



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE SISTEMAS - PLANEACIÓN

ADOPCIÓN TECNOLÓGICA PARA EL USO DOMÉSTICO SOSTENIBLE DEL AGUA EN LA  
CIUDAD DE MÉXICO

MODALIDAD DE GRADUACIÓN: TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
ING. CARLOS ANÍBAL GARCÍA CASTAÑEDA

TUTORA PRINCIPAL  
DRA. AIDA HUERTA BARRIENTOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD DE MÉXICO, SEPTIEMBRE, 2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: (NOMBRE)

Secretario: (NOMBRE)

Vocal: (NOMBRE)

1<sup>er.</sup> Suplente: (NOMBRE)

2<sup>d o.</sup> Suplente: (NOMBRE)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, FACULTAD DE INGENIERÍA.

**TUTORA DE TESIS:**

DRA. AIDA HUERTA BARRIENTOS

-----  
**FIRMA**

# ÍNDICE

Contenido	Página
Índice de figuras .....	2
Índice de tablas.....	3
Resumen .....	4
Abstract .....	4
Introducción .....	6
Capítulo 1 Problemática del agua en México.....	8
1.1 El Suministro de agua en México.....	8
La problemática de la escasez del agua.....	11
Los agentes contaminantes del agua.....	11
Fenómenos meteorológicos extremos .....	12
La necesidad gestión del agua.....	12
La necesidad de inversión en investigación y desarrollo tecnológico .....	12
El agua en el contexto de la Ciudad de México .....	12
El uso del agua en la Ciudad de México.....	18
1.2 El problema por resolver .....	20
1.3 El objetivo general .....	21
1.4 Los objetivos específicos.....	21
1.5 La metodología de investigación .....	21
1.6 El cronograma de actividades.....	22
Capítulo 2 Revisión de la literatura acerca de la tecnología utilizada para el uso doméstico sostenible del agua. ....	23
Detección y reparación de las fugas internas del hogar.....	25
Algunos dispositivos ahorradores de agua .....	26
El reemplazo de equipos.....	27
Los sistemas de reúso o reciclaje.....	27
Los cambios de procesos dentro de los sistemas hidráulicos .....	27
Algunas Leyes en torno a la sostenibilidad del agua .....	27

Los mecanismos de adopción tecnológica .....	29
La adopción tecnológica para el uso sostenible del agua y posibles soluciones.....	32
Las fuentes alternas de agua .....	37
La metodología para el desarrollo de modelos de simulación basado de agentes .....	38
Los modelos de adopción tecnológica basado en simulación de agentes .....	42
El cuadro resumen de la revisión de la literatura .....	51
Capítulo 3 Los dispositivos factibles para ser utilizados en la Ciudad de México para el consumo eficiente, sostenible y equitativo del agua .....	62
3.1 El caso de estudio de la Facultad de Estudios Superiores Aragón de la Universidad Nacional Autónoma de México. ....	66
3.2 Un modelo de simulación para analizar los mecanismos de la adopción tecnológica de dispositivos tecnológicos que contribuyan al uso doméstico sostenible del agua en el contexto de la Ciudad de México. ....	71
3.3 Implementación del modelo de simulación para analizar los mecanismos de la adopción tecnológica de dispositivos tecnológicos que contribuyan al uso doméstico sostenible del agua en el contexto de la Ciudad de México. ....	76
Capítulo 4 Análisis de resultados del modelo de simulación para analizar los mecanismos de la adopción tecnológica de dispositivos tecnológicos que contribuyan al uso doméstico sostenible del agua en el contexto de la Ciudad de México. ....	82
Recomendaciones.....	85
Conclusiones.....	86
Bibliografía.....	87

# Índice de figuras

Figura.....	Página
Figura 1. Balance Hídrico Nacional. ....	8
Figura 2. Usos del Agua. ....	9
Figura 3. Disitribución temporal del agua. ....	9
Figura 4. Distribición espacial del agua. ....	10
Figura 5. Desarrollo regioanl frente a disponibilidad de agua. ....	10
Figura 6. Crecimiento poblacional de la Ciudad de México durante el siglo XX y siglo XXI. ....	13
Figura 7. Balance económico de las fuentes y los usos actuales de fondos en los servicios de agua y saneamiento de la Ciudad de México. ....	15
Figura 8. Balance físico de fuentes y usos actuales del agua urbana en la Ciudad de México. ....	17
Figura 9. Usos del agua en la Ciudad de México. ....	18
Figura 10. Usos domésticos internos del agua. ....	19
Figura 11. Porcentaje del PIB de la Ciudad de México. ....	20
Figura 12. Diagrama de Recomendaciones para el uso sostenible del agua doméstica. ....	24
Figura 13. Diagrama de Detección de Fugas por Tramo de Instalación. ....	26
Figura 14. Dispositivos Ahorradores de Agua. ....	27
Figura 15. Eco Zero. ....	34
Figura 16. Dual Flush. ....	35
Figura 17. Eco Dual Flush. ....	35
Figura 18. Ducha Orbsys. ....	36
Figura 19. Piedra Water Pebble. ....	36
Figura 20. Lavadora Mabe. ....	37
Figura 21. Tank Cava. ....	37
Figura 22. La Casa Ecológica, un Espacio Fundido con la Naturaleza. ....	38
Figura 23. The seven elements of the original and update ODD protocol. ....	39
Figura 24. Dinámica de Sistemas, el modelo difusión de la innovación publicado por Ahmadian. ....	50
Figura 25. Diagrama general de una regadera convencional. ....	62
Figura 26. Ahorradores de agua para grifería de duchas. ....	63
Figura 27. Inventario Duchas. ....	63
Figura 28. Diagrama general de un grifo de cocina o de baño. ....	63
Figura 29. Ahorradores de agua para grifería de lavabos. ....	64
Figura 30. Ahorradores de agua para Lavabos de cocina y baños (Puntas). ....	64
Figura 31. Mono mandos y Mezcladoras ahorradoras de agua. ....	65
Figura 32. WC ahorradores de agua. ....	65
Figura 33. Tabla comparativa y Tiempo de llenado en segundos de una jarra. ....	66

