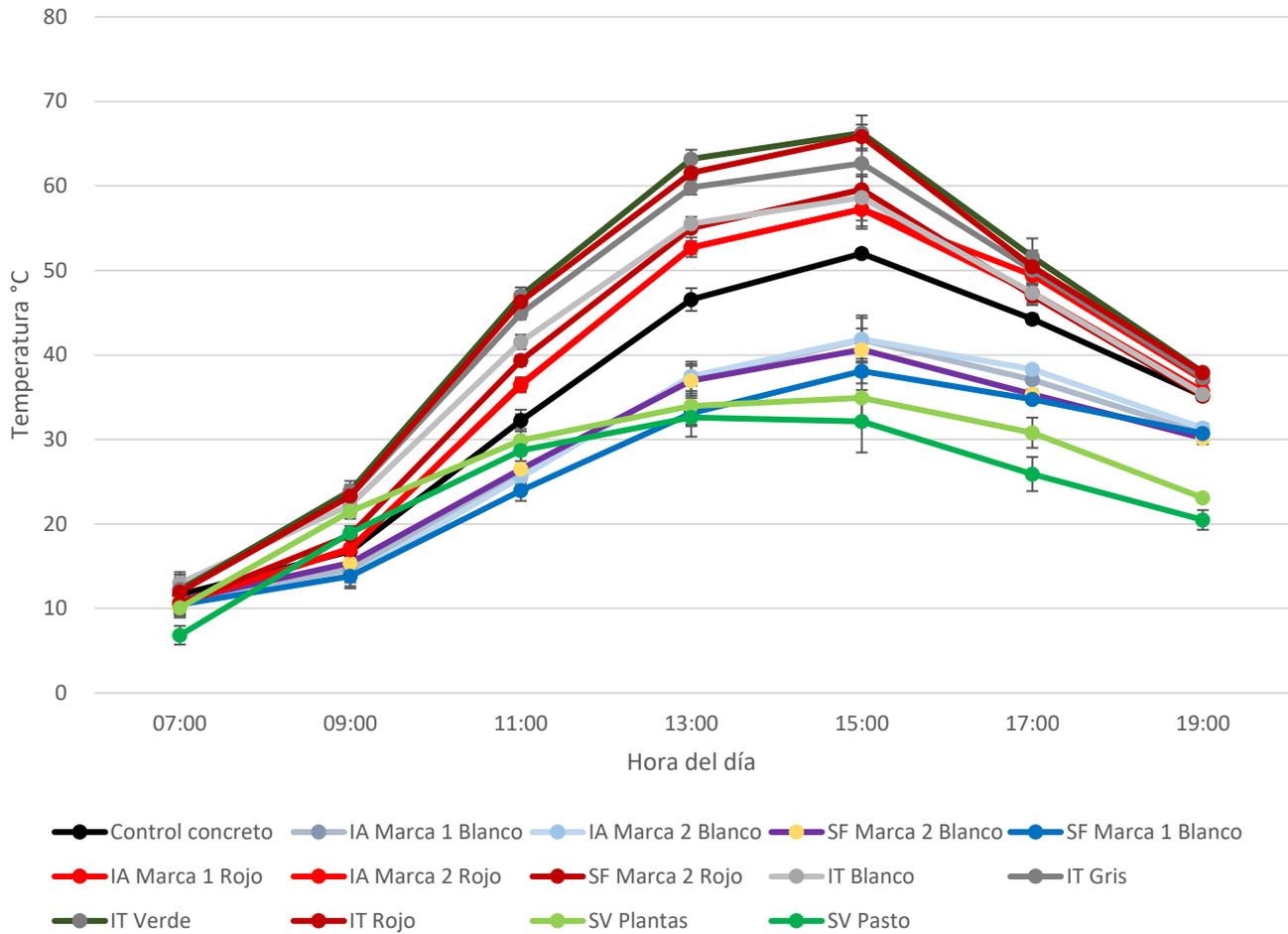


Figura 13. Temperatura superficial ( $T_s$ ) promedio de las muestras en el mes de julio de 2018.

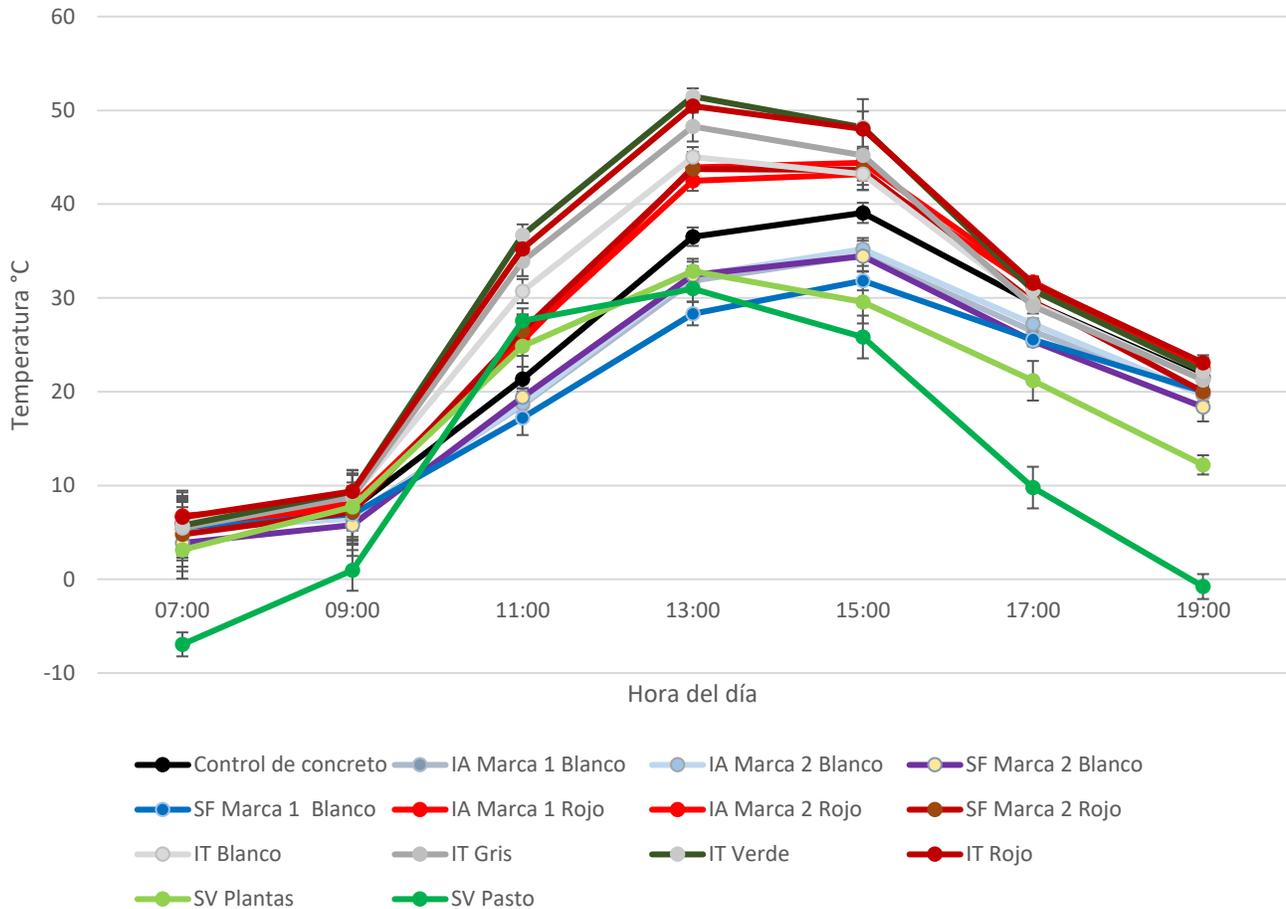


Figura 14. Temperatura superficial promedio de las muestras en el mes de enero de 2019.

En ambas gráficas se puede observar un comportamiento parecido de la temperatura de las muestras, donde se destaca lo siguiente:

- La temperatura de verano, tal como se esperaría, fue aproximadamente 30% mayor a la alcanzada en invierno en el punto de temperatura más alta (entre 13:00 pm y 15:00 pm).
- Las primeras dos mediciones (07:00 y 09:00 horas) muestran temperaturas similares entre todas las muestras, es a partir de las 11:00 horas que las temperaturas se comienzan a diferenciar entre los distintos materiales.
- Los impermeabilizantes de teja (prefabricados/asfálticos) son los que registran las mayores temperaturas a lo largo del día, seguidos de los materiales rojos (impermeabilizantes acrílicos y superficie fresca). En seguida se encuentra la muestra control de concreto, y por debajo se encuentran los materiales blancos (impermeabilizantes acrílicos y superficie fresca). Finalmente, quienes registran las menores temperaturas son las superficies vegetadas.

- Aunque las superficies vegetadas en promedio son las más “frías”, en cierto periodo del día (entre 09:00 y 11:00 horas aproximadamente) presentan temperaturas iguales o mayores a los demás materiales, para después disminuir en los periodos más cálidos.
- En general, todos los materiales en las muestras de concreto tuvieron un rápido enfriamiento, dado que a las 19:00 horas presentaron valores de temperatura similares.

Para poder observar y obtener una dimensión aproximada del efecto de la radiación en el interior de una edificación se hizo una medición de la temperatura superficial a las 15:00 horas (horario con la mayor temperatura superficial) en la parte inferior de las placas, lo que nos arrojó los siguientes resultados:

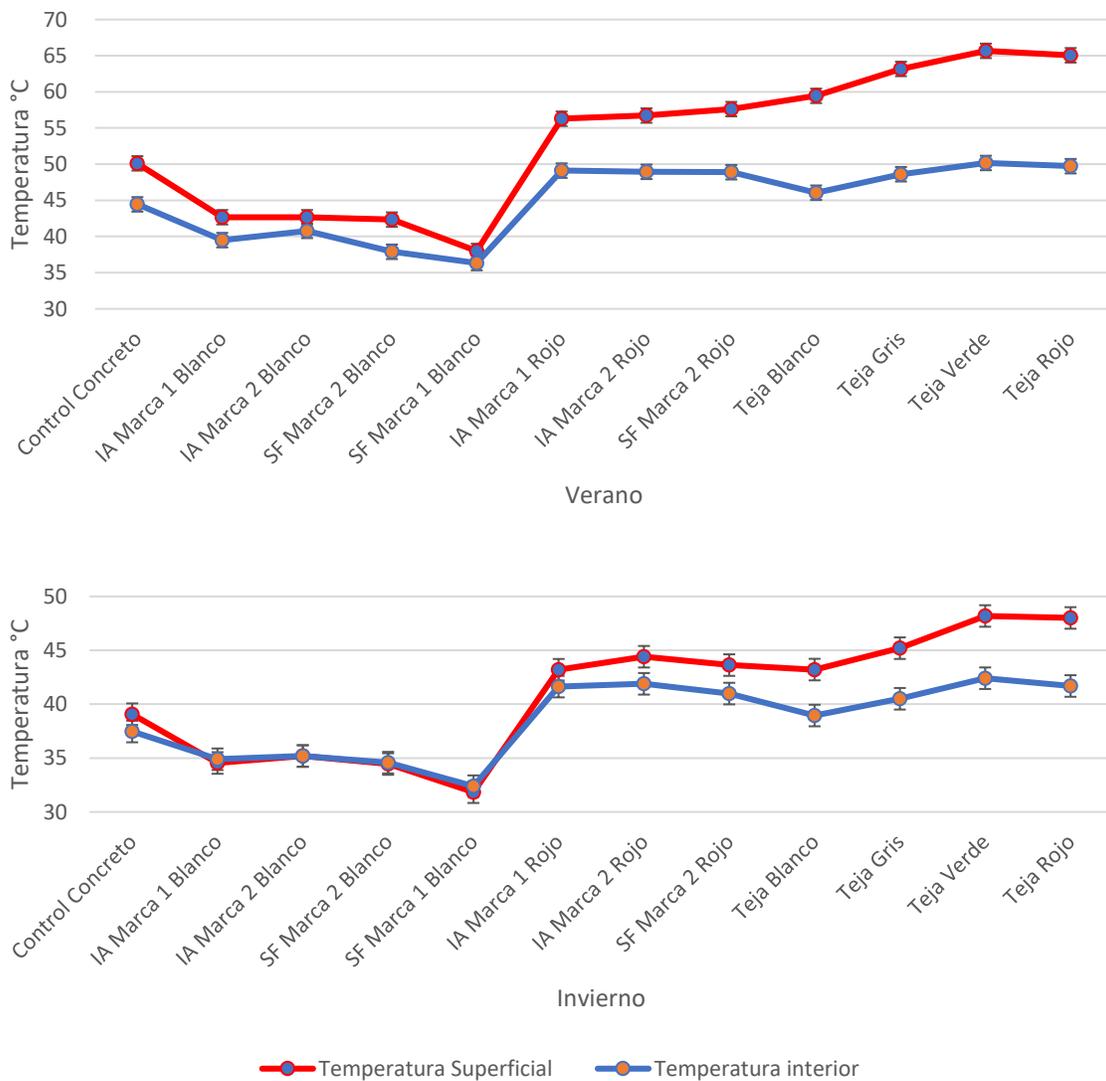


Figura 15. Comparación de temperaturas superficial e inferior de las placas de concreto, en verano e invierno.

Las gráficas nos muestran un comportamiento con un patrón similar tanto en la parte superficial como en la interior de las muestras en los dos periodos. Los materiales blancos logran las temperaturas más bajas en la parte superior, tanto en verano como en invierno, además de que, en invierno, gracias a sus propiedades aislantes no generan una temperatura “baja” en la parte inferior de las placas, ya que tanto la temperatura superior e inferior son similares.

### III.1.1 Indicador de temperatura superficial

Dados los resultados encontrados respecto del comportamiento térmico superficial de los materiales, el indicador se llevó a cabo tomando los promedios de temperaturas de cada material y se hizo la comparación con respecto a la muestra control de concreto, para poder observar la diferencia de temperatura en términos porcentuales, es decir, si son más “calientes” o “fríos” que la referencia de concreto, tal como se muestra a continuación:

Tabla 5. Indicador porcentual de la temperatura superficial, diaria y semanal en ambas estaciones, de los materiales con respecto de la muestra control de concreto.

<b>Material</b>	<b>Promedio</b>
<b>Control Concreto</b>	1.00
<b>Imp Teja Verde</b>	1.25
<b>Imp Teja Rojo</b>	1.24
<b>Imp Teja Gris</b>	1.19
<b>Imp Teja Blanco</b>	1.15
<b>Imp Acrílico Marca 2 Rojo</b>	1.09
<b>Imp Acrílico Marca 1 Rojo</b>	1.07
<b>Superficie Fresca Marca 2 Rojo</b>	1.06
<b>Imp Acrílico Marca 1 Blanco</b>	0.87
<b>Imp Acrílico Marca 2 Blanco</b>	0.87
<b>Superficie Fresca Marca 2 Blanco</b>	0.84
<b>Superficie Fresca Marca 1 Blanco</b>	0.82
<b>Superficie verde (Plantas)</b>	0.82
<b>Superficie verde (Pasto)</b>	0.51

La tabla anterior nos da como resultado del análisis de desempeño térmico las siguientes observaciones:

- Los materiales blancos se encuentran por debajo del valor del concreto puro, siendo la superficie fresca de la Marca 1 la de mayor diferencia y por lo tanto el más “frío” de entre los materiales aplicados en las placas de concreto, con un valor de **0.82**, es decir, presenta una temperatura 18% más baja.
- Las superficies con vegetación tienen un desempeño esperado al ser las de mayor diferencia del total de los materiales.
- Las tejas son los materiales con la más alta diferencia de temperatura por encima de la del concreto, siendo el color verde el más “caliente”, en promedio son 20-25% más “calientes”.
- Los impermeabilizantes rojos tienen una contribución de temperatura de casi 10% más respecto del concreto solo, lo que es un punto que resaltar dado el uso masivo de este material.
- La temperatura también se reduce en la cara interior de las muestras, siendo las tejas y los rojos los más cálidos.

De lo anterior se concluye y confirma, de acuerdo a la literatura, que los **materiales acrílicos blancos (impermeabilizante y superficie fresca) y las superficies vegetadas**, que presentan valores de temperatura menores a una superficie de concreto puro, son considerados buenas alternativas para reducir las temperaturas de las azoteas y probablemente del microclima urbano. Este análisis sirvió para comprobar las características térmicas que dichos materiales se suponen deben tener en condiciones de intemperismo, comprobando la información de los respectivos productos.

También se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si había diferencias entre los distintos. El análisis se muestra en la siguiente tabla, donde se presenta lo siguiente:

- Se aprecia de manera general la agrupación de los materiales respecto del color, teniendo a las tejas por separado, excepto la blanca, la cual tiene valores estadísticamente parecidos a los rojos.
- El control de concreto muestra una posición aislada respecto de los otros materiales, por lo que, dados los resultados, definitivamente si se genera un impacto entre sí está cubierto o no de algún material.
- Los blancos también se agruparon, estando las superficies frescas con valores similares al área verde con plantas, sin embargo, el área verde con pasto se mostró como la más baja en este análisis.