Figura 34. Mapa de ubicación de la Facultad de Estudios Superiores Aragón en Google Maps™. ....	68
Figura 35. Matrícula de Estudiantes de Facultad de Estudios Superiores Aragón.....	69
Figura 36. Matrícula de Académicos, Administrativos y Trabajadores de Facultad de Estudios Superiores Aragón. ....	69
Figura 37. Ejercicio presupuestal al 30 de junio de 2018.....	70
Figura 38. Ejercicio de Ingreso Extraordinarios al 30 de junio de 2018. ....	70
Figura 39. Escenario 1 Sanitarios: Porcentaje 90, Días 400, ee 10, sc 20, Precio de la tecnología 2000, Ingreso promedio 15000. ....	78
Figura 40. Escenario 1 Lavabos: Porcentaje 90, Días 400, ee 10, sc 20, Precio de la tecnología 1000, Ingreso promedio 15000. ....	78
Figura 41. Escenario 1 Mingitorios: Porcentaje 90, Días 400, ee 10, sc 20, Precio de la tecnología 1000, Ingreso promedio 15000. ....	79
Figura 42. Escenario 2 Sanitarios: Porcentaje 90, Días 400, ee 10, sc 50, Precio de la tecnología 2000, Ingreso promedio 15000. ....	79
Figura 43. Escenario 2 Lavabos: Porcentaje 90, Días 400, ee 10, sc 50, Precio de la tecnología 1000, Ingreso promedio 15000. ....	80
Figura 44. Escenario 2 Mingitorios: Porcentaje 90, Días 400, ee 10, sc 50, Precio de la tecnología 2000, Ingreso promedio 10000. ....	80
Figura 45. Ejemplo donde muestra que existen errores en la compilación y ejecución del código en Netlogo™.....	81
Figura 46. Inexistencia de errores en la compilación y ejecución del código en Netlogo™. ....	81
Figura 47. Análisis de escenarios 1 y 4 para Sanitarios. ....	82
Figura 48. Análisis de escenarios 2 y 5 para Lavabos. ....	83
Figura 49. Análisis de escenarios 3 y 6 para Mingitorios. ....	84

## Índice de tablas

Tabla .....	Página
Tabla 1. Cuartos de Baños. ....	71
Tabla 2. Desglose de Sanitarios, Lavabos y Mingitorios Totales. ....	71
Tabla 3. Parámetros de Simulación. ....	77

## Resumen

En la Ciudad de México existe una problemática importante en torno al tema del agua, abarcando todos los sectores, tanto sociales y gubernamentales, esta problemática se ve reflejada en la recolección, extracción, abastecimiento y uso del vital líquido dentro de la megalópolis. Se sabe que el 98.5% del consumo de agua en los hogares mexicanos se maneja para usos domésticos y el restante se utiliza para labores fuera del hogar. Del porcentaje que llega de agua dentro de los hogares, la mayoría se ocupa para el aseo personal que representa el 62%, el segundo rubro donde se utiliza es en el lavado de ropa que es el 23%, el 9.5% para lavar los platos, pisos de limpieza tiene el 1.5%, 2% por ciento para la preparación de alimentos y menos de 0.3% es para beber. El problema a resolver en este tema de investigación es que el uso del agua en el sector doméstico es ineficiente, no es sostenible y no es equitativo; por lo que se amenaza la capacidad de generaciones futuras de aprovechar también este recurso tan vital como el agua. Esta tesis de investigación se centra en implementar un modelo de simulación para analizar los mecanismos de la adopción de tecnología para el uso sostenible del agua en el sector doméstico en la Ciudad de México. La metodología utilizada es la de la Planeación, analizando el sistema, planteando los objetivos, planeando los recursos, formulando e implantando las alternativas y por último, analizando los resultados obtenidos, obteniéndose una gráfica en Forma de S, donde se observa el número creciente de adoptadores durante cierto tiempo, bajo parámetros propuestos. Se recomienda al usuario de la Ciudad de México que siga las indicaciones propuestas por instituciones nacionales e internacionales en torno al uso doméstico del agua, de igual forma también se recomienda a nivel Estatal que se mejore la gestión y la legislación del agua, concluyéndose que se implementó un modelo de simulación y se analizaron los resultados.

## Abstract

In Mexico City there is an important problem around the issue of water, covering all the social and governmental sectors, this problem is reflected in the collection, extraction, supply and use of the vital liquid within the Megalopolis. It is known that 98.5% of water consumption in Mexican households is used for domestic purposes and the remainder is used for work outside the home. Of the percentage used within households, most are used for personal grooming representing 62%, the second item where used is in washing clothes which is 23%, 9.5% for washing dishes, floors cleaning uses 1.5%, 2% per cent for food preparation and less than 0.3% per cent is used for drinking. The problem to be solved is that the use of water in the domestic sector is inefficient, is not sustainable and is not equitable; it is not sustainable and thus threatens the capacity of future generations to take

advantage of a resource as vital as water. The study focuses on implementing a simulation model to analyse the mechanisms of adopting technology for the sustainable use of water in the domestic sector in Mexico City. The methodology used is the one of the planning, analyzing the system, raising the objectives, planning the resources, formulating and implementing the alternatives and finally evaluating. As a result, an S-shaped graph was obtained, where the increasing number of adopters is observed for a certain period of time, under proposed parameters. It is recommended to the user of Mexico City to follow the indications proposed by national and international institutions around the domestic use of water, likewise it is also recommended at state level to improve the management and the legislation of the water. It was concluded that a simulation model was implemented and the results were analyzed.

## Introducción

La presente investigación se refiere al tema de la adopción tecnológica para el uso doméstico sostenible del agua en la Ciudad de México ya que, en el 2016, el Sistema de Agua de la Ciudad de México indicó el volumen de agua gastado en los sectores doméstico y público-urbano (52% del total) e industrial (47% del total). Para analizar esta problemática es necesario mencionar las causas. Algunas son el suministro de agua, que se caracteriza por la falta de calidad, tanto en la oferta como en la demanda y el aprovechamiento por parte de los usuarios. En el lado de la oferta, las fuentes del vital líquido denotan muchos puntos vulnerables tales como problemas ambientales, de infraestructura y conflictos sociales. Mientras que, en el lado de la demanda, existe una desconfianza generalizada sobre la calidad del agua potable, y las autoridades no contribuyen a revertirlo. Por el lado del usuario, el porcentaje que se utiliza dentro de los hogares, la mayoría se utiliza para el aseo personal que representa el 62%, en segundo lugar se utiliza en el lavado de ropa que es el 23%, el 9.5% para lavar los platos, limpieza de pisos utiliza 1.5%, 2% para la preparación de alimentos y menos de 0.3% por ciento se utiliza para beber.

La investigación de esta problemática se realizó por el interés de aportar una posible solución al uso del agua a nivel doméstico ya que, la Comisión Nacional del Agua indicó que, en las condiciones reales, si no se toman medidas significativas para el 2030 la Ciudad de México vivirá una crisis de agua, por lo que pueden ocurrir problemas sociales graves e irreversibles. Bajo el supuesto de que se mantengan las prácticas actuales de gestión del agua en la Ciudad de México, las fuentes sostenibles actuales ( $45.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) representarían sólo el 50% de la demanda futura total ( $91.8 \text{ m}^3/\text{s}$ ); el 23% seguiría siendo procedente de una explotación excesiva de los acuíferos ( $21.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ), suponiendo que no se hubieran ejecutado antes, y para el 27% restante ( $25.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ) sería necesario buscar nuevas fuentes de abastecimiento. A partir de este escenario, la calidad del servicio de abastecimiento de agua probablemente empeoraría debido a la falta de agua, y la creciente cantidad que se importará en la Ciudad de México podría generar conflictos sociales significativos en las cuencas de agua vecinas. Los costos económicos crecerán a \$35.3 mil millones por año, 1.02% del PIB, y casi tres veces la cantidad de inversión efectiva. El gobierno local estaría obligado a aumentar más y más las subvenciones al sector, lo que representaría dos tercios de los costos financieros del

servicio de abastecimiento de agua. Es necesario implementar políticas públicas participativas sostenibles y diseños y usos de agua sostenibles que incluyan principios de cooperación, diálogo y coordinación entre los diferentes actores involucrados.

El objetivo de esta tesis de investigación es implementar una solución para el uso sostenible del agua en el sector doméstico en la Ciudad de México. La metodología utilizada para proponer solución para el manejo eficiente, sostenible y equitativo del agua es la Metodología de la Planeación. Esta metodología plantea 8 pasos, los cuales contempla como primer lugar el análisis del sistema, en segundo plantear los objetivos, en tercero la planeación de los medios, en cuarto la planeación de los recursos, en quinto la formulación de las alternativas, en sexto la selección de la alternativa propuesta, en séptimo la implantación de la alternativa seleccionada y por último, la evaluación de la implementación.