Aunque en las gráficas se observan diferencias entre los materiales acrílicos blancos, mediante este análisis se encontró que, estadísticamente, no hay diferencia entre ellos, por lo que se puede decir que la eficiencia es similar en ambos materiales; además de que las superficies vegetadas, en especial la de pasto, son las más idóneas para reducir la temperatura de entre todos los materiales analizados. Se desglosa un análisis por hora en el Anexo IV.

Tabla 6. Análisis ANOVA de grupos de los materiales, respecto de las temperaturas superficiales medias.

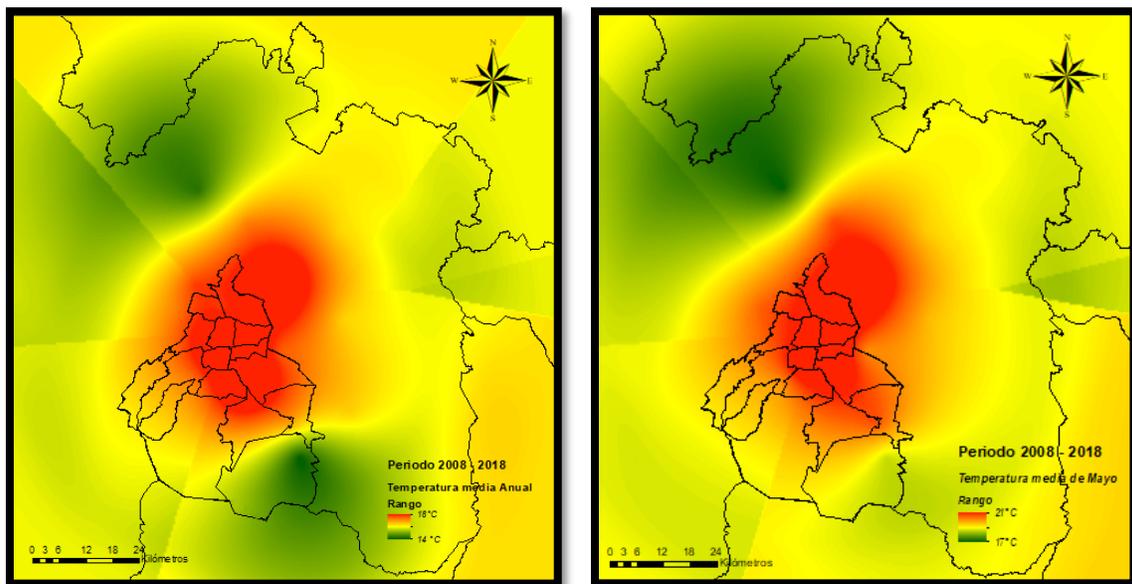
Material			Verano							Invierno										
Nombre		Tipo	Media °C	Agrupación							Media °C	Agrupación								
Tejas	Imp Teja verde	Teja	43.1667	A								29.2004	A							
	Imp Teja roja	Teja	42.4656	A								29.1825	A							
	Imp Teja gris	Teja	41.4735	A								27.4226	A	B						
	Imp Teja blanca	Teja	39.0926		B							26.3631		B	C					
Rojos	Marca 2 rojo	Superficie fresca	37.9021		B	C						26.1091		B	C					
	Marca 2 rojo	Impermeabilizante	37.2275		B	C						25.5020			C					
	Marca 1 rojo	Impermeabilizante	36.7487			C						25.0655			C					
Concreto solo	Control de concreto	Concreto joven	34.0873					D				23.0675					D			
Blancos	Marca 2 blanco	Impermeabilizante	28.4153						E			20.7222							E	
	Marca 1 blanco	Impermeabilizante	28.3280						E			20.4643							E	F
	Marca 2 blanco	Superficie fresca	27.9921						E	F		19.9603							E	F
	Marca 1 blanco	Superficie fresca	26.4153							F		19.3452							E	F
Natural	Sup verde con plantas	Área natural	26.3228							F		18.7582								F
	Sup verde con pasto	Área natural	23.6614								G	12.5515								

### III.2 Información de la encuesta

Conociendo los resultados de la metodología pasada se decidió integrar en la encuesta las alternativas de los materiales idóneos, con base en el análisis de las temperaturas, para contribuir a la mitigación de la ICU, los cuales fueron: impermeabilizante blanco, superficie fresca blanca y, para el caso de la superficie vegetada, se propuso como opción equivalente la azotea verde. Estas tres opciones fueron consultadas dentro de la encuesta, junto con otras variables más adelante explicadas, para determinar el segundo indicador consistente en el porcentaje de participación o interés en la implementación de una de ellas en su vivienda.

#### III.2.1 La isla de calor en la Ciudad de México y el sitio de estudio

Mediante información de las estaciones meteorológicas de la Ciudad de México y área metropolitana (Red automática de monitoreo ambiental) se ha detectado la distribución de la isla de calor como se muestra a continuación mediante el uso de software de sistemas de información geográfica:



*Figura 16. Distribución de la temperatura en la Ciudad de México, temperatura promedio anual y temperatura promedio del mes de mayo, del año 2008 al 2018. Fuente: Elaboración propia con los datos de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA).*

Los mapas anteriores nos muestran la distribución de la temperatura y el efecto de la isla de calor presentando una mayor intensidad en la zona centro, norte y oriente de la ciudad, coincidiendo con las zonas con mayor urbanización y expandiéndose a zonas del Estado de México. Cabe mencionar que las temperaturas de los mapas anteriores son promedios, lo que quiere decir que las temperaturas máximas alcanzadas, como se mencionó anteriormente, se registran con diferencias de entre 10 y 15 °C, siendo mayormente visible el efecto de la ICU en la noche y madrugada, aunque también aparece durante las primeras horas diurnas (Ballinas y Barradas, 2016).

Dicho lo anterior, al realizar la comparativa de los mapas de temperatura y de áreas verdes por habitante se tiene el siguiente resultado:

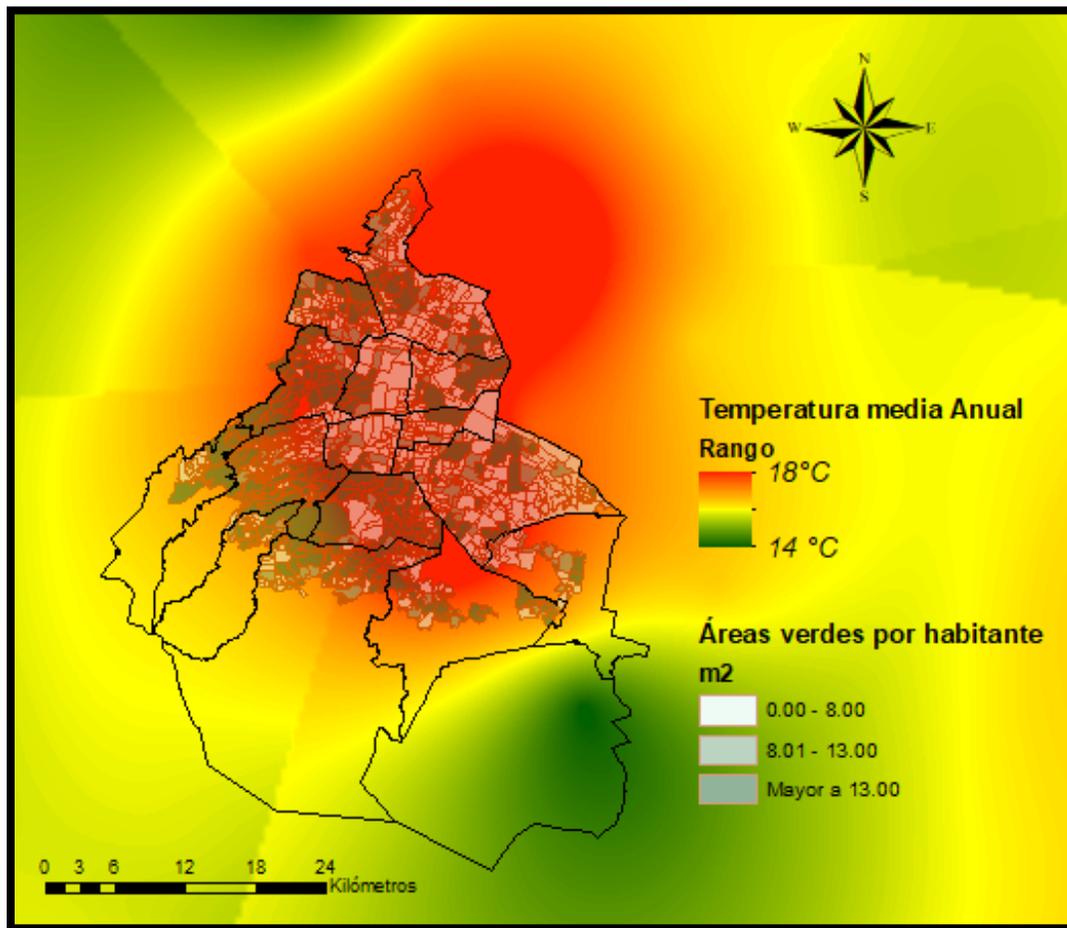


Figura 17. Mapa de calor de la Ciudad de México de 2008-2018, en traslape con el mapa de áreas verdes urbanas (PAOT, 2017).

Podemos observar que las alcaldías donde se presenta la ICU con mayor intensidad y que también presentan una baja cantidad de áreas verdes urbanas corresponden a la parte centro y oriente de la ciudad: Cuauhtémoc, Benito Juárez, Venustiano Carranza, Iztacalco

e Iztapalapa. De las cuales, la región centro concentra un área considerable de bajas áreas verdes (Cuauhtémoc y Benito Juárez). De lo anterior, se seleccionó en dichas alcaldías (dos por cada una) cuatro colonias para realizar el estudio de campo (encuestas) con uso de suelo habitacional, resultando en las siguientes:

Tabla 7. Características de las colonias seleccionadas.

Colonia	Alcaldía	Intensidad de la ICU	Áreas verdes urbanas por habitante	Uso de suelo
<b>1. Doctores</b>	Cuauhtémoc	4°C	0 – 8 m <sup>2</sup>	Habitacional con comercio, oficinas y mixto. De equipamiento
<b>2. Obrera</b>	Cuauhtémoc	4°C	0 – 8 m <sup>2</sup>	Habitacional con comercio, oficinas y mixto. De equipamiento
<b>3. Narvarte Oriente</b>	Benito Juárez	4°C	0 – 8 m <sup>2</sup>	Habitacional y de Equipamiento
<b>4. Narvarte Poniente</b>	Benito Juárez	4°C	0 – 8 m <sup>2</sup>	Habitacional y de Equipamiento

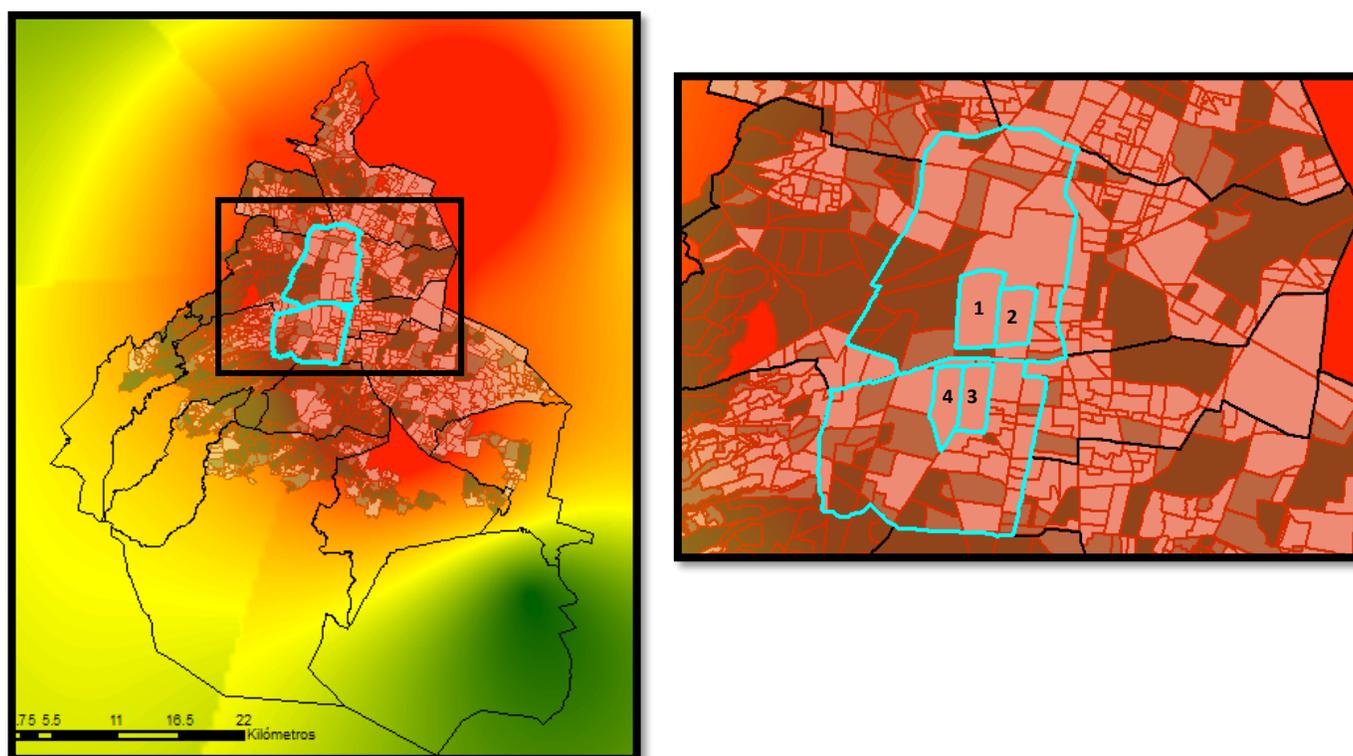


Figura 18. Ubicación de las colonias que forman parte de la zona de estudio.

Las colonias seleccionadas, además de contar con las características ya mencionadas respecto de los criterios de selección, muestran además una diversidad socioeconómica de variables tales como: ingreso, educación, edad, género (INEGI, 2018).

Dado que la población objetivo se compone de varias colonias el muestreo será estratificado, por lo que la proporción de las colonias quedó de la siguiente manera:

Tabla 8. Población y número de encuestas de las colonias de la zona de muestreo

Colonia	Población (INEGI, 2010)	Número de encuestas (n al 90% de confianza y 5% de error)
<b>Obrera</b>	35 224	73
<b>Doctores</b>	44 703	80
<b>Narvarte Oriente</b>	25 687	53
<b>Narvarte Poniente</b>	24 750	51
<b>Total</b>	130 364	257

### III.2.2 Descripción general de la población y el contexto socioeconómico

Los dos indicadores resultantes de la encuesta se verán afectados notablemente por las características de la población encuestada. Para poder entender a fondo de los resultados de la encuesta, primero debemos analizar las variables socioeconómicas de la población.

La muestra poblacional de acuerdo con los niveles de confianza establecidos previamente consta de una n=257 y proviene de las colonias Obrera, Doctores, (Alcaldía Cuauhtémoc), Narvarte Oriente y Narvarte Poniente, (Alcaldía Benito Juárez), distribuida de manera estratificada. Las variables socioeconómicas mostraron lo siguiente:

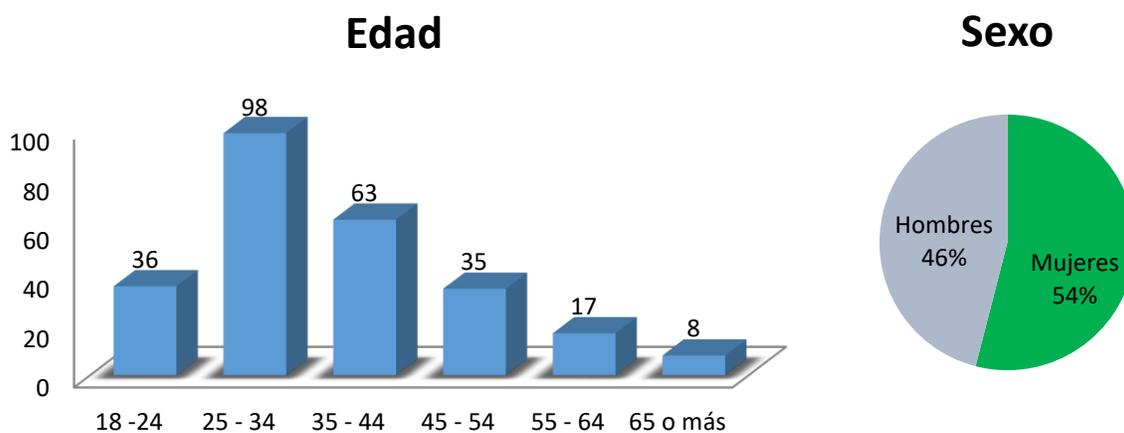


Figura 19. Frecuencias obtenidas en los rangos de edad y porcentaje respecto del sexo

La edad promedio de los encuestados fue de 37 años, con una mínima de 18 años y una máxima de 73 años, sin embargo, la distribución de las frecuencias resultó inclinada al estrato de gente joven, lo que sin duda la vuelve una variable importante y de impacto en la valoración. Mientras que respecto al porcentaje de hombres y mujeres participantes este se presentó ligeramente inclinado hacia las mujeres.