En el capítulo 1, se revisa la bibliografía sobre el uso sostenible del agua en el sector doméstico, así como las mejores prácticas nacionales e internacionales. En el capítulo 2, se implementa un modelo de simulación basado en agentes para analizar los mecanismos que contribuyen a un uso sostenible del agua en el sector doméstico mediante la adopción de soluciones tecnológicas. En el capítulo 3 el modelo de simulación se calibra utilizando datos reales con el fin de que represente el caso Ciudad de México. En el capítulo 4 se presentan algunos escenarios de simulación plausibles para contribuir a resolver el uso insostenible del agua en el dicha Ciudad de México. En el capítulo 5 se hacen las observaciones finales, las recomendaciones pertinentes y al final se presentan las conclusiones.

# Capítulo 1 Problemática del agua en México

## 1.1 El Suministro de agua en México

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (2010), México tiene una extensión territorial de 1964 millones de  $km^2$ , con una población de 106.7 millones de habitantes, lo cual lo ubica en el décimo primer lugar a nivel global en materia de población, con una tasa de crecimiento de 1.4%. El 75% de la población que habita en territorio mexicano se encuentra localizado en zonas urbanas. La Comisión Nacional del Agua (2010) plantea que existe la proyección que al año 2030 crecerá por encima del 80% de la población total vivirá en zonas urbanas, por otra parte, existen 196,326 localidades con menos de 2,500 habitantes.

La precipitación media en el territorio nacional es de 775 mm, equivalentes a  $1,513 km^3$  estos datos tomados por estudios de la Comisión Nacional del Agua(2010) (ver Figura 1). De esta cantidad,  $1,084 km^3$  se evapotranspiran y el escurrimiento superficial medio es de  $400 km^3$ , de los cuales se aprovechan  $47 km^3$ . Es importante señalar que México recibe de Estados Unidos y Guatemala  $50 km^3$ , y exporta hacia Estados Unidos  $0.44 km^3$  de acuerdo con el Tratado de Aguas de 1944. Por otro lado, los acuíferos reciben una recarga de  $78 km^3$  y se les extraen  $28 km^3$ .



Figura 1. Balance Hídrico Nacional.

Fuente: CONAGUA (2010).

Como señala la Comisión Nacional del Agua (2010), del 100% de agua que recibe nuestro país se distribuye con el 77 % del agua se utiliza en la agricultura, 14 % para abastecimiento público, 5 % para generación de energía por medio de plantas termoeléctricas y 4 % para la industria (ver Figura 2).

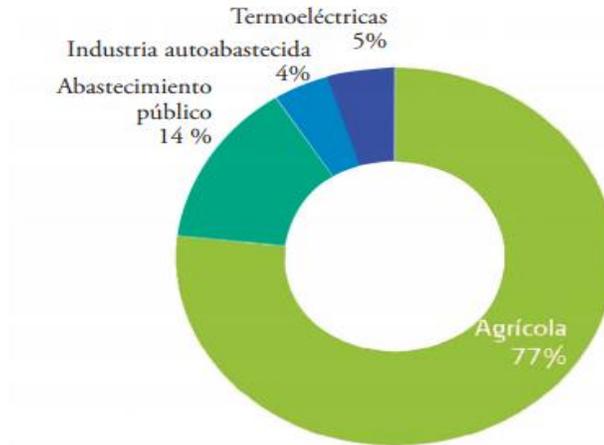


Figura 2. Usos del Agua.

Fuente: CONAGUA (2010).

Cabe señalar que existen 3 grandes impedimentos que limitan el aprovechamiento del vital líquido y son:

- 1) La distribución temporal: Las lluvias principales ocurren en su mayor parte dentro de la estación de verano y parte de otoño (finales de mayo y mediados de octubre), mientras el resto del año es relativamente seco ya que se presentan lluvias, pero no tan intensas (ver Figura 3).

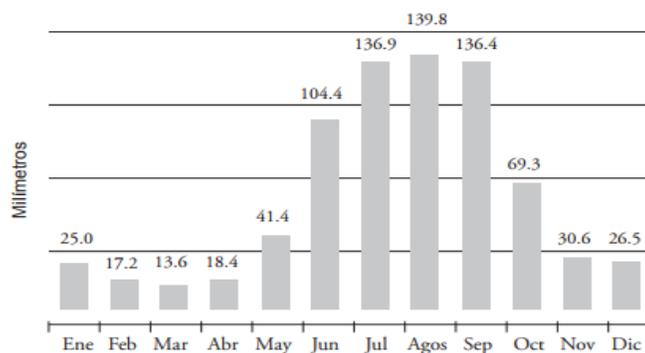


Figura 3. Distribución temporal del agua.

Fuente: CONAGUA (2010).

- 2) La distribución espacial de precipitación es más alta en los estados del sur donde la distribución de la población es menos densa, en contraste, donde es más densa, que es en los estados del norte, existe una baja precipitación anual. (Comisión Nacional de Agua, 2010).

La distribución espacial de la precipitación: En estados como Tabasco llueven 2,095 mm al año, y en Baja California Sur sólo se precipitan 160 mm anualmente, es decir, mientras en los estados del sur sufren problemas en temporadas de ciclones y huracanes por inundaciones, en los estados del norte sufren por sequías extremas que pueden durar meses (ver Figura 4).

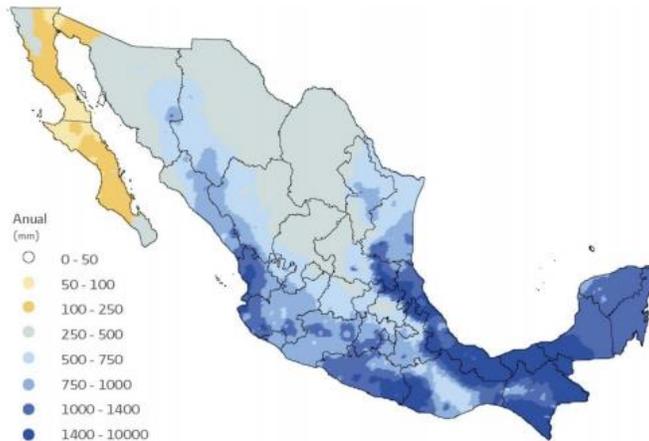


Figura 4. Distribución espacial del agua.

Fuente: CONAGUA (2010).

3) La distribución de la población sobre el territorio nacional: En las zonas Norte, Centro y Noroeste del país se tiene una disponibilidad natural de agua de 31%, en ellas se ubica 77% de la población, y se genera 87% del Producto Interno Bruto (ver Figura 5).

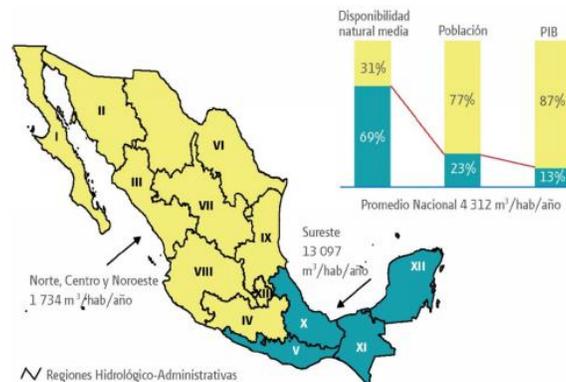


Figura 5. Desarrollo regional frente a disponibilidad de agua.

Figura 5. Desarrollo regional frente a disponibilidad de agua.

Fuente: CONAGUA (2010).

Teniendo en cuenta la situación actual del abastecimiento y suministro del agua en México la Comisión Nacional del Agua (2010) planteó cinco grandes retos que se debe afrontar: 1)

Escasez del agua, 2) Contaminación del recurso, 3) Impacto del cambio climático sobre el ciclo hidrológico y los problemas ecológicos que conlleva, 4) La administración del recurso que debe ser fortalecida en cuestión de participación de todos los actores involucrados (gobierno, sociedad, etc.) y 5) La necesidad de fortalecer la rama de la ciencia y tecnología que desarrolla el país.

## La problemática de la escasez del agua

La escasez de agua se ha convertido en un problema serio en los últimos años, la falta de lluvias en algunos estados del país está propiciando que surjan más problemas secundarios, y, por otra parte, en otros estados las lluvias son abundantes, pero eso también es causa de problemas. Más de la mitad del territorio mexicano es desértico o semidesértico, y como se señaló anteriormente (ver Figura 3 y 4), la concentración de población no corresponde con las zonas de mayor disponibilidad hídrica. La Comisión Nacional del Agua publicó en el Diario Oficial de la Federación (58 publicaciones de 2003 a 2009) sobre la disponibilidad de las 722 cuencas que integran su territorio. Las cuencas Sonora Norte, Sonora Sur, Cuencas Cerradas del Norte, Río Bravo, Lerma Chapala y Río Balsas no cuentan con disponibilidad de agua y la mayoría de ellas están incluso en déficit.

## Los agentes contaminantes del agua

Las principales fuentes de contaminación del agua en México tienen su origen en la basura que se arroja a los sistemas de alcantarillado, a ríos y lagos; a las descargas de los centros urbanos y las industrias, y a las áreas agrícolas, principales responsables de la contaminación difusa en el país. Como sugiere la Comisión Nacional del Agua (2010), se estima que en la actualidad se generan en México  $431.7 \text{ m}^3/\text{s}$  de aguas residuales municipales y no municipales. Al primer grupo corresponden  $243 \text{ m}^3/\text{s}$ , y de ellos se colectan  $207 \text{ m}^3/\text{s}$  (85%); de esta cantidad se tratan  $83.8 \text{ m}^3/\text{s}$  (40.5%), y  $123.2 \text{ m}^3/\text{s}$  no reciben tratamiento. Las aguas residuales no municipales ascienden a  $188.7 \text{ m}^3/\text{s}$ ; de ellas se tratan  $29.9 \text{ m}^3/\text{s}$  (15.85%) y, del restante 84.2%,  $63.52 \text{ m}^3/\text{s}$  se emplean en el riego. Después de su uso, todas estas aguas se van a los cuerpos receptores donde es en ese momento donde se nota el impacto de esas descargas. La demanda bioquímica del oxígeno es un indicador de contaminación de origen municipal y doméstico, y las regiones más contaminadas de acuerdo con este indicador son Valle de México, Golfo Norte, Lerma-Santiago-Pacífico y algunos sitios de Golfo Centro.