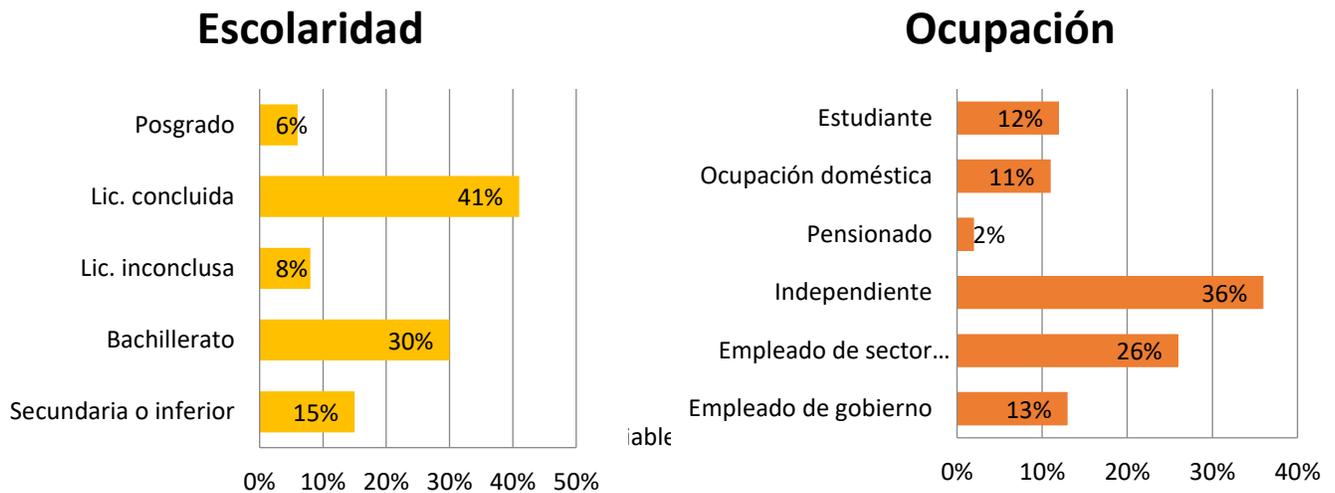


Figura 20. Niveles de escolaridad y ocupación de la población encuestada

El nivel de escolaridad mostró una diversidad y la mayoría cuenta con el nivel básico (bachillerato), aunque también se observa que prácticamente la mitad cuenta con educación superior o más. Respecto de la ocupación también se observa una diversidad, pero se acentúa en la ocupación independiente que en general involucra al oficio del comercio. Estas dos variables con respecto del ingreso parecen no tener una relación tan clara, puesto que la mitad de la población cuenta con un ingreso de 5 000 pesos o menos al mes (media de 7 400 pesos), entonces un nivel educativo alto o ser de cierta ocupación no necesariamente genera un ingreso alto. El factor ingreso definitivamente es la variable clave en la valoración económica y definirá en mucho la cantidad y la disponibilidad de aportar.

## Ingreso

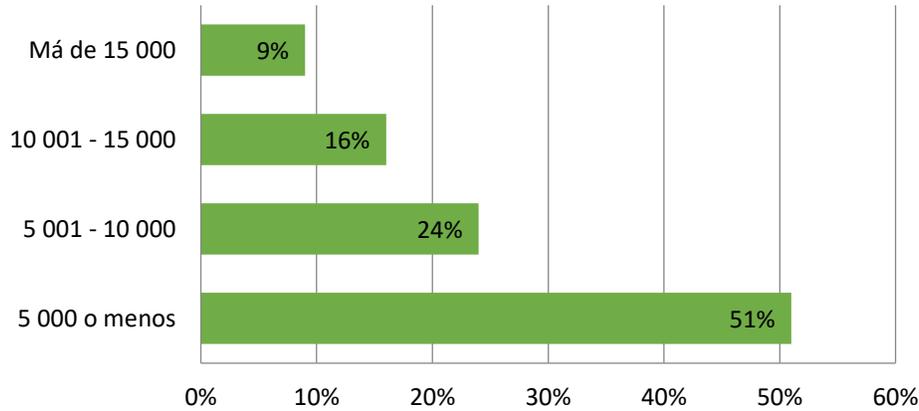


Figura 21. Variable de ingreso por mes en la muestra encuestada

En principio, respecto del diagnóstico de la problemática ambiental, los datos que expresó la gente nos muestran un nulo conocimiento del fenómeno, es decir, solo el 2% ha escuchado acerca de la “isla de calor urbana” y la relacionan con un exceso de calor pero no saben acerca de las causas y consecuencias del fenómeno, sin embargo, un 97% del total describe que ha “percibido” que la temperatura de la ciudad ha incrementado en los últimos años, estando en promedio 10.5 horas fuera de casa al día, lo cual nos indica que la población percibe un malestar respecto de la temperatura y confort térmico, pero desconoce lo que está alrededor de dicho problema.

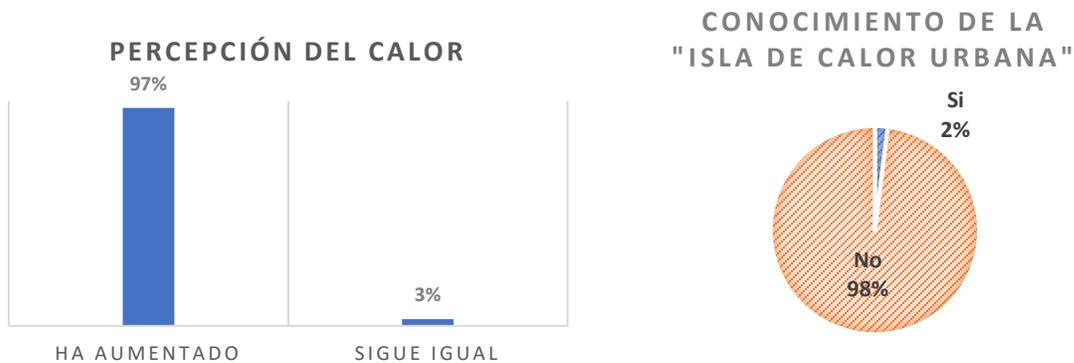


Figura 22. Percepción del calor y conocimiento del fenómeno de la “isla de calor urbana”

### III.2.3 Indicador de participación en materiales propuestos

Para desarrollar el indicador, se les preguntó antes si es que conocían dichos materiales, a lo cual los resultados indican que: menos del 5% conocen los impermeabilizantes blancos, es decir, prácticamente todos mencionaban solo conocer el clásico rojo terracota y algunos el negro, mientras que mencionaban que el 82% de ellos tienen impermeabilizada su vivienda. Hay un desconocimiento total del material conocido como superficie fresca. Para el caso de la azotea verde el resultado es similar, solo algunos habían escuchado el término y generalmente lo relacionan con “*un techo con algunas plantas*”, o en otros casos hacían referencia a esta técnica con “*tener macetas en la azotea*”, pero que en general no sabían lo que involucraba realmente (0% de conocimiento).

Dado que el desconocimiento de las tres alternativas propuestas fue casi absoluto, se les explicaba a continuación lo que consistía cada una de ellas en términos de instalación, costo, mantenimiento y beneficios. Una vez hecho esto se les preguntaba, ahora sí conociéndolas, cuál de ellas estarían interesados en implementar en sus respectivas viviendas, a lo que los resultados fueron los siguientes:

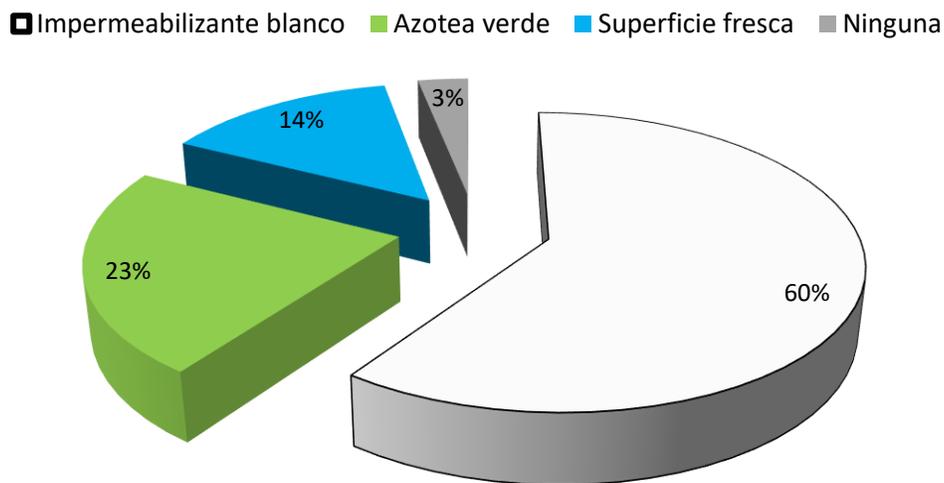


Figura 23. Distribución de la participación para implementar alguna de las alternativas propuestas

De los datos se obtuvo el indicador pretendido de la encuesta, que nos señala un **97%** de interés para implementar alguna alternativa de los materiales, distribuido como se observa en la figura anterior. Entre los comentarios recibidos respecto de sus elecciones la mayoría mencionó al factor económico como el mayor inconveniente, sobre todo para el caso de una azotea verde, la cual llamaba mucho la atención, pero económicamente era muy complicada. Otro factor que considerar en la implementación de cualquiera de estas

alternativas era la organización en las viviendas, es decir, dado que la mayoría vive en edificios de departamentos o vecindades, la organización con los vecinos era una parte clave en la realización de esta actividad, lo cual algunos lo veían complicado.

En la tercera sección respecto de la percepción de los materiales propuestos, y dado que el campo de acción se enfoca en la vivienda, se les preguntó acerca de si sabían o habían escuchado el término “vivienda sustentable”, teniendo una respuesta negativa en un 94%, por lo que no resultó sorprendente que la población no conociera los materiales propuestos (superficie fresca, impermeabilizante blanco, azotea verde), además de que hay un desconocimiento absoluto del impacto de las construcciones en el aporte térmico de cada una al microclima urbano. La gente que respondió positivamente a la pregunta anterior acerca de la vivienda sustentable generalmente lo asociaba al *uso de tecnologías para captar agua de lluvia, al uso eficiente de la energía eléctrica y a la implementación de huertos urbanos en azoteas*.

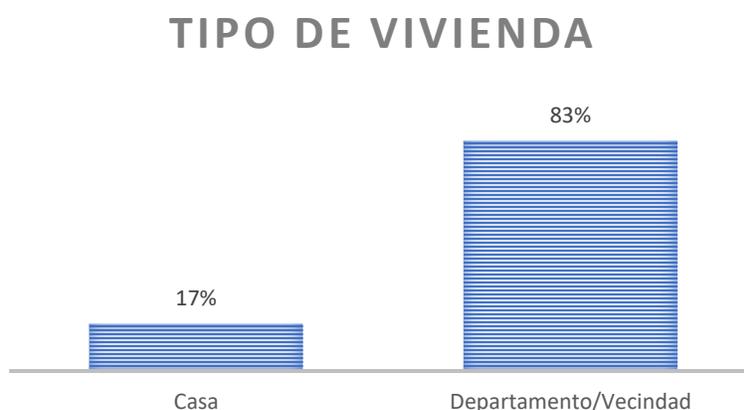


Figura 24. Tipo de vivienda de los encuestados

De todos los encuestados, la mayoría vive en departamentos o vecindades (83%) mientras que el resto lo hace en casa habitación (17%), el cual es un aspecto importante que tomar en cuenta, dado que ello puede afectar el interés en participar en alguna de las propuestas, como se vio anteriormente.

Dentro del contexto de una posible política pública, se les preguntó acerca de si podrían participar en alguna alternativa mediante un apoyo económico, a lo cual todos respondieron positivamente, y al preguntarles si a cambio podrían participar en actividades como de tipo servicio social o actividades ambientales (talleres, pláticas, etc.) un 64% respondió afirmativamente y podrían acudir por lo menos una vez a la semana (un par de horas) a apoyar en este tipo de dinámicas, siempre y cuando no interviniera en sus actividades laborales. La gente que respondió que no estaba interesada mostraba una actitud de desidia ante dichas actividades.

## RETRIBUCIÓN CON HORAS DE TRABAJO

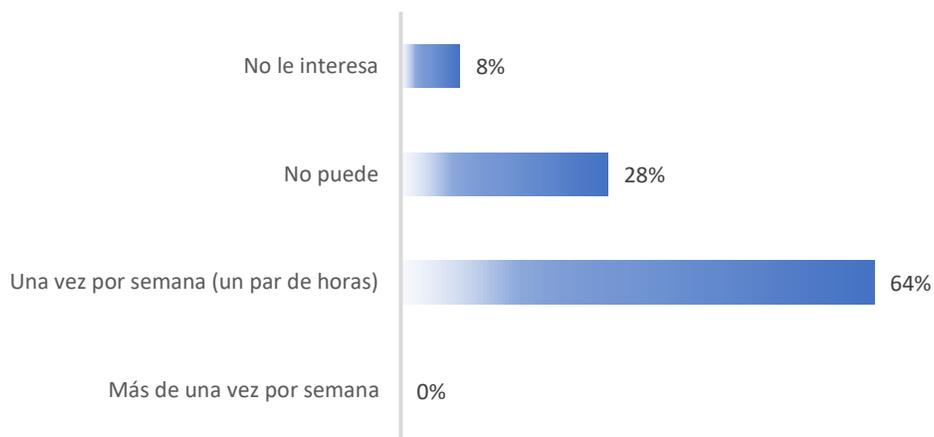


Figura 25. Porcentaje de población con disposición a realizar trabajo por apoyo económico

Al darles opciones o facilidades económicas con respecto a la azotea verde, el porcentaje de elección de la azotea verde subió de 23% al 94%, con las siguientes opciones:

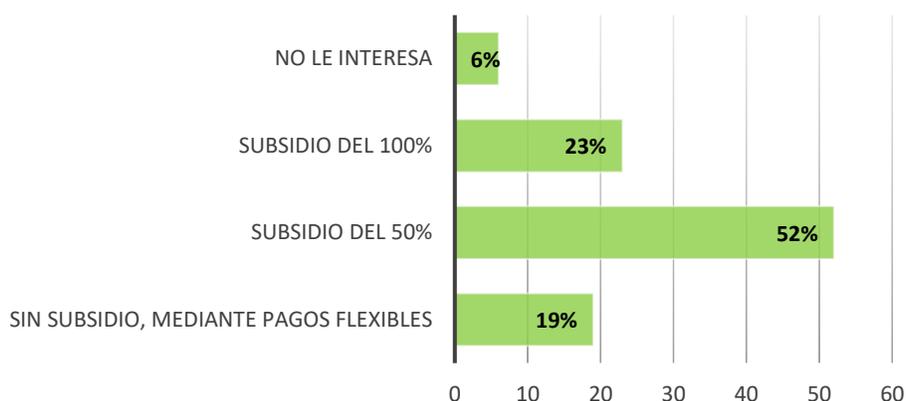


Figura 26. Opciones económicas elegidas para una azotea verde

Sin embargo, a pesar de que la mayoría de las personas se mostraron positivas a participar en alguna de las opciones presentadas, la mitad de ella se opuso a un posible monitoreo de parte de la autoridad ambiental respecto del cumplimiento, lo que complicaría la evaluación de la política pública. Otra pregunta más específica a los propósitos de este proyecto fue acerca del conocimiento que tenían acerca del Programa de naturación de azoteas de la Ciudad de México, a lo cual toda la gente mostró un desconocimiento total del mismo, siendo un tema de gran interés dado que ese programa data del 2007. Para terminar se les cuestionó, con fines de diagnóstico respecto de la opinión y participación pública, si es que en algún momento se les había hecho alguna encuesta de este tipo con respecto de temas ambientales o en general de tópicos sociales, a lo que la gente con un

97% respondió que no, y que prácticamente las únicas encuestas que se les habían hecho eran por cuestiones de mercado, para productos de distinta índole, y es sin duda un punto a resaltar dentro de la encuesta.

Aplicación de algún tipo de encuesta de interés social

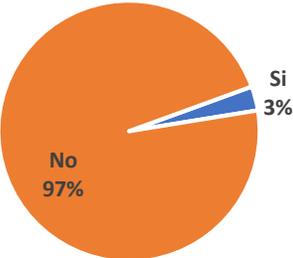


Figura 27. Porcentaje de personas encuestadas en temas de interés social.