## Fenómenos meteorológicos extremos

Los ciclones tropicales generan la mayor parte de la humedad que se transporta del mar hacia la zona continental, aunque por otro lado generan grandes problemas de inundaciones.( Comisión Nacional del Agua, 2010). Por ejemplo de 1970 a 2008 impactaron las costas de México 170 ciclones tropicales que, a pesar de haber causado importantes daños dada la vulnerabilidad de muchas poblaciones mexicanas, han dejado grandes cantidades de agua que llenan presas y lagos naturales y aportan humedad a gran parte del territorio nacional. Por otra parte, las sequías azotan muchas regiones del país causando grandes pérdidas económicas, sobre todo en las regiones agrícolas y ganaderas.

## La necesidad gestión del agua

Desde 1992, se ha señalado en la Ley de Aguas Nacionales que su objetivo es regular la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr un desarrollo integral sostenible. Sin embargo, con la reforma llevada a cabo en 2004 se generaron muchos problemas que limitan la gestión del agua. Algunos de los conceptos que no fueron plenamente instrumentados están relacionados con la variable ambiental, la publicación de la disponibilidad del agua, las vedas, reservas y reglamentos, la clasificación de los cuerpos de agua, el mercado de agua, y los consejos de cuenca y grupos auxiliares. Otro problema para administrar el agua es la cantidad de instancias que participan en el sistema de gestión del agua, el cual se debe simplificar para hacer una ley ágil y moderna.

## La necesidad de inversión en investigación y desarrollo tecnológico

Actualmente, vivimos en una economía global, crecientemente abierta y competitiva que ya no es un factor asociado sólo a la exportación de recursos naturales, sino que está centrado en la producción de conocimiento y en la innovación para generar productos de mayor valor agregado. El desarrollo de la investigación científica y tecnológica en materia hidráulica sigue la misma tendencia que la investigación en todas las otras ramas de la ciencia: la matrícula de alumnos inscritos en posgrado sigue siendo baja en sumo grado, al igual que el número de graduados entre maestros y doctores, el número de investigadores de Acuíferos afectados por intrusión salina en los acuíferos. Por otro lado, no se ha logrado que la importancia de la investigación científica permee en todos los sectores de la sociedad, ni que se considere el conocimiento como un bien público (Banco Mundial, 2014).

## El agua en el contexto de la Ciudad de México

El crecimiento y desarrollo de la Ciudad de México ha tenido muchos cambios y procesos en cuestión de territorio y zonas urbanas. En los inicios, los Aztecas comenzaron con la construcción mediante cimientos lacustres en el gran lago que dio lugar a la ciudad virreinal, la cual empezó con diferentes etapas, marcadas con crecimiento poblacional y expansionismo territorial constante, intensificándose durante el siglo pasado. En la figura siguiente se observa la multiplicación de la población de la ciudad en más de 20 veces, lo que ha incrementado la demanda de suelo y agua, entre otros recursos (Sacmex, 2012).

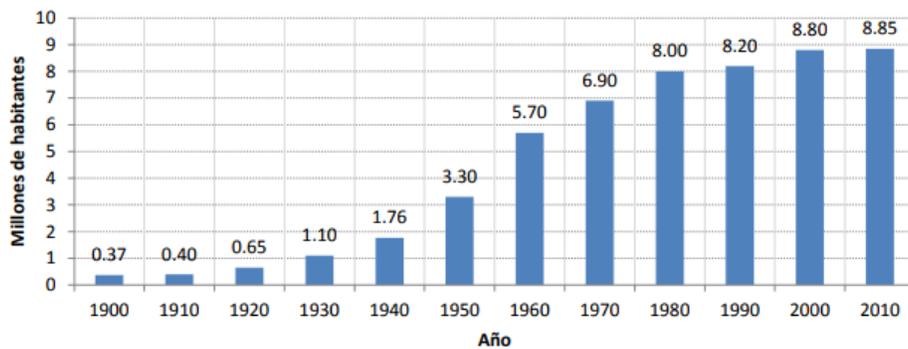


Figura 6. Crecimiento poblacional de la Ciudad de México durante el siglo XX y siglo XXI.

Fuente: SACMEX (2012).