III.2.4 Indicador valoración económica del confort térmico

Como se ha mencionado, el método de valoración contingente supone que las personas encuestadas responden ante un mercado simulado del bien o servicio a valorar de la misma forma en que lo hacen con productos en un mercado real, por lo que su disponibilidad a pagar expresada a través de la encuesta es una medida monetaria real del cambio en su bienestar ante cambios en el ambiente.

Del total encuestado solo el 45% estaría dispuesto a aportar alguna cantidad para mejorar el confort térmico, siendo la principal razón para la negativa que “es responsabilidad del gobierno atender esas problemáticas”, y mencionando un inconveniente respecto del ingreso.

Disposición a aportar una cantidad monetaria

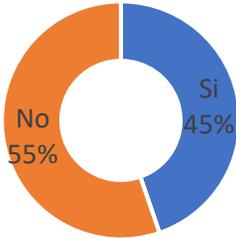


Figura 28. Respuesta de la población para aportar en la valoración del confort térmico

El método usado en la encuesta para la pregunta acerca de la valoración económica era en formato abierto, lo cual da la posibilidad de que el encuestado manifieste una cantidad (por mes) sin algún factor que influya en su decisión, a lo que la distribución de frecuencias respecto de las cantidades mencionadas se muestra a continuación:

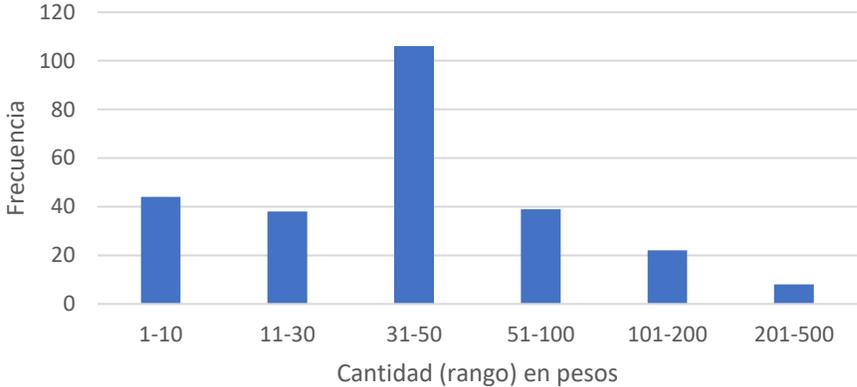


Figura 29. Frecuencias de los montos expresados para la valoración del confort térmico

Como se aprecia en figura anterior, las cantidades aportadas por la población llegan hasta los 500 pesos, teniendo la mayor cantidad de frecuencias valores debajo de los 100 pesos y disminuyendo conforme aumentan. La estadística nos da como resultado 74 pesos en promedio que la gente estaría dispuesta a aportar.

Por lo anterior, se comparó la disposición a aportar (de la pregunta 4) con las variables del ingreso y el monto a aportar, y el resultado fue el siguiente:

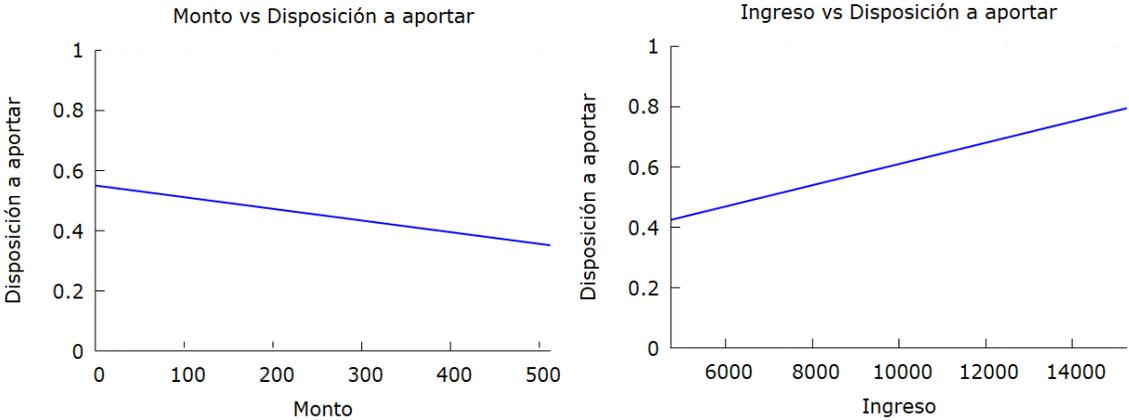


Figura 30. Relación de la disposición a pagar contra el monto (izquierda) y el ingreso (derecha).

De acuerdo a la figura de la izquierda, hay una tendencia decreciente para la disposición a aportar, esto es, conforme aumenta el monto la probabilidad de que ésta sea afirmativa disminuye (recordando que para la disposición se toma valor de 1 en caso afirmativo, es decir, que la persona está dispuesta a aportar); esto nos indica que los datos de la población se comportan de manera esperada, en el sentido de que se esperaría que entre mayor sea el monto, menor sea la probabilidad de que alguien se decida a hacerlo. En la figura de la derecha se observa otro fenómeno esperado, el cual nos indica que a mayor nivel de ingreso hay una probabilidad más alta de que la disposición sea afirmativa.

El 88% de los encuestados estuvo de acuerdo en que, si se requiriera el pago, éste podría ser realizado mediante algún recibo de otro servicio (telefonía, agua, electricidad). En términos de “confianza” de la administración de los recursos recabados, la ciudadanía opinó de la siguiente manera:

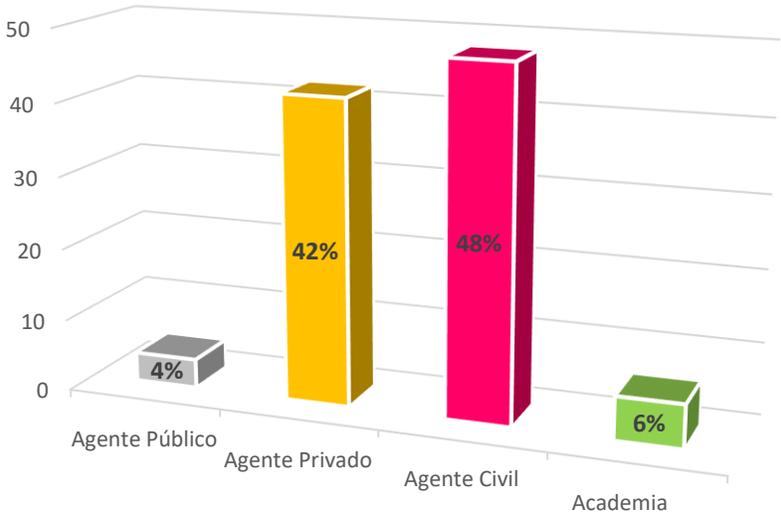


Figura 31. Administración de los recursos, según los encuestados.

De donde se puede apreciar la poca confianza de la población con el ente público, referidos en específico al gobierno, mientras que la iniciativa privada y la sociedad mantienen distancias cercanas y una relativa alta confianza, teniendo en tercer lugar a la academia, la cual fue mencionada como una nueva opción dentro de la pregunta de la encuesta.

## Obtención de la DAP monetaria

Como se explicó en la metodología, las preguntas de la encuesta se convierten en variables para la modelación econométrica tal como se identifican en la siguiente tabla acompañadas de las respuestas que conllevaba cada una:

Tabla 9. Variables de la encuesta

ID	Preguntas/Variables	Respuesta
X1	Percepción del estrés térmico	(1) Aumentado (2) Sigue igual (3) Disminuido
X2	Horas fuera de casa	Valor numérico
X3	Conocimiento del fenómeno de la ICU	1 - Si 0 – No
X4	Disponibilidad a pagar por un mejor confort térmico	1 - Si 0 – No
X5	Monto a pagar	Valor numérico
X6	Administración de recursos	1-Agente Público 2-Agente Privado 3-Asociación Civil 4-Otra
X7	Accesibilidad a forma de cobro propuesta (predial/agua/luz/nómina)	1 - Si 0 – No
X8	Tipo de vivienda	1-Casa propia 0-Departamento
X9	Conocimiento del diseño térmico de su vivienda	1 - Si 0 – No
X10	Conocimiento de “vivienda sustentable”	1 - Si 0 – No
X11	Impermeabilización de vivienda	1 - Si 0 – No
X12	Conocimiento de “superficie fresca”	1 - Si 0 – No
X13	Conocimiento de “azotea verde”	1 - Si 0 – No
X14	Selección de material propuesto	1-Superficie Fresca 2-Azotea Verde 3-Impermeabilizante 4-Ninguna
X15	Selección de propuesta respecto del costo (azotea verde)	1-Costo total a pagos 2-Costo subsidiado 3-Sin costo 4-Ninguna
X16	Implementación de alguna propuesta mediante beneficio fiscal	1 - Si 0 – No
X17	Accesibilidad a monitoreo de azotea	1 - Si 0 – No
X18	Conocimiento del programa de azoteas verdes de la CDMX	1 - Si 0 – No
X19	Inclusión de opinión en encuestas	1 - Si 0 – No
X20	Participación en actividades ambientales compensatorias	1-Más de 2 horas a la semana 2-Dos horas de la semana 3-No puede 4-No le interesa
X21	Edad	Valor numérico

<b>X22</b>	Género	1-Femenino 0-Masculino
<b>X23</b>	¿Cuál es su grado máximo de escolaridad?	1-Secundaria 2-Preparatoria 3-Lic. Inconclusa 4-Lic. Concluida 5-Posgrado
<b>X24</b>	¿Cuál es su estado civil?	1-Soltero 2-Casado 3-Divorciado 4-Viudo
<b>X25</b>	¿Cuál es su ocupación?	1-Empleado de Gobierno 2-Empleado del sector privado 3-Independiente 4-Pensionado 5-Ocupación doméstica 6-Estudiente
<b>X26</b>	Si actualmente percibe algún ingreso, ¿cuál es su nivel aproximado?	Valor numérico

Dichas variables sirvieron para la construcción de una ecuación, con las cuales se generaron varios modelos utilizando las variables significativas estadísticamente y de importancia dado su significado, abordadas en el siguiente cuadro:

Tabla 10. Variables usadas en la construcción de los modelos de la DAP

ID	Nombre de la variable	Coeficientes		
		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
	Constante	-0.292180	-0.225101	-0.272287
<b>X1</b>	Percepción del estrés térmico	0.557267	0.428143	0.611980
<b>X2</b>	Horas fuera de casa **	-0.234357	-0.228498	-0.216822
<b>X3</b>	Conocimiento de la ICU	0.517075	0.494081	0.616241
<b>X5</b>	Monto ***	-0.0133544	-0.0132668	-0.0127073
<b>X8</b>	Tipo de Vivienda	-0.590505		
<b>X10</b>	Conocimiento de vivienda sustentable **	1.23392	1.21849	
<b>X21</b>	Edad ***	-0.0448719	-0.0436898	-0.0479439
<b>X23</b>	Escolaridad **	0.287256	0.295343	0.299962
<b>X26</b>	Ingreso ***	0.000477962	0.000470507	0.000461358
<b>DAP media (en pesos al mes)</b>		12.001	79.704	27.000

Nota: Significancia estadística = \* 90%, \*\* 95%, \*\*\*99%.

Las variables utilizadas para la construcción de los tres modelos anteriores fueron seleccionadas dada su significancia estadística (90%, 95%, 99%) y aquellas que no tienen esa condición como es el caso de las variables X1 (percepción del estrés térmico), X3 (Conocimiento de la isla de calor urbana) y X8 (tipo de vivienda), fueron seleccionadas dada su naturaleza e importancia, puesto que abordan temas clave en la percepción del encuestado respecto del confort térmico y para la valoración del mismo.

Al observar los resultados se seleccionó el modelo 3, puesto que la DAP obtenida presenta un valor coherente, presenta variables adecuadas, con significancia y presentan coeficientes con los signos adecuados, la ecuación entonces queda de la siguiente manera:

$$DAA = -0.272287 + 0.611980*X1 - 0.216822*X2 + 0.616241*X3 - 0.0127073*X5 - 0.0479439*X21 + 0.299962*X23 + 0.000461358*X26 + e$$

Las variables independientes o explicativas del modelo seleccionado se desarrollan en la siguiente tabla.

Tabla 11. Variables a utilizar en la ecuación de la DAA.

ID	Variable	Descripción	Signo	Interpretación
<b>X1</b>	Percepción del estrés térmico	Percepción del estrés por la temperatura, variable categórica, 1 al 3.	Positiva	A una percepción mayor del estrés térmico, aumenta la probabilidad de la DAA afirmativa.
<b>X2</b>	Horas fuera de casa	Valor numérico del tiempo (en horas) que pasa el encuestado fuera de su hogar.	Negativo	A mayor cantidad de horas fuera de casa disminuye la probabilidad de la DAA afirmativa.
<b>X3</b>	Conocimiento de la Isla de Calor Urbana	Conocimiento del efecto de la ICU. Variable dicotómica (0 para No y 1 para Si)	Positivo	Entre más gente sepa acerca del fenómeno de la ICU, mayor es la probabilidad para la DAA afirmativa.
<b>X5</b>	Monto a pagar	Valor numérico de la cantidad (en pesos al mes) que podría aportar para mejorar el confort térmico.	Negativo	Entre más grande sea el monto que se requiera aportar, menor es la probabilidad de DAA afirmativa.
<b>X21</b>	Edad	Valor numérico de la edad de la persona	Negativo	La gente con mayor edad produce un impacto de mayor probabilidad para la DAA afirmativa.
<b>X23</b>	Escolaridad	Variable categórica, del 1 al 5, de menor a mayor nivel.	Positivo	A menor nivel de escolaridad aumenta la probabilidad de la DAA afirmativa.
<b>X26</b>	Ingreso	Valor numérico promedio del ingreso	Positivo	Entre mayor sea el ingreso, mayor es la probabilidad de que la DAA sea afirmativa.

Al resolver la ecuación del modelo 3, el resultando fue nuestro tercer indicador con un valor promedio de **27 pesos**, (la media de los datos fue 74 pesos), recordando que esa cantidad es por mes, esto significa que cada encuestado podría aportar **324 pesos al año** en pro del confort térmico de la Ciudad de México, lo que multiplicado por el total de la población objetivo suponiendo una respuesta positiva a la aportación da una cantidad de 42.2 millones de pesos al año. El monto a aportar se preguntó por mes, esto es, dado que en las encuestas piloto se encontró que la gente daba una cantidad más confiable y que podría aportar en varios periodos de tiempo. Esta cantidad es la que, en términos monetarios, da una magnitud del valor que la población encuestada le da al confort térmico y que estaría dispuesta a ceder de sus ingresos como parte de una mejora en el ambiente, siendo un valor de referencia para un servicio ambiental poco estudiado.

#### IV. DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos mediante los tres indicadores nos pueden brindar la información necesaria para sentar bases más sólidas para la creación de una política pública con miras a la mitigación del efecto de la isla de calor urbana. La legislación ambiental mexicana, y en específico la de la Ciudad de México, no ha implementado de manera directa alguna normatividad respecto de este fenómeno. Estos indicadores fueron establecidos pensando en cada una de las tres esferas de la sostenibilidad y tratando de involucrar a la sociedad, academia y gobierno. Si bien es cierto que es apenas un acercamiento muy básico, puede generar información acerca de por dónde iniciar el proceso de una política encaminada a este problema socioambiental.

El primer indicador, que aborda la parte ambiental, nos permite hacer una evaluación acerca de las implicaciones térmicas de cada tipo de material y, con este criterio, poder hacer una propuesta de materiales que pueden ser utilizados como referencia en la posible política pública, es decir, que las azoteas verdes, impermeabilizantes blancos y superficies frescas pueden ser incluidos en alguna propuesta ambiental de mitigación de la isla de calor. La selección de esos materiales, a diferencia de los de uso común (concreto solo, impermeabilizantes rojos y negros), tienen beneficios ambientales adicionales ya comprobados y se encuentran al alcance de toda la población en el mercado. Las pruebas realizadas se enfocan en la temperatura superficial con el propósito de comprobar y ratificar el comportamiento térmico de algunas marcas comerciales, en un enfoque de auditoría para estos materiales.

Los materiales acrílicos (impermeabilizantes y superficies frescas), tienen propiedades de aislamiento, siendo la azotea verde propiamente una capa estructural aislante, lo cual, aparte de reducir las emisiones de radiación infrarroja a la atmósfera, puede mitigar los gastos energéticos del edificio provocados por los climas extremos. Lo anterior hace referencia a las implicaciones que tendrían en la época invernal, donde el efecto de isla de calor podría ser beneficioso en el confort térmico de la gente, sin embargo, al tener estas propiedades aislantes este inconveniente no se hace tan marcado. Dicho lo anterior se puede decir que el uso de estos materiales aporta una medida de adaptación al fenómeno de la ICU, al proporcionar alternativas respecto del calentamiento de los edificios.

Cabe resaltar dentro de esta discusión, que el uso de estos materiales debe de ir acompañado con un mejoramiento de la calidad del aire de la ciudad, ya que al propiciar que la radiación sea reflejada de nuevo a la atmósfera, ésta puede ser detenida por las capas de partículas contaminantes, lo cual generaría que el calor ahora se genere y almacene en las distintas capas de la atmósfera, exacerbando el fenómeno en estudio.