Aunado a lo anterior, las características geográfico-topográficas, la disponibilidad de recursos hídricos y la localización de centros de consumo y disposición final, elevan la complejidad en la prestación de servicios de agua potable, drenaje, tratamiento y reúso indican los estudios del Banco Mundial y la Secretaria de Aguas de la Ciudad de México. Por otro lado, se desecaron los lagos, se deforestaron los bosques y se extrae del acuífero más de su capacidad de renovación natural. Con estas condiciones es necesario garantizar a los habitantes de esta ciudad el suministro de agua potable, en cantidad y calidad adecuadas, esto conlleva a que, al mismo tiempo, se requiere del desalojo de las aguas servidas y aguas pluviales, que por consecuencia del asentamiento constante de la ciudad sea cada día más difícil y más costosa. A pesar de los esfuerzos realizados para satisfacer las necesidades más elementales de servicios hidráulicos, no ha sido posible cubrir estas demandas en su totalidad. La gestión del recurso, no solo del agua, hoy más que nunca, tiene que hacer frente a las condiciones naturales de la Ciudad de México, en un entorno complicado y con mayor incertidumbre por todas las acciones que no hacemos los habitantes de esta ciudad para minorar el cambio climático.

La Ciudad de México pertenece a la región que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) denomina “Aguas del Valle de México”, cuyos límites también incluyen a varios municipios de Hidalgo, Tlaxcala y Estado de México. Allí habitan 22.8 millones de personas y se genera el 23.8% del PIB. Aquí aparece el germen de la crisis: dicha región sólo tiene el 0.7% del agua renovable del país, a razón de  $152 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{año}$ ; situación que obliga a extraer de los acervos subterráneos más de dos veces el flujo de recarga natural

Gracias a estudios y datos de la Comisión Nacional del Agua (2010) la región del Valle de México exhibe escasez inédita: por cada  $\text{m}^3$  de disponibilidad renovable se demandan 1.37 para usos económicos diversos. Se gasta 1.5 mil millones de pesos al año para trasvasar, y luego perder en fugas,  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  desde 300 km de distancia, de igual forma se gasta 5.4 mil millones de pesos para extraer del acuífero  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , una tasa que más que duplica su recarga, al mismo tiempo que se drenan trabajosamente alrededor de  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  de precipitación en el sistema combinado de drenaje.

El presupuesto del Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos 2013-2018 (2013) de Ciudad de México muestra tres hechos relevantes. Primero, un incremento del gasto del 52%, de 9.6 a 14.7 mil millones de pesos. Segundo, dos rubros reclaman la mayor parte de ese presupuesto: prestación de servicios hidráulicos, y construcción y mantenimiento de infraestructura; con participaciones promedio de 53% y 38%, respectivamente. Tercero, dos rubros exhiben el mayor dinamismo: construcción y mantenimiento de infraestructura, que aumenta 2.5 veces en el período, y gestión integral de recursos hídricos, que lo hace 2.1 veces. No obstante, este último rubro seguirá representando un porcentaje menor en el presupuesto (7.8%), de tal modo que por cada peso de gestión se gastarán cinco en infraestructura.

Los usos donde se gasta más volumen del agua en la Ciudad de México son el doméstico y público-urbano (52% del total), y el consumo promedio ponderado es de  $256 \text{ litros}/\text{hab}/\text{día}$  este último dato tomado del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2016). Sin embargo, este abasto no es congruente y se caracteriza por su falta de confiabilidad en la oferta y la demanda. Por el lado de la oferta, las fuentes muestran altos signos de vulnerabilidad que ocasionan cortes frecuentes por mantenimiento o escasez, señaladamente en el Sistema Lerma-Cutzamala (por problemas ambientales, de infraestructura y de conflictos sociales) y en los sistemas de pozos (por problemas de calidad y disponibilidad). Por el lado de la demanda, existe una desconfianza generalizada sobre la calidad del agua potable, y el Sistema de Aguas de la Ciudad de México no contribuye a revertirla.

En los indicadores del Sistema de Aguas de la Ciudad de México se reportan excelentes porcentajes que están dentro de los estándares de cumplimiento en las tomas realizadas al sistema de abastecimiento. Sin embargo, no existe un trabajo coordinado, sistemático y efectivo que de información a la población sobre la confiabilidad del suministro potable. Como resultado de esta falta de confiabilidad, los habitantes son compulsivos consumidores de agua embotellada: en un censo realizado por el Sistema de aguas de la Ciudad de México (2015), sólo el 13% de los hogares capitalinos consume agua de la llave, aunque la somete a varios procesos previos (filtración, ebullición, solución de químicos, etc.).

El Banco Mundial (2013) indicó que los habitantes de la Ciudad de México consumieron mucha más agua en comparación con habitantes de ciudades latinoamericanas, tal como Monterrey o Sao Paulo. Sao Paulo una persona consume 125 litros por día, en la Ciudad de México consume más del doble, es decir, 300 litros por día.

Otro gran problema que tiene México con respecto al agua, es su gran asequibilidad por los altos subsidios. La tarifa que paga la población cubre únicamente el 51% de los costos de todo el sistema, el resto lo subsidia el Gobierno, este resultado sale en último estudio del Banco Mundial en conjunto con la OCDE (2013), generando problemas económicos para mantener el servicio en las condiciones actuales.