El segundo indicador referente a la participación, por lo menos en la parte estadística, en alguna de las opciones de materiales, nos indica un alto porcentaje, lo cual nos quiere decir que hay un alto interés de la gente en la implementación de alguna alternativa dado el conocimiento de éstas. La practicidad del uso de los impermeabilizantes y las superficies frescas, además del costo, los hacen las opciones más viables, mientras que las azoteas verdes a pesar de tener muchos más beneficios ambientales y sociales, presentan la dificultad de requerir edificios más sólidos y que la inversión es más fuerte, lo que muchos no podrían solventar. En el caso de que en el edificio se pudiera construir una azotea verde, y que se proporcionara un porcentaje de subsidio, animaría a más gente a implementarlas. Para lo anterior se tendrían que hacer análisis más profundos respecto de presupuestos y estudios estructurales, ya que la idea es la implementación masiva de estas opciones para propiciar un microclima urbano más adecuado al confort de la población.

La encuesta fue diseñada para estudiar tres aspectos en la población: poder hacer un diagnóstico de conocimiento de la problemática ambiental, conocer la percepción de los materiales propuestos y cuestiones que implicarían una política pública, y poder hacer una valoración económica de un servicio ambiental poco documentado en términos económicos. Lo que nos arroja dicha encuesta, y que parece ser el punto más importante, es el desconocimiento de la problemática y de las formas de mitigación. Cuando se desconoce una problemática y las formas de mitigación, no se puede hablar de elaborar acciones puesto que no hay un entendimiento del tema, lo que nos lleva a lo siguiente: la difusión de la información. La información sigue siendo una de las claves para enfrentar este tipo de problemas dada su complejidad y escala, por lo que es uno de los campos de acción fundamentales. Aunque se encontró en los resultados que la población percibe el estrés térmico, no sabe las causas de éste y es probable que nos estemos acostumbrando a “convivir” con los problemas ambientales pues ya lo vemos como condiciones de vida normales y por lo tanto no hagamos nada al respecto.

El análisis costo beneficio juega un papel importante en cualquier propuesta de política pública. Se sabe y se han demostrado los distintos beneficios que genera el uso de los materiales propuestos para la mitigación de la ICU, los cuales abordan temas ambientales, sociales y económicos. Sin embargo, el factor económico de la población puede limitar la efectividad de la implementación. Como se mencionó anteriormente, dado que los materiales acrílicos son relativamente baratos y necesarios en las construcciones, son la opción con más aceptación, pero aun así no es un hecho seguro de que se implementen, lo cual lleva a pensar que el uso de estímulos económicos puede hacer que la gente voltee a ver estas prácticas y que se familiarice con ellas. Las tecnologías propuestas ya conllevan un balance económico redituable, puesto que los ahorros energéticos que generan al interior del edificio hacen que a cierto tiempo la inversión se recupere, pero incentivar a la población haría que la implementación se llevara a cabo de manera más rápida y en

grandes proporciones, lo que ayudaría a verse reflejado más rápida su efectividad en la mitigación del efecto de la ICU.

En el análisis económico se logró obtener un indicador del que no se encontraron referencias en la literatura, acerca de la valoración económica del confort térmico. Este servicio había sido estudiado de manera más específica mediante otros enfoques, pero no desde la económica, donde la población le puede otorgar un valor monetario. Si bien es cierto que, a pesar de que se obtuvo un valor mediante las herramientas de la economía ambiental, se debe manejar e interpretar dicho resultado con cuidado, puesto que sigue siendo un valor de referencia un tanto subjetivo dado por las condiciones de la metodología que se utilizó, donde la encuesta fue la herramienta y la población fue la fuente de información. Dicho de otra forma, la información que se obtuvo de la gente tiene mucho que ver con el contexto ambiental y económico de cuando se realizó dicho ejercicio, por lo que no se puede saber con exactitud y si se hubiera obtenido un valor similar un tiempo antes o si tiempo después se daría el mismo resultado, como se dijo anteriormente, estamos inmersos en un estilo de vida donde puede que nos acostumbremos a las malas condiciones de vida, por lo que la valoración de un servicio ambiental como lo es el confort térmico no tenga una relevancia o prioridad muy grande entre la población.

La realidad social es un factor en muchas ocasiones impide llevar a bien cualquier estrategia social. Durante la labor de campo en la realización de las encuestas, a parte de la recopilación de datos, se encontraron varios temas de interés social que pueden tomar papeles importantes en la ejecución de la política pública. En primer lugar, se observó la reacción positiva e interesada de la población cuando notaban que se les tomaba en cuenta mediante una simple encuesta, para la “toma de decisiones” de políticas; es decir, la gente manifestaba en sus reacciones y palabras un sentimiento de satisfacción al sentir que se estaban involucrando y que su opinión estaba siendo tomada en cuenta, sobre todo en las colonias Doctores y Obrera. Como se vio en la estadística de la encuesta, prácticamente nadie de la muestra poblacional había sido encuestado para cualquier programa ya sea de tipo ambiental o social, lo que refleja una falta de vinculación con los protagonistas de la ciudad.

Otro tema a resaltar son las prioridades de la población, ya que cuando se tienen problemas más importantes que atender el tema ambiental pasa a un segundo o tercer plano; lo anterior en referencia a que dentro de las manifestaciones de la gente se pudo identificar que mientras se tengan problemas sociales de más impacto en la vida, como lo son la delincuencia o ingreso salarial, hablar del cuidado del ambiente pierde el sentido, por lo que no atender estos temas puede significar una traba en otros asuntos. Por último, se observó en el trabajo de campo un tema que ha marcado la vida del planeta los últimos años, décadas y hasta siglos, haciendo referencia al comportamiento individualista de la gente. Las responsabilidades y beneficios que se pueden lograr mediante la

implementación de estas medidas de mitigación siguen siendo vistas de forma individual y no como parte del colectivo del que se forma parte. La gente encuestada aún ve con cierto rechazo a la colaboración, por lo que esta podría ser una inconveniente si no se maneja con cuidado.

Las estrategias de política pública deben abordar de manera muy cuidadosa a la población objetivo, pues son ellos realmente quienes ejecutarán y decidirán de cierta manera el éxito o fracaso de cualquier iniciativa. Si bien es cierto que hubo una respuesta positiva a participar en estas propuestas de mitigación, también es cierto que pueden generarse nuevos conflictos. Aquellos espacios donde se requiera compartir la responsabilidad de implementación, por ejemplo, los departamentos o vecindades, pueden ser oportunidades de acción para fomentar la cohesión social pero también pudieran generarse fricciones si no se maneja de manera adecuada.

También cabe resaltar que los resultados en general de la encuesta están viciados respecto del contexto ambiental, social y económico, es decir, que el simple hecho de haber realizado la encuesta en época de verano tiene su influencia en los resultados, cosa que en otro tiempo del año pudo haber arrojado otros resultados. Es de tomar en cuenta que distintas variables pudieron haber cambiado respecto del tiempo de ejecución de la investigación, no solo en las ambientales, sino también en las sociales y económicas, puesto distintos factores tales como la situación económica y política de esos entonces en que fue realizada la encuesta (mediados de 2018) pudieron influir de manera directa en algunas variables.

### Análisis del Programa de beneficios fiscales para naturación de azoteas en la Ciudad de México

Dado que dentro de los objetivos de este proyecto se busca coadyuvar a la formulación de una política pública, se fijó como referencia al Programa de naturación de azoteas presente en la Ciudad de México, por las características que implicaba y que es de interés dada la propuesta que se aborda en este proyecto acerca de materiales para azoteas en la mitigación de la ICU. Dicho lo anterior se hizo una investigación respecto de esta política mediante documentación y una entrevista a la Secretaría del Medio Ambiente de esta ciudad, más específicamente con la Dirección de Manejo y Regulación de Áreas Verdes Urbanas, entidad encargada de supervisar la parte técnica de las superficies.

Como se mencionó en los antecedentes, este programa lanzado desde 2007 consiste en un beneficio fiscal del 10% en la reducción del impuesto predial a las personas físicas que instalen un sistema de naturación de azoteas, descrito en el Código Fiscal del Distrito Federal (artículo 296 BIS, fracción II). Para que se pueda otorgar este beneficio es necesario cumplir con la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007,

la cual establece los requisitos necesarios para la validación de la superficie naturada, misma que debe abarcar por lo menos un tercio de la azotea, luego de la instalación se debe avisar a la autoridad ambiental para hacer la revisión correspondiente y obtener el descuento.

De lo anterior surgen, algunas cuestiones a discutir, principalmente las siguientes:

- Es positivo que se generen políticas ambientales que den paso a la inclusión de este tipo de tecnologías en la normatividad, la cual debe extenderse a distintos campos de acción ambiental, es decir, no solo verse desde el punto de vista de acción voluntaria, sino que debe hacerse obligatoria.
- Se observa muy remarcada la exclusión hacia el público que va dirigido, ya que, a pesar de que en si la tecnología es redituable (aunque a largo plazo), el costo de instalación es muy alto y los beneficios obtenidos (10% de descuento predial) son poco o nada atractivos, lo que hace prácticamente imposible su implementación.
- La generación de este tipo de programas debe estar enfocado a metas tangibles de beneficios comunes, y no solo que sean desarrolladas a partir de objetivos políticos particulares.

La SEDEMA se encarga, respecto de este tema, principalmente en las azoteas que se generan mediante el presupuesto del gobierno de la ciudad:

“La implementación de las primeras azoteas verdes en la Ciudad de México se llevó a cabo en el año 2007, se naturaron 2,226.56 m<sup>2</sup> de azotea en colaboración con el Sistema de Transporte Colectivo Metro, el CENDI para trabajadores del Sistema de Transporte Metro con una superficie naturada de 1,189.56 m<sup>2</sup> y la Glorieta del Metro Insurgentes del Sistema de Transporte Metro con una superficie naturada de 1,037.00 m<sup>2</sup>. En años consecuentes se incrementó la cantidad de superficie naturada, sin embargo, solo en edificios dependientes de gobierno. “

Del punto anterior se puede deducir que el enfoque del gobierno en esta tecnología se direcciona a edificios de carácter privado y gubernamental (personas morales), dejando de lado a la sociedad. A pesar de que la población en general si puede participar, no hay facilidades para ello. Todas aquellas áreas verdes no se monitorean de manera adecuada, lo que ha ocasionado que algunas ya no estén vigentes.

“Fue en este mismo año (2007), durante la administración del Lic. Marcelo Ebrard, que se implementó la iniciativa de descuento predial (10%) mediante la solicitud a la Secretaría de Finanzas, la cual autorizó y fijó el monto. El programa no está vinculado a ningún programa de recursos públicos, por lo cual se trabaja tratando de “capturar” recursos de programas relacionados a las azoteas verdes.”

La implementación de un estímulo fiscal no fue generada mediante alguna metodología de ellos, sino que fue impuesta por otro organismo, la Secretaría de Finanzas, lo que ocasionó que no generara el impacto deseado al no ser lo suficientemente atractivo. Ya que de acuerdo con sus datos y obtenidos a través del IFAI, la cantidad de solicitudes por

parte de la población civil para obtener este descuento fiscal fue de 3 solicitudes desde 2007 y hasta 2018, de las cuales ninguna procedió dado que no cumplieron con la Norma NADF-013-RNAT-2007.

“Para el desarrollo del programa se ha tenido colaboración solamente en la parte de construcción en sitio de la tecnología, por parte de la Universidad Autónoma de Chapingo, con quiénes en años anteriores se colaboró para esa parte, pero que ya no se realiza; mientras que, respecto a asociaciones civiles o empresas, no se tiene relación o convenio alguno.”

La colaboración en esta política no es muy amplia, lo que también delimita en cierta forma el rango de acción, puesto que podría haber más actores involucrados que pudieran aportar en la misma. La titular del programa de azoteas verdes mencionó que se encuentran en constante comunicación con diversos actores relacionados a esta política, para que en conjunto se pueda ir complementando y pueda mejorar en términos de eficiencia y alcance.

Para este programa, al no tener una fuente de recursos económicos de forma fija y segura, se tienen varias limitaciones. No se tienen antecedentes de estudios de percepción social ni de valoración económica, todo se realiza con actividades de esta entidad y con el personal de la misma, el cual es limitado. Las asesorías para quien quiera realizar la naturación de su azotea se realizan de manera telefónica y no se cuenta con algún método de difusión que no sea con la página de la SEDEMA. Es precisamente la falta de difusión uno de los problemas de la implementación por parte de la población, respecto de la tecnología como tal, así como del programa de descuento en el impuesto predial. Aunado a esto se tiene también el inconveniente del precio en la tecnología, lo cual parece un duro golpe a la economía de la gente.

Se considera que el programa tiene grandes alcances a futuro, dado que aún se tienen muchas limitaciones presupuestarias en la entidad y por lo tanto el margen de acción es muy poco; y en espera de que se “abarate” la tecnología, es que se tiene poco conocimiento de la población y por lo mismo una nula demanda e implementación.

### **Recomendaciones de la investigación**

Los tres indicadores que se proponen en esta investigación fueron pensados para complementar un programa de este tipo, ya que se desarrollaron en principio con un enfoque vinculante e incluyente, tomando a las tres esferas de la sostenibilidad como base.

El primer indicador plantea la posibilidad de otros dos tipos de materiales (impermeabilizantes blancos y superficies frescas) aunados a las azoteas verdes para ser opciones de implementación de parte del usuario y que puedan ser incluidos en el programa de beneficios fiscales. Este indicador de la temperatura superficial aporta la

información de lo que se puede lograr al implementarlos en lugar de los de uso tradicional en las azoteas de la ciudad, por lo que la mitigación de la ICU sería el objetivo principal. Los beneficios ambientales de las azoteas verdes comparten similitudes con las otras dos opciones en el tema de la mitigación de la ICU, sin embargo, a las azoteas verdes se les evalúa mediante una norma mexicana, por lo cual faltaría una homóloga para el uso de los impermeabilizantes y superficies frescas.

El segundo indicador sirve primeramente de apoyo a la iniciativa de la política pública, puesto que muestra una respuesta muy positiva a estos materiales y la posible participación de la gente en su implementación (97%). Con la propuesta de estas tres opciones se tiene más variedad y se incluiría a quienes no puedan pagar por la implementación de una azotea verde, lo que podría propiciar que los costos bajen y puede ocasionar una respuesta masiva de la población. El interés de la población es más que evidente y esta información lo deja de manifiesto, aunque en principio no se conocían estos materiales, una vez sabiendo los beneficios que se pueden adquirir es muy probable que se puedan implementar. Dados los tres tipos de materiales se pueden generar estrategias de difusión de la información de acuerdo con las zonas urbanas, respecto de las características de las construcciones y de la población.

Es evidente que para que se genere en la sociedad una adopción de hábitos encaminados a la sostenibilidad debe haber una generación y difusión de conocimientos, por lo que la información sobre este tipo de problemas, así como sus posibles soluciones tienen que hacerse llegar a todos los ciudadanos, de esta manera por lo menos tienen en sus manos el poder de decidir con conocimiento de causa.

El tercer indicador conlleva información muchas veces considerada de las más importantes en la toma de decisiones en la política pública. El valor obtenido respecto del confort térmico de la población nos indica que de ese monto se puede partir para un posible subsidio o estímulo, es decir, que esos 27 pesos mensuales por persona indican el monto máximo que podría aportar una persona para implementar alguna de las opciones en su vivienda, por lo que el cálculo de un supuesto subsidio estímulo parte del complemento de esa cantidad para cubrir el gasto total de alguna de ellas. Dada la literatura se sabe que energéticamente estos materiales pueden redituarse con el ahorro de energía, sin embargo, aun así, se obtiene una base de referencia con este valor.

La información obtenida de este proyecto representa un paso más hacia la construcción en conjunto de la política pública, la cual puede variar la proporción de participación de cada actor social, así como los roles de cada uno, sin embargo, estos procesos deben de predominar y tener métodos de mayor profundidad en la participación social para realmente dar legitimidad a las políticas que nos rigen.

## V. CONCLUSIONES

- El efecto de la isla de calor urbano es un fenómeno de alcance multiactoral y multidisciplinar que precisamente requiere la vinculación y colaboración de sus involucrados para llevar a cabo las medidas de mitigación pertinentes. El análisis de varios tipos de materiales de uso en azoteas de edificaciones comprobó la diferencia de impactos a la emisión de radiación infrarroja y, por lo tanto, al efecto de ICU, siendo que los impermeabilizantes blancos, azoteas verdes y superficies frescas son los más adecuados y que, por el contrario, los impermeabilizantes rojos (los más comunes) y de teja son los que más “se calientan” y favorecen el aumento de temperatura del aire superficial del microclima urbano.
- Dado que la isla de calor urbana en la Ciudad de México se remite a varias causas (cubierta urbana, uso de suelo, contaminación atmosférica, áreas verdes, actividades antrópicas) con diversos actores involucrados, estas medidas propuestas se pueden traducir en una disminución significativa de la ICU, más no se mitigará por completo si no se acompaña en el tratamiento de las otras causantes.
- Estas alternativas para las azoteas son inversiones redituables dado el ahorro energético que generan al interior del edificio, dependiendo del material se genera el ahorro correspondiente, por lo que su uso (obligatorio en el caso de los impermeabilizantes) genera beneficios individuales y comunes.
- La respuesta de la población en una posible implementación de las alternativas propuestas fue casi del 100% encuestado, siendo un factor clave la difusión de la información, ya que una vez que se tenía conocimiento de lo que consistía la problemática y de lo que involucraban los materiales, la gente se mostró hasta cierto punto entusiasta a la participación para la apropiación de uno de ellos. La respuesta de la gente a las preguntas de la encuesta en torno a las características de una posible política pública describe una alta flexibilidad para la cooperación de la misma.
- La muestra encuestada manifiesta una alta expectativa a las metodologías donde se incluye su opinión, es decir, para generar una mayor participación se debe contar con metodologías cualitativas más profundas que nos puedan aportar más información sobre la visión social respecto del problema objetivo, mientras se siga

desarrollando la creación de política *top down*, el impacto puede ser contraproducente.

- Los factores sociales imperantes tales como delincuencia, bajo ingreso económico y falta de información son de alta prioridad para poder abordar de una manera más eficiente a la parte ambiental, mientras esos problemas sociales tengan una alta relevancia en la vida de la ciudadanía, difícilmente se podrá implementar una política eficiente en este tema.
- Los conceptos que implican a la sostenibilidad deben tener una relevancia más importante y de alta prioridad en la educación del ciudadano, hasta formar parte inherente de la cultura, urbana en este caso, puesto que los hábitos que impliquen el quehacer colectivo son los que podrán combatir de manera más fácil y eficiente los problemas que hacen vulnerables a las ciudades y podrán generar capacidades resilientes y de adaptación a los problemas actuales, como lo es la isla de calor urbana. Dichos conceptos no deben ser algo que se maneje en ciertos estratos y niveles sociales, sino que deben formar parte de la cultura del ciudadano, que cada día se maneje como un todo en el ecosistema urbano.
- La Hipótesis planteada de inicio es confirmada de acuerdo al segundo indicador obtenido de la encuesta, donde la población respondió de forma afirmativa en el interés mostrado para la implementación de alguna de las alternativas propuestas luego de que se les informó acerca de la problemática ambiental así como de los beneficios que se obtienen de ellas, siendo este un primer acercamiento para que se pueda materializar una política en esta materia y que proporcione información muy importante desde varias perspectivas.

## REFERENCIAS

- Alchapar, N. L., Correa, E. N., Cantón, M. A. (2012). Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: potencial para la mitigación de la isla de calor urbana. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 107-123.
- Arellano G., David, Blanco, Felipe. (2013). *Políticas públicas y Democracia*. Instituto Federal Electoral. México, 2013. Pp: 19-22.
- Arribas Herguedas, F. (2010). Construir la ciudadanía ecológica en las sociedades liberales: reflexiones desde la filosofía política. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7, 187-197.
- Ballinas, M. (2011). *Mitigación de la isla de calor urbana a partir de la vegetación arbórea*. Tesis de Maestría. Centro de Ciencias de la Atmósfera-Instituto de Ecología, UNAM, México, D.F.
- Ballinas M y Barradas VL. (2016). The urban tree as a tool to mitigate the urban heat island in Mexico City: a simple phenomenological model. *Journal of Environmental Quality* 45:157-166. DOI: 10.2134/jeq2015.01.0056
- Ballinas, M., Barradas, V. L.. (2016). Transpiration and stomatal conductance as potential mechanisms to mitigate the heat load in Mexico City. *Urban forestry and urban greening* 20 (2016) 152-159.
- Barradas, V.L. (1991). Air temperature and humidity and human comfort index of some city parks of Mexico City. *Int. J. Biometeorol.* 35:24–28. doi:10.1007/BF01040959.
- Bautista, Irma. (2018). *Bases para la construcción de sostenibilidad urbana: huertos comunitarios, CDMX*. Tesis de maestría. Instituto de Ecología. UNAM, Ciudad de México.
- Baykal, Ayfer. (2018). *Green roofs Copenhagen*. Technical and Environment Administration. Copenhagen.
- Benton-Short, L. y Short, J. R. (2008). *Cities and nature*. Nueva York: Routledge.
- Bermejo, R. (2014). *Del desarrollo sostenible según Bruntland a la sostenibilidad como biómimesis*. Bilbao: Hegoa.
- Bravo, E. (2013). La crisis ambiental y los derechos de la naturaleza: una visión desde la ecología política. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 17 (1), 44-52.

- Calderón-Contreras, R. (2013). Ecología política: hacia un mejor entendimiento de los problemas socioterritoriales. *Economía, Sociedad y Territorio*, XIII (42), 561-569.
- Campbell, T., y Mollica, D., (2009). *Sustainability*. New York, USA.
- Capelli de Steffens, A., & Pícolo, M., & Hernández González, J., & Navarrette, G. (2001). La isla de calor estival en Temuco, Chile. *Papeles de Geografía*, (33), 49-60.
- Capelli de Steffens, A., & Piccolo, M., Campos de Ferreras A. (2005). El clima urbano de Bahía Blanca. Editorial Dunken. Argentina, 184 pp.
- Cáceres, J. (2012). *Conceptos básicos de estadística para Ciencias Sociales*. Ed. Delta. Madrid. Pp. 291-299.
- City of Toronto. (2010). e Toronto green roof bylaw brochure. City of Toronto: Toronto.
- Clark, W., y Dickson, N. (2003). Sustainability science: The emerging research program. *PNAS*, 100 (14), 8059-8061.
- Contreras-Escandón, C. (2017). Superar la sostenibilidad urbana: una ruta para América Latina. *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 27 (2), 27-34.
- Cristeche, Estela, y Penna, Julio A. (2008). *Métodos de valoración económica de los servicios ambientales*. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Pp. 36-38.
- Delgado Ramos, G. (2015). Ciudad y Buen Vivir: ecología política urbana y alternativas para el bien común. *Theomai*,(32), 36-56.
- Denver Municipal Code. (2018). *Denver Revised Municipal Code concerning green buildings and for conforming amendments to Chapters 2 and 10*. Denver.
- De Prada Pérez de Azpeitia, F. (2016). La termografía infrarroja: un sorprendente recurso para la enseñanza de la física y la química. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13 (3), 605-615.
- Doulos, L.; Santamouris, M.; Livada, I. (2004). Passive Cooling of Outdoor Urban Spaces: the Role of Materials. *Solar Energy*, v. 77, n. 2, p. 231-249.
- Durand Smith, L., & Figueroa Díaz, F., & Guzmán Chávez, M. (2011). La ecología política en México ¿Dónde estamos y para dónde vamos?. *Estudios Sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 19 (37), 282-307.
- Elizalde, C. (2005). *Materiales y procedimientos de construcción II*. Antología de Arquitectura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

- Ferrelli, Federico, y Piccol, María Cintia. (2017). Estudio del confort climático a escala micro-local. El caso de Bahía Blanca (Argentina). *Revista Bitácora Urbano Territorial*, (27), 91- 100.
- García Bojorges, Alberto. (2014). Mecanismos de participación ciudadana en la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal (PAOT). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. UNAM, Ciudad de México.
- Gartland, L. (2008). *Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas*. Washington, DC: Earthscan.
- Gómez Cubillos, A., & Galarza-Molina, S., & Torres, A. (2018). Propuesta de mejoramiento tecnológico de techos verdes para el clima tropical andino. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 28 (1), 73-99. <http://dx.doi.org/https://dx.doi.org/10.18359/rcin.2672>
- Gudynas, E. (2010). La ecología política de la crisis global y los límites del capitalismo benévolo. *Iconos. Revista de Ciencias Sociales*, (36), 53-67.
- Haro, A. A., y Taddei, Cristina B. (2010). Valoración ambiental: aportaciones, alcances y limitaciones. *Problemas del desarrollo*, 41 (160), 209-221.
- Harvey, D. (2005). *Spaces of neoliberalization: towards a theory of uneven geographical development*. Munich: Franz Steiner Verlag.
- Haynes, Barry (2008). The impact of office comfort on productivity. *Journal of Facilities Management*, 6 (1), 37-51.
- INEGI. (2015). *Encuesta intercensal 2015*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Isunza Vizuet, G. (2010). Efectos urbano-ambientales de la política de vivienda en la Ciudad de México. *Espiral*, XVII (49), 129-159.
- Jauregui, E., Luyando, E., (1998). Long-term association between pan evaporation and the urban heat island in Mexico City. *Atmosfera* 11, 45–60.
- Jauregui, E., (1971). *Mesomicroclima de la ciudad de México*. Instituto de Geografía, UNAM, Mexico.
- Jauregui, E., (1997). Heat island development in Mexico city. *Atmos. Environ.* 31, 3821–3831.
- Jáuregui Nolen, E., & Tello Medina, D., & Rivas García, M. (2012). Desigualdad y política ambiental en México. *Economía Mexicana. Nueva Época*, XXI (2), 251-275.

- Jusuf, S.K. y N.H. Wong. (2009). Development of empirical models for an estate level air temperature prediction in Singapore. Second International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands. 21 al 23 Septiembre. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California.
- Kates, R., Clark, W., Corell, R., Hall, J., Jaeger, C., Lowe, I., Mooney, H., (2001). Sustainability science. Science magazine, New series.,292.
- Kates, R. (2011). What kind of a science is sustainability science? Science magazine.
- Landsberg, H. E. (1981). The urban Climate, International Geophysics Series volume 28, Academic Press, Inc., Londres. 277 pp: 83-100.
- Leff, E. (2003). La ecología política en América Latina. Un campo en construcción. POLIS, Revista Latinoamericana, 1 (5), 0.
- López, J., y Rodríguez, M. (2008). México, 2008 Desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad en México. Instituto de Geografía, UNAM, Ciudad de México.
- Martín, F., & Larsimont, R. (2016). ¿Es posible una ecología cosmo-política? Notas hacia la desregionalización de las ecologías políticas. POLIS, Revista Latinoamericana, 15 (45), 273-290.
- Martínez, J. (2014). Estudio de la isla de calor de la ciudad de Alicante. Investigaciones Geográficas (Esp),(62), 83-99.
- Mella, J. M. (2003): El medio ambiente urbano en España. Thomson-Civitas. Madrid.
- Mella, J. M., Y López, A., (2015). Ciudades sostenibles: análisis y posibles estrategias. Thomson-Civitas. Madrid.
- Miller, T. R., (2013). Constructing sustainability science: emerging perspectives and research trajectories. Sustainability science magazine, 8.
- Minke, G. (2004), Techos Verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos, Editorial Fin de Siglo, Uruguay.
- Mohar, A., y Galindo, C. (2016). Estudio: Análisis de las principales dinámicas territoriales económicas y sociales del Distrito Federal y la ZMCM, con énfasis a sus tendencias a futuro. Ciudad de México: CONACYT y CENTROGEO.
- Morales Méndez, C., & Madrigal Uribe, D., & González Becerril, L. (2007). Isla de calor en Toluca, México. Ciencia Ergo Sum, 14 (3), 307-316.

- Moreno, G. M. (1993). Estudio del clima urbano de Barcelona, la isla de calor. Barcelona. Solgraf.
- Morini, E., Touchaei, A. G., Castellani, B., Rossi, F., & Cotana, F. (2016). The impact of albedo increase to mitigate the urban heat island in terni (italy) using the WRF model. *Sustainability*, 8(10), 999. doi:<http://bidi.uam.mx:2199/10.3390/su8100999>
- Myrick, Freeman III, a., Herriges, Joseph A., Kling, Catherine L. (2014). *The Measurement of Environmental and Resource Values*. Ed. RFF Press. Pp. 71-74.
- NACIONES UNIDAS. *World Urbanization Prospectsn(2011)*. The Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations. 2011.
- National Science Foundation. (2000). *Towards a comprehensive geographical perspective on urban sustainability*. New Brunswick: Rutgers, The State University of New Jersey. Consultado en: <http://pppolicy.rutgers.edu/cupr/sustainability/sustain.pdf>.
- Niu, Hao, Clark, Corrie, hoou, Jiti, Adriaens, Peter. (2010). Scaling of Economic Benefits from Green Roof Implementation in Washington, DC. *Environ. Sci. Technol*, 44, 4302–4308.
- NMX-U-125-SCFI-2016. *Industria de la construcción — edificaciones — revestimientos para techo con alto índice de reflectancia solar — especificaciones y métodos de ensayo*. Secretaría de Economía.
- Oke, T. R. (2006). Towards Better Scientific Communication in Urban Climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 84 (1), 179-190. doi: 10.1007/s00704-005-0153-0.
- ONU. (1987). *Nuestro futuro común*. Oxford University Press.
- ONU. (2015). *Agenda de Desarrollo Sostenible 2015-2030*, 16301, 1-40.
- ONU HABITAT. (2018). *Índice de las Ciudades Prósperas, CPI, México 2018*. México.
- Olvera, Alberto J., (2009). *La participación ciudadana y sus retos en México*. Universidad Veracruzana.
- Ostrom, E. (2005), *Understanding Institutional Diversity*, Princeton, Princeton University Press.
- PAOT (Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial) (2012), *Atlas cartográfico del suelo de conservación del D.F.*, disponible en: <http://saig.paot.org.mx/AtlasGeografico/>.

- Pérez Campuzano, E. (2014), "Actores, relaciones de poder e implicaciones para las políticas ambientales del suelo de conservación del Distrito Federal", en M. Perevochtchikova (coord.), Pago por servicios ambientales en México: Un acercamiento para su estudio, México, Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales-El Colegio de México.
- Perevochtchikova, María. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y Política Pública*, 22 (2), 283-312.
- Pérez Certucha, E. (2015). Ausencia e insuficiencia. Breves reflexiones sobre las demandas ecologistas y medioambientales en la política y el sistema de partidos en México. *Estudios Políticos*, 9 (36), 87-104.
- Pérez, Laura. (2017). Techos verdes, una estrategia frente al cambio climático. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 43 (1), 16-19.
- Provencio, E., y Caravias, Julia. (1993). El desarrollo sustentable: ¿Alternativa para América Latina? *Desarrollo sustentable. Hacia una política ambiental*. México: UNAM, Coordinación de Humanidades. Doi: 968-36-3159-2.
- Quiroz, Diana E., (2013). Las ciudades y el cambio climático: el caso de la política climática de la Ciudad de México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 28 (2), 343-382.
- Ramírez Chaparro, César. (2011). Curso internacional Elementos para el análisis y la estructuración de políticas públicas en América latina. Bogotá.
- Rodríguez Pescina, Óscar. (2018). Aspectos jurídicos de la participación ciudadana en la gestión ambiental de la Ciudad de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Derecho, UNAM. Ciudad de México.
- Rojo, I., Castro, B., y Perevochtchikova, M. (2018). Análisis de disfuncionalidad institucional de programas de política pública ambiental en la Ciudad de México, 2000-2012. *Gestión y Política Pública*, 27 (1).
- Romero, H., & Opazo, D. (2011). Ecología política de los espacios urbanos metropolitanos: geografía de la injusticia ambiental. *Revista Geográfica de América Central*, 2 , 1-15.
- Ruiz, D., y Cárdenas, E. (2003). ¿Qué es una política pública? *Revista jurídica*. Universidad Latina de América.
- Sahagun-Valenzuela, M., & Hernández-Guitron, A., & Elías-López, P., & Portillo-Rodríguez, M. (2017). Techo verde y su espesor de sustrato en zonas desérticas del Noroeste de México. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, (21).

- Sánchez- Mejorada, Cristina (2009). ¿Construcción de ciudadanía? Reflexiones sobre la política de participación ciudadana en la Ciudad de México. *Ciudadanía, espacio público y ciudad*. México, 290-237.
- Santamouris, M; Syneffa, A; Karlessiet, T. (2011). Using Advanced Cool Materials in the Urban Built Environment to Mitigate Heat Islands and Improve Thermal Comfort Conditions. *Solar Energy*, v. 85, n. 12, p. 3085-3102.
- Santamouris M. (2014). Cooling the cities – a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*; 103:682–703.
- Sharifi, E., & Lehmann, S. (2015). Correlation analysis of surface temperature of rooftops, streetscapes and urban heat island effect: case study of central Sydney. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 9 (1), 3-11.
- Secretaría del Medio Ambiente (Mayo de 2018). Azoteas verdes. <http://www.sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/azoteas-verdes>.
- Seppanen, O., W.J. Fisk, and D. Faulkner. (2004). Control of temperature for health and productivity in offices. LBNL-55448. <http://escholarship.org/uc/item/39s1m92c> (accessed 10 Apr. 2015).
- Spangenberg, J. (2011). Sustainability science: a review, an analysis and some empirical lessons. *Environmental Conservation* 38 (3): 275–287.
- Testo. (2019). Termografía ¿Qué es? Argentina. Academia online Testo. Recuperado de <http://www.academiatesto.com.ar/cms/termografia-que-es>.
- Trujillo, Ruber S., Rangel, Yamile, M., Castañeda, Gabriel, N. (2015). Potencial del techo verde, para ahorrar electricidad por aire acondicionado en la edificación. *Nova Scientia*, 15 Vol. 7 (3) pp: 577 – 596.
- Tse, W.L., and A.T.P. So. (2007). The importance of human productivity to air-conditioning control in office environments. *HVAC&R Research* 13:3–21.
- Tzoni B, María del Carmen. (2015). Áreas verdes urbanas: una alternativa para mitigar la isla de calor en la ciudad de Puebla. Tesis de maestría. Programa de Posgrado en Urbanismo, UNAM, Ciudad de México.
- Wang, Yupeng, Akbari, Hashem. (2016). The effects of street tree planting on Urban Heat Island mitigation in Montreal, *Sustainable Cities and Society*, 27, Pages 122-128,
- Wong, N. H., & Yu, C. (2008). *Tropical Urban Heat Islands: Climate, Buildings and Greenery*. New York: Taylor & Francis.

- Yang, Junjing, Mohan Kumar, Devi Ilamathy, Pyrgou, Andri, Chong, Adrian, Santamouris, Mat, Kolokotsa, Denia, Eang Lee, Siew. (2018). Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in tropical climate, *Solar Energy*, 173, 597-609.
- Yang, Jiachuan, Zhi-Hua Wang, Kamil E. Kaloush. (2015). Environmental impacts of reflective materials: Is high albedo a 'silver bullet' for mitigating urban heat island?, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 830-843.
- Zarta Ávila, P. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula Rasa*, (28), 409-423.
- Zuliani A., L., & Bastidas A., M., & Ariza M., G. (2015). La participación: determinante social en la construcción de políticas públicas. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 33 (1), 75-84.

## ANEXOS

### Anexo I Preparación de las placas de concreto

Para realizar los bloques donde se colocarían los materiales a estudiar, se buscó simular las características de una losa de concreto, por lo que se hicieron placas de concreto de 0.4m de ancho por 0.4m de largo y 0.07m de ancho, con las siguientes proporciones de material:

Tabla 12. Proporciones en la preparación de los bloques de concreto

Material	Proporción en peso
<b>Cemento</b>	1
<b>Arena</b>	2.6
<b>Grava</b>	3.5
<b>Agua</b>	0.7

Para conseguir un fraguado rápido, se les agregó una pequeña cantidad de sustancia acelerante (Aditivo acrílico Bexel).



Figura 32. Molde de madera y fraguado de muestras



Figura 33. Muestras en el patio del LES

## Anexo II Estructura de la encuesta

- La encuesta inicia con una pequeña presentación del encuestador, así como los apartados de los datos de identificación de la misma.

Tópico ambiental: Reducción de la temperatura superficial de las azoteas  
Servicio ambiental a valorar: Confort térmico

Hola, buenos días/tardes. Le hablo de parte de la Universidad Nacional Autónoma de México, y estoy realizando un estudio acerca la calidad ambiental de la Ciudad de México, con el fin de tomar en cuenta la opinión de la población para la elaboración de acciones de respuesta, ¿me podría regalar unos minutos de su tiempo para hacerle unas preguntas?

Fecha: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_ No. Encuesta: \_\_\_\_\_  
Lugar: \_\_\_\_\_

- La primera sección aborda el diagnóstico de la problemática, preguntando acerca del conocimiento de la misma y de la percepción del estrés térmico.

### Sección 1. Diagnóstico del problema socioambiental

1. ¿Cómo ha percibido la temperatura del ambiente en el último par de años?  
( ) Aumentado  
( ) Sigue igual  
( ) Disminuido  
( ) No se ha dado cuenta

2. En promedio ¿cuántas horas pasa durante el día en casa y fuera de casa?

3. ¿Sabe qué es el fenómeno de la Isla de Calor?  
( ) Si ¿Qué es?  
( ) No

\*Explicación

- La segunda sección involucra las preguntas de la metodología de valoración contingente para valorar el confort térmico, donde se pregunta acerca de la disposición a aportar, así como la disponibilidad a pagar una cantidad monetaria por la mejora de este bien ambiental.

## Sección 2. Valoración económica del confort térmico

4. ¿Estaría dispuesto(a) a aportar una cantidad de dinero voluntaria destinada exclusivamente para mejoramiento del confort térmico? Por ejemplo, creación de áreas verdes, sustitución de materiales de construcción en viviendas, etc.

( ) Sí ¿Cuánto?

( ) No ¿Por qué?

5. Si el gobierno propusiera un impuesto para mejorar el confort térmico ¿Cuánto le parecería razonable para pagar al mes?

( ) 10 pesos

( ) 30 pesos

( ) 50 pesos

( ) 100 pesos o más

6. Las aportaciones que se reciban, deben ser administrados e invertidos por:

( ) Agente Público

( ) Agente Privado

( ) Asociación Civil

Otra

7. ¿Estaría dispuesto a que se realizará el cobro en su recibo de predial/luz/nómina?

( ) Sí

( ) No ¿Por qué?

- La tercera sección desarrolla las preguntas acerca de los materiales propuestos, con cuestionamientos acerca de su conocimiento y el interés de implementarlo en sus viviendas. Se recopilan también información acerca de las características de las viviendas de los encuestados, así como de temas tales como la vivienda sustentable y tópicos relacionados a una política pública.

## Sección 3 Percepción social de los materiales propuestos

8. El tipo de vivienda donde reside es:

( ) Propia

( ) Rentado

( ) Otro

9. ¿Sabía qué el diseño de su casa puede afectar la temperatura ambiente al interior y exterior?

( ) Sí            ¿Cómo se ha dado cuenta de ello?

( ) No

10. ¿Sabe qué es una vivienda sustentable?

( ) Sí            ¿Cómo se ha dado cuenta de ello?

( ) No

\*Explicación

11. ¿Su casa está impermeabilizada?

( ) Sí        ¿con que tipo y color de impermeabilizante?

( ) No

12. ¿Sabe qué es una “superficie fresca”?

( ) Sí            ¿sabe cuáles son sus beneficios?

( ) No

\*Explicación

13. ¿Sabe qué es una azotea verde y cuánto cuesta?

( ) Sí            ¿sabe cuáles son sus beneficios?

( ) No

\*Explicación

14. De acuerdo a lo anterior ¿le agradaría la idea de implementar y mantener:

( ) Superficie fresca

( ) Azotea verde

( ) Impermeabilizante Blanco

( ) Ninguna    ¿Por qué?

15. En caso de que el costo sea un inconveniente (respecto de la azotea verde), ¿estaría dispuesto a implementarla y mantenerla si:

( ) el gobierno le ayuda a implementarla y usted paga el costo poco a poco (con cargo a algún recibo, por ejemplo)

( ) el gobierno asume el costo parcial (50%)

( ) el gobierno asume el costo total

( ) No le interesa

16. ¿Estaría dispuesto a implementarla y mantenerla si el gobierno propone algún beneficio por el uso de alguna de ellas (fiscal, descuentos, etc.)?

( ) Sí

( ) No    ¿Por qué?

17. ¿Le molestaría si el gobierno realiza algún tipo de monitoreo respecto de la implementación?

( ) Sí ¿Por qué?

( ) No

18. ¿Sabía que el gobierno de la CDMX proporciona un descuento del 10% en el predial a quién implemente una azotea verde?

( ) Sí

( ) No

19. ¿Le han hecho alguna encuesta de algún programa ambiental/social de la CDMX?

( ) Sí ¿cuál?

( ) No ¿Le gustaría participar?

20. ¿Si se le solicitara su apoyo en alguna actividad (un par de horas) tal como talleres, pláticas, capacitaciones, le interesaría asistir?

( ) Más de una vez por semana

( ) Una vez por semana

( ) No podría

( ) No le interesa

- En la última sección se recopila la información socioeconómica del encuestado, al final se pueden agregar las observaciones que se consideren importantes durante el tiempo de la actividad o respecto del contexto de la misma.

#### **Sección 4 Datos socioeconómicos**

21. ¿En qué año nació? \_\_\_\_\_

22. Género M ( ) F ( )

23. ¿Cuál es su grado máximo de escolaridad?

( ) Secundaria

( ) Preparatoria

( ) Licenciatura inconclusa

( ) Licenciatura concluida

( ) Posgrado

24. ¿Cuál es su estado civil?

( ) Soltero(a)

- Casado(a)
- Divorciado(a)
- Viudo(a)

25. ¿Cuál es su ocupación?

- Empleado de gobierno
- Empleado de sector privado
- Independiente
- Pensionado
- Ocupación doméstica
- Estudiante
- Prefiero no contestar

26. Si actualmente percibe algún ingreso, ¿cuál es su nivel aproximado?

- Menos de \$5,000.00 al mes
- Entre \$5,000 y \$10,000 al mes
- Entre \$10,001 y \$15,000 al mes
- Más de \$15,000 al mes

Observaciones

### Anexo III. Tablas con los valores de las mediciones del comportamiento térmico de los materiales propuestos

Periodo de medición del 23 al 26 de julio de 2018. Valores en °C.

Material/Hora	07:00 a.m. T: 18.5 °C HR: 48.5	09:00 a.m. T: 26.1°C HR: 38.1	11:00 a.m. T: 30.1°C HR: 30.6	13:00 p.m. T: 41.2°C HR: 18.9	15:00 p.m. T: 39.5°C HR: 19.9	17:00 p.m. T: 33.7°C HR: 23.3	19:00 p.m. T: 27.2°C HR: 31.7
Control Concreto	11.65 ± 1.75	16.76 ± 1.82	32.24 ± 1.27	46.56 ± 1.34	52.00 ± 0.51	44.24 ± 0.57	35.17 ± 0.55
Sika Blanco	10.83 ± 1.35	14.63 ± 1.55	26.07 ± 1.36	37.19 ± 1.74	41.80 ± 2.57	37.07 ± 0.41	30.70 ± 0.64
Fester Blanco	10.57 ± 1.32	13.81 ± 1.42	25.54 ± 1.45	37.46 ± 1.74	41.87 ± 2.80	38.30 ± 0.35	31.35 ± 0.53
Bioreflexion Blanco	10.96 ± 1.54	15.41 ± 1.58	26.50 ± 1.64	36.94 ± 1.77	40.63 ± 2.50	35.33 ± 0.59	30.17 ± 0.74
Comex Total Blanco	10.46 ± 1.52	13.81 ± 1.17	23.96 ± 1.24	33.11 ± 1.34	38.09 ± 1.46	34.74 ± 0.27	30.72 ± 0.34
Sika Rojo	10.70 ± 1.48	17.13 ± 1.29	36.41 ± 0.84	52.74 ± 1.16	57.24 ± 2.02	47.33 ± 1.18	35.69 ± 0.53
Fester Rojo	10.65 ± 1.28	16.98 ± 1.19	36.54 ± 0.82	52.69 ± 0.77	57.26 ± 2.33	49.43 ± 0.99	37.06 ± 0.31
Bioreflexion Rojo	10.56 ± 1.09	18.69 ± 1.07	39.33 ± 0.63	55.00 ± 0.46	59.57 ± 1.53	47.00 ± 0.32	35.17 ± 0.58
Teja Blanco	13.00 ± 1.32	22.24 ± 1.35	41.54 ± 0.84	55.54 ± 0.80	58.63 ± 2.73	47.35 ± 1.46	35.35 ± 0.22
Teja Gris	12.28 ± 1.45	23.30 ± 1.02	44.91 ± 0.69	59.83 ± 0.86	62.67 ± 2.83	50.02 ± 1.79	37.31 ± 0.19
Teja Verde	12.17 ± 1.86	23.93 ± 1.16	47.02 ± 0.97	63.20 ± 1.07	66.26 ± 2.08	51.61 ± 2.18	37.98 ± 0.36
Teja Rojo	11.96 ± 1.45	23.31 ± 1.32	46.28 ± 0.95	61.56 ± 0.64	65.83 ± 1.42	50.43 ± 1.94	37.89 ± 0.09
Área verde Plantas	10.09 ± 1.11	21.50 ± 0.88	29.89 ± 3.10	33.96 ± 2.39	34.93 ± 2.55	30.80 ± 1.78	23.09 ± 0.20
Área verde Pasto	6.83 ± 1.10	18.94 ± 0.36	28.70 ± 2.54	32.61 ± 2.29	32.15 ± 3.70	25.91 ± 2.02	20.48 ± 1.17

Tabla 13. Valores de la temperatura superficial de las muestras. El valor de la temperatura (T) es a nivel superficial, al igual que el de Humedad Relativa (HR), dado el enfoque al microclima superficial.

Periodo de medición del 8 al 11 de enero de 2019. Valores en °C.

Material	07:00 a.m. T: 12.5 ° HR: 36.7	09:00 a.m. T: 16.1° HR: 36.1	11:00 a.m. T: 26.1° HR: 27.6	13:00 p.m. T: 34.2° HR: 18.9	15:00 p.m. T: 29.5° HR: 18.9	17:00 p.m. T: 23.7° HR: 18.3	19:00 p.m. T: 20.2° HR: 18.7
Control Concreto	5.97 ± 2.86	7.50 ± 2.30	21.35 ± 1.31	36.53 ± 0.98	39.07 ± 1.08	29.49 ± 0.43	21.57 ± 0.88
Sika Blanco	5.44 ± 3.44	6.68 ± 3.00	18.58 ± 1.75	31.83 ± 1.15	34.54 ± 1.14	26.44 ± 0.46	19.72 ± 1.27
Fester Blanco	5.38 ± 3.03	6.47 ± 2.63	18.75 ± 1.63	32.35 ± 1.03	35.19 ± 1.19	27.22 ± 0.58	19.69 ± 1.04
Bioreflexion Blanco	3.88 ± 3.82	5.79 ± 3.30	19.42 ± 1.67	32.46 ± 1.41	34.44 ± 1.65	25.39 ± 0.55	18.35 ± 1.52
Comex Total Blanco	5.54 ± 2.92	6.93 ± 2.81	17.19 ± 1.82	28.32 ± 1.24	31.83 ± 1.03	25.57 ± 0.54	20.03 ± 1.09
Sika Rojo	5.93 ± 2.81	7.64 ± 2.28	25.75 ± 1.30	42.49 ± 1.07	43.19 ± 1.15	31.24 ± 0.58	22.28 ± 1.12
Fester Rojo	6.78 ± 2.67	8.03 ± 2.29	25.43 ± 1.61	43.92 ± 1.65	44.40 ± 1.52	31.68 ± 0.17	22.53 ± 0.70
Bioreflexion Rojo	4.79 ± 3.45	7.18 ± 2.66	26.51 ± 1.73	43.74 ± 0.88	43.63 ± 2.12	29.61 ± 0.58	20.00 ± 1.12
Teja Blanco	6.07 ± 2.81	8.82 ± 2.43	30.72 ± 1.28	45.01 ± 1.07	43.21 ± 1.70	29.39 ± 0.43	21.32 ± 1.04
Teja Gris	5.47 ± 3.18	8.76 ± 2.51	33.89 ± 1.56	48.28 ± 1.60	45.19 ± 2.68	29.11 ± 0.77	21.25 ± 0.60
Teja Verde	5.72 ± 2.80	9.35 ± 2.32	36.68 ± 1.16	51.49 ± 0.86	48.18 ± 3.02	30.82 ± 1.48	22.17 ± 1.48
Teja Rojo	6.61 ± 2.65	9.38 ± 2.23	35.21 ± 0.55	50.46 ± 0.70	48.00 ± 1.88	31.56 ± 0.70	23.07 ± 0.82
Área verde Plantas	3.14 ± 2.28	7.69 ± 3.42	24.83 ± 3.28	32.86 ± 1.31	29.56 ± 2.28	21.17 ± 2.11	12.19 ± 1.03
Área verde Pasto	-6.94 ± 1.28	0.94 ± 2.17	27.56 ± 1.33	30.97 ± 1.36	25.83 ± 2.28	9.78 ± 2.22	-0.78 ± 1.33

Tabla 14. Valores de la temperatura superficial de las muestras. El valor de la temperatura (T) es a nivel superficial, al igual que el de Humedad Relativa (HR), dado el enfoque al microclima superficial.

#### Anexo IV. Análisis ANOVA de grupos para los materiales propuestos

Diseño: Temperatura superficial de los materiales según el horario del día y el tipo de material

Método de Tukey

- Hipótesis nula: Todas las medias son iguales
- Hipótesis alternativa: Al menos una media es diferente

Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

Confianza 95%

<b>Materiales</b>	<b>Muestra Control de concreto</b>	<b>MC</b>
	Imp Acrílico Marca 1 blanco	IAM1B
	Imp Acrílico Marca 2 blanco	IAM2B
	Superficie Fresca Marca 2 blanco	SFM2B
	Superficie Fresca Marca 1 blanco	SFM1B
	Imp Acrílico Marca 1 rojo	IAM1R
	Imp Acrílico Marca 2 rojo	IAM2R
	Superficie Fresca Marca 2 rojo	SFM2R
	Teja color blanco	TB
	Teja color gris	TG
	Teja color verde	TV
	Teja color rojo	TR
	Superficie verde (plantas diversas)	SV1
	Superficie verde (pasto)	SV2
	<b>Horarios</b>	07:00
09:00		
11:00		
13:00		
15:00		
17:00		
19:00		

Se realizó el análisis de varianza para los periodos de verano (junio de 2018) e invierno (enero de 2019), así como el análisis de grupos con respecto a la influencia en la variable de temperatura.

## Análisis de los promedios totales

Comparaciones para Temperatura – Periodo de Verano

Comparaciones por parejas de Tukey:  
Material

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Material	Media °C	Agrupación
TV	43.1667	A
TR	42.4656	A
TG	41.4735	A
TB	39.0926	B
SFM2R	37.9021	B C
IAM2R	37.2275	B C
IAM1R	36.7487	C
MC	34.0873	D
IAM2B	28.4153	E
IAM1B	28.3280	E
SFM2B	27.9921	E F
SFM1B	26.4153	F
SV1	26.3228	F
SV2	23.6614	G

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Comparaciones para Temperatura – Periodo de Invierno

Comparaciones por parejas de Tukey:  
Material

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Material	Media °C	Agrupación
TV	29.2004	A
TR	29.1825	A
TG	27.4226	A B
TB	26.3631	B C
IAM2R	26.1091	B C
IAM1R	25.5020	C
SFM2R	25.0655	C
MC	23.0675	D
IAM2B	20.7222	E
IAM1B	20.4643	E F
SFM2B	19.9603	E F
SFM1B	19.3452	E F
SV1	18.7582	F
SV2	12.5515	G

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 15 Resultados del análisis ANOVA de grupos, mediante el software Minitab v2018.

Tabla 16. Análisis por horario

**Verano**

Horario 07:00			Horario 09:00			Horario 11:00			Horario 13:00			Horario 15:00			Horario 17:00			Horario 19:00		
TB	13	A	TV	23.926	A	TV	47.019	A	TV	63.204	A	TV	66.26	A	TV	51.61	A	TV	37.981	A
TG	12.28	A	TR	23.315	A B	TR	46.278	A B	TR	61.556	A	TR	65.83	A B	TR	50.43	A	TR	37.8889	A
TV	12.17	A	TG	23.296	A B	TG	44.907	A B	TG	59.833	A B	TG	62.67	A B C	TG	50.02	A	TG	37.315	A B
TR	11.96	A B	TB	22.241	A B	TB	41.537	B C	TB	55.537	B C	SFM2R	59.57	A B C D	IAM2R	49.426	A	IAM2R	37.056	A B C
MC	11.65	A B	SV1	21.5	A B C	SFM2R	39.333	C	SFM2R	55	B C	TB	58.63	A B C D	TB	47.35	A B	IAM1R	35.685	B C
SFM2B	10.96	A B	SV2	18.944	B C D	IAM2R	36.537	C D	IAM1R	52.741	C	IAM2R	57.26	B C D	IAM1R	47.333	A B	TB	35.352	C
IAM1B	10.833	A B	SFM2R	18.685	B C D	IAM1R	36.407	C D	IAM2R	52.685	C	IAM1R	57.24	C D	SFM2R	47	A B	SFM2R	35.167	C
IAM1R	10.7	A B	IAM1R	17.13	C D E	MC	32.241	D E	MC	46.556	D	MC	52	D	MC	44.241	B	MC	35.167	C
IAM2R	10.648	A B	IAM2R	16.981	C D E	SV1	29.89	E F	IAM2B	37.46	E	IAM2B	41.87	E	IAM2B	38.296	C	IAM2B	31.352	D
IAM2B	10.574	A B	MC	16.76	D E	SV2	28.7	E F G	IAM1B	37.19	E	IAM1B	41.8	E	IAM1B	37.074	C	SFM1B	30.722	D
SFM2R	10.556	A B	SFM2B	15.41	D E	SFM2B	26.5	F G	SFM2B	36.94	E	SFM2B	40.63	E F	SFM2B	35.333	C D	IAM1B	30.704	D
SFM1B	10.46	A B	IAM1B	14.63	D E	IAM1B	26.074	F G	SV1	33.96	E	SFM1B	38.09	E F	SFM1B	34.741	C D	SFM2B	30.167	D
SV1	10.093	A B	SFM1B	13.815	E	IAM2B	25.54	F G	SFM1B	33.111	E	SV1	34.93	E F	SV1	30.8	D	SV1	23.093	E
SV2	6.833	B	IAM2B	13.81	E	SFM1B	23.963	G	SV2	32.61	E	SV2	32.15	F	SV2	25.91	E	SV2	20.481	F

**Invierno**

Horario 07:00			Horario 09:00			Horario 11:00			Horario 13:00			Horario 15:00			Horario 17:00			Horario 19:00		
IAM2R	6.78	A	TR	9.38	A	TV	36.681	A	TV	51.486	A	TV	48.18	A	IAM2R	31.6806	A	TR	23.069	A
TR	6.61	A	TV	9.35	A	TR	35.208	A	TR	50.458	A B	TR	48	A B	TR	31.556	A	IAM2R	22.528	A B
TB	6.07	A	TB	8.82	A	TG	33.889	A B	TG	48.278	B	TG	45.19	A B	IAM1R	31.236	A B	IAM1R	22.278	A B
MC	5.97	A	TG	8.76	A	TB	30.722	B C	TB	45.014	C	IAM2R	44.403	A B	TV	30.819	A B C	TV	22.167	A B
IAM1R	5.93	A	IAM2R	8.03	A	SV2	27.31	C D	IAM2R	43.917	C	SFM2R	43.36	A B C	SFM2R	29.611	B C	MC	21.569	A B
TV	5.72	A	SV1	7.892	A	SFM2R	26.514	D	SFM2R	43.736	C	TB	43.208	B C	MC	29.486	B C	TB	21.319	A B
SFM1B	5.54	A	IAM1R	7.64	A B	IAM1R	25.75	D	IAM2R	42.486	C	IAM1R	43.194	B C	TB	29.389	B C	TG	21.25	A B C
TG	5.47	A	MC	7.5	A B	IAM2R	25.431	D	MC	36.528	D	MC	39.069	C D	TG	29.111	C	SFM1B	20.028	B C
IAM1B	5.44	A	SFM2R	7.18	A B	SV1	24.889	D E	SV1	32.951	E	IAM2B	35.194	D E	IAM2B	27.222	D	SFM2R	20	B C
IAM2B	5.38	A	SFM1R	6.93	A B	MC	21.347	E F	SFM2B	32.458	E	IAM1B	34.542	D E	IAM1B	26.444	D	IAM1B	19.722	B C
SFM2R	4.79	A	IAM1B	6.68	A B	SFM2B	19.417	F G	IAM2B	32.347	E	SFM2B	34.444	D E	SFM1B	25.569	D	IAM2B	19.964	B C
SFM2B	3.88	A	IAM2B	6.47	A B	IAM2B	18.75	F G	IAM1B	31.833	E	SFM1B	31.833	E F	SFM2B	25.389	D	SFM2B	18.347	C
SV1	3.062	A	SFM2B	5.79	A B	IAM1B	18.58	F G	SV2	31.089	E F	SV1	29.283	F G	SV1	21.073	E	SV1	12.1572	D
SV2	-6.36	B	SV2	0.85	B	SFM1B	17.19	G	SFM1B	28.319	F	SV2	25.997	G	SV2	9.671	F	SV2	-0.696	E

## Anexo V. Estadística de la encuesta

De acuerdo a los datos obtenidos de las encuestas, los resultados quedaron de la siguiente manera:

Tabla 17. Estadística de la encuesta

Pregunta	Resultado
<b>1. Percepción de la temperatura</b>	Aumentado 97% (249) Sigue igual 3% (8) Disminuido No se ha dado cuenta
<b>2. Horas fuera de casa promedio</b>	10.5 horas
<b>3. Conocimiento de la isla de calor</b>	No 98% (251) Si 2% (6)
<b>4. Disposición a aportar una cantidad</b>	No 55% (142) Si 45% (115)
<b>5. DAP promedio</b>	74 pesos en un mes
<b>6. Administración de recursos obtenidos</b>	Agente Público 4% (10) Agente Privado 42% (110) Agente Civil 48% (122) Academia 6% (15)
<b>7. Cobro mediante recibo de algún servicio</b>	No 12% (32) Si 88% (225)
<b>8. Tipo de vivienda</b>	Casa habitación 17% (44) Departamento/vecindad 83% (213) Otro
<b>9. Conocimiento del impacto de la vivienda en la temperatura del lugar</b>	No 100% (257) Si 0% (0)
<b>10. Conocimiento de “vivienda sustentable”</b>	No 94% (242) Si 6% (15)
<b>11. Casa impermeabilizada</b>	No 18% (47) Si 82% (210)
<b>12. Conocimiento del material Superficie fresca</b>	No 100% (257) Si 0% (0)
<b>13. Conocimiento de la azotea verde</b>	No 100% (257) Si 0% (0)
<b>14. Implementación de alguna opción en azotea</b>	Superficie fresca 14% (37) Azotea verde 23% (58) Impermeabilizante Blanco 60% (154) Ninguna 3% (8)
<b>15. Azotea verde mediante subsidio</b>	Sin subsidio, pagos flexibles 19% (49) Subsidio del 50% 52% (132)

	Subsidio del 100%	23% (60)
	No le interesa	6% (16)
<b>16. Disposición a implementar alguna alternativa mediante un beneficio fiscal</b>	No	0% (0)
	Si	100% (257)
<b>17. Disposición a monitoreo de cumplimiento</b>	No	50% (128)
	Si	50% (129)
<b>18. Conocimiento del programa de azoteas verdes de la Ciudad de México</b>	No	100% (257)
	Si	0% (0)
<b>19. Aplicación de alguna encuesta de opinión de política pública</b>	No	97% (249)
	Si	3% (8)
<b>20. Participación en actividades de interés social</b>	Más de una vez por semana	0% (0)
	Una vez por semana	64% (165)
	No podría	28% (73)
	No le interesa	8% (19)
<b>21. Edad promedio</b>	36 años	
<b>22. Sexo</b>	Masculino	46% (117)
	Femenino	54% (140)
<b>23. Escolaridad</b>	Secundaria	15% (37)
	Preparatoria	30% (78)
	Licenciatura inconclusa	8% (21)
	Licenciatura concluida	41% (105)
	Posgrado	6% (16)
<b>24. Estado civil</b>	Soltero(a)	59% (151)
	Casado(a)	40% (102)
	Divorciado(a)	1% (4)
	Viudo(a)	
<b>25. Ocupación</b>	Empleado de gobierno	13% (34)
	Empleado de sector privado	26% (67)
	Independiente	36% (93)
	Pensionado	2% (4)
	Ocupación doméstica	11% (28)
	Estudiante	12% (31)
	Prefiero no contestar	
<b>26. Ingreso promedio</b>	7 700 pesos mensuales	

## Anexo VI. Análisis estadístico de las variables de la encuesta mediante Gretl v.2018

El análisis de los datos de las encuestas mediante el software de análisis econométrico nos arrojó las siguientes tablas con los coeficientes de las variables, así como los valores de z y p, necesarios para observar la significancia de cada una, se ordenan a continuación de forma general y por modelo:

Modelo 29: Logit, usando las observaciones 1-257

Variable dependiente: X4

Desviaciones típicas basadas en el Hessiano

	Coeficiente	Desv. Típica	z	valor p	
const	-1.74078	2.75039	-0.6329	0.5268	
X1	0.0183435	1.09269	0.01679	0.9866	
X2	-0.257196	0.115392	-2.229	0.0258	**
X3	1.00339	1.09743	0.9143	0.3606	
X5	-0.0155147	0.00366539	-4.233	2.31e-05	***
X6	0.0992735	0.286631	0.3463	0.7291	
X7	0.936126	0.585989	1.598	0.1102	
X8	-0.408500	1.01089	-0.4041	0.6861	
X10	1.74052	0.630015	2.763	0.0057	***
X11	0.131227	0.520640	0.2520	0.8010	
X13	0.704205	1.10724	0.6360	0.5248	
X14	0.291936	0.235552	1.239	0.2152	
X15	-0.940075	0.252547	-3.722	0.0002	***
X16	0.288904	1.17502	0.2459	0.8058	
X17	0.706033	0.396215	1.782	0.0748	*
X19	-2.34084	1.22008	-1.919	0.0550	*
X20	0.325309	0.325392	0.9997	0.3174	
X21	-0.0402203	0.0163465	-2.460	0.0139	**
X22	-0.837404	0.356836	-2.347	0.0189	**
X23	0.310365	0.176950	1.754	0.0794	*
X24	-0.104446	0.326717	-0.3197	0.7492	
X25	0.250640	0.142969	1.753	0.0796	*
X26	0.000571107	0.000111907	5.103	3.34e-07	***
Media de la vble. dep.	0.447471	D.T. de la vble. dep.	0.498203		
R-cuadrado de McFadden	0.339145	R-cuadrado corregido	0.208994		
Log-verosimilitud	-116.7850	Criterio de Akaike	279.5700		
Criterio de Schwarz	361.1987	Crit. de Hannan-Quinn	312.3970		

Figura 34. Análisis econométrico de todas las variables de la encuesta

MODELO 1 DAP = 12.001 pesos

Modelo 8: Logit, usando las observaciones 1-257

Variable dependiente: X4

Desviaciones típicas basadas en el Hessiano

	Coefficiente	Desv. Típica	z	valor p	
const	-0.292180	1.72059	-0.1698	0.8652	
X1	0.557267	1.01598	0.5485	0.5833	
X2	-0.234357	0.0996566	-2.352	0.0187	**
X3	0.517075	0.941680	0.5491	0.5829	
X5	-0.0133544	0.00347225	-3.846	0.0001	***
X8	-0.590505	0.848354	-0.6961	0.4864	
X10	1.23392	0.506794	2.435	0.0149	**
X21	-0.0448719	0.0142528	-3.148	0.0016	***
X23	0.287256	0.143697	1.999	0.0456	**
X26	0.000477962	8.98979e-05	5.317	1.06e-07	***
Media de la vble. dep.	0.447471	D.T. de la vble. dep.	0.498203		
R-cuadrado de McFadden	0.244894	R-cuadrado corregido	0.188307		
Log-verosimilitud	-133.4408	Criterio de Akaike	286.8815		
Criterio de Schwarz	322.3723	Crit. de Hannan-Quinn	301.1542		

Figura 35. Análisis econométrico del Modelo 1

MODELO 2 DAP = 79.704 pesos

Modelo 10: Logit, usando las observaciones 1-257

Variable dependiente: X4

Desviaciones típicas basadas en el Hessiano

	Coefficiente	Desv. Típica	z	valor p	
const	-0.255101	1.69405	-0.1506	0.8803	
X1	0.428143	0.966055	0.4432	0.6576	
X2	-0.228498	0.0988185	-2.312	0.0208	**
X3	0.494081	0.945723	0.5224	0.6014	
X5	-0.0132668	0.00348188	-3.810	0.0001	***
X10	1.21849	0.508377	2.397	0.0165	**
X21	-0.0436898	0.0140935	-3.100	0.0019	***
X23	0.295343	0.142998	2.065	0.0389	**
X26	0.000470507	8.94825e-05	5.258	1.46e-07	***
Media de la vble. dep.	0.447471	D.T. de la vble. dep.	0.498203		
R-cuadrado de McFadden	0.243544	R-cuadrado corregido	0.192616		
Log-verosimilitud	-133.6793	Criterio de Akaike	285.3586		
Criterio de Schwarz	317.3003	Crit. de Hannan-Quinn	298.2040		

Figura 36. Análisis econométrico del Modelo 2

MODELO 3 DAP = 27.000 pesos

Modelo 13: Logit, usando las observaciones 1-257

Variable dependiente: X4

Desviaciones típicas basadas en el Hessiano

	Coefficiente	Desv. Típica	z	valor p	
const	-0.272287	1.67154	-0.1629	0.8706	
X1	0.611980	0.932030	0.6566	0.5114	
X2	-0.216822	0.0971089	-2.233	0.0256	**
X3	0.616241	0.918755	0.6707	0.5024	
X5	-0.0127073	0.00325296	-3.906	9.37e-05	***
X21	-0.0479439	0.0139504	-3.437	0.0006	***
X23	0.299962	0.140616	2.133	0.0329	**
X26	0.000461358	8.70655e-05	5.299	1.16e-07	***
Media de la vble. dep.	0.447471	D.T. de la vble. dep.	0.498203		
R-cuadrado de McFadden	0.225983	R-cuadrado corregido	0.180713		
Log-verosimilitud	-136.7826	Criterio de Akaike	289.5653		
Criterio de Schwarz	317.9579	Crit. de Hannan-Quinn	300.9834		

Figura 37. Análisis econométrico del Modelo 3