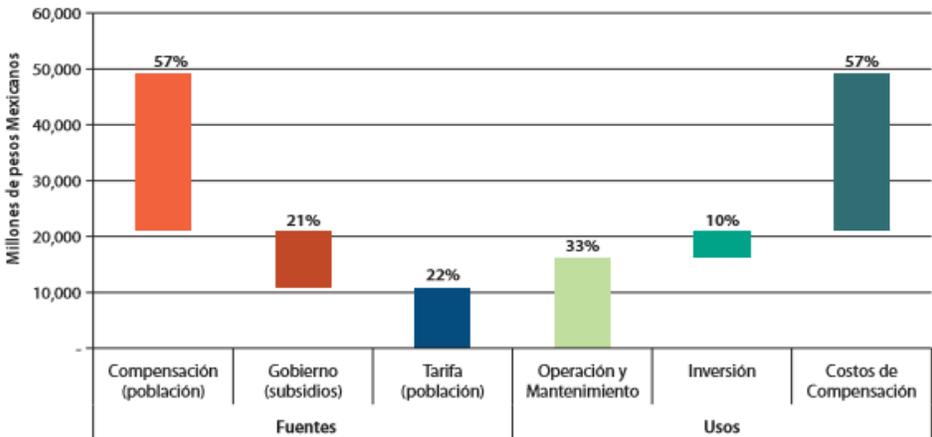


Figura 7. Balance económico de las fuentes y los usos actuales de fondos en los servicios de agua y saneamiento de la Ciudad de México.

Fuente: Banco Mundial (2013).

Gran parte de la infraestructura data del siglo pasado, cumpliendo su vida útil desde hace varios años y además agregando a esta situación que la Ciudad de México se encuentra en una zona sísmica activa, generando pérdidas por fugas de las tuberías viejas o fracturas por sismos y asentamientos, esto se agrava por el despilfarro del recurso por altos subsidios y

falta de educación ambiental de la sociedad, ya que no sabe que cada día se vuelve más costoso extraer, potabilizar y dotar a la población de agua.

Con el paso del tiempo, la Ciudad de México ha experimentado cambios y proceso desde lo social como revoluciones, económicos como depreciaciones de la moneda, hasta naturales como los sismos de 1985 y el más reciente de 2017, los dos el 19 de septiembre, que se reflejan en sus construcciones y formas de vivir de las personas. Se sufre los rezagos y la falta de previsión por la ignorancia de las normas y planes de crecimiento que existen, pero nunca se acatan de manera formal. La Ciudad de México experimenta los problemas comunes de las grandes economías, además de rezagos elementales como la dotación de una infraestructura suficiente para todos sus habitantes.

Los últimos datos de población de la Ciudad de México indican que cuenta con una población de casi 9 millones habitantes y esta cifra sube hasta 20 millones de personas que laboran en la ciudad que vienen de los estados aledaños como son Estado de México y Morelos, con esta cantidad de personas y el crecimiento de la población han traído en consecuencia que la mayoría de los recursos se han ido agotando de manera proporcional. Los problemas no solo son dentro de la Ciudad de México, también se traslada a las cuatro entidades que conforman la corona metropolitana, donde también padecen problemas de alta densidad generando problemas de empleo y un lugar donde vivir.

Como sugiere el Banco Mundial (2013), el abasto de agua ha sido un problema porque se desperdicia casi el 40% del líquido en fugas en los sistemas de distribución, la falta de una conciencia para el ahorro del agua ha llevado a suministrar el líquido por tandeos en las zonas más pobres de la Ciudad. Sin embargo, el consumo de agua no ha sido disminuido y se ha puesto poca atención a la necesidad de reciclar las aguas servidas, pues en la actualidad sólo se le da tratamiento al 5% del agua que se consume, cuando se debería reciclar casi el 60 %.

La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1987) explicó que la sustentabilidad implica “satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer el derecho de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”, de esta forma, la sustentabilidad del agua pasa por el manejo responsable y la conservación de sus fuentes. En estos tiempos es de sumas importancia que entendamos que no podemos usar el agua que queda como si fuera un recurso renovable e inagotable, ya que gracias a todas las acciones del hombre en contra de la naturaleza, el ciclo natural del agua ya no se renueva a la velocidad que se requiere como explica el estudio del Banco Mundial (2013), la complicada situación nacional hídrica, provoca que no se esté cumpliendo el artículo cuarto constitucional (derecho al agua); ni tampoco con el sexto de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (seguridad hídrica, agua limpia y saneamiento). Se

requiere garantizar el cuidado y el buen uso del agua por parte de todos los actores involucrados.

La sobreexplotación de los acuíferos viene siendo una tendencia desde varios años principalmente por la falta de previsión en la practicas ineficientes e insostenibles en el aprovechamiento del agua. La tabla siguiente se toma del estudio sobre el agua que realizo el Banco Mundial (2013) donde nos indica que actualmente 32% del agua de abastecimiento urbano en la ciudad proviene de extracciones insostenibles de las fuentes, principalmente por sobreexplotación de los acuíferos. A pesar de esta situación muy crítica, cerca de 33% del agua no se usa eficientemente en comparación con buenas prácticas internacionales. Además, los costos de la provisión del servicio son apenas cubiertos en un 51% por la tarifa, amenazando así la sostenibilidad de los mismos. Finalmente, solo el 16% de los organismos operadores analizados puede ser considerado de desempeño bueno o normal.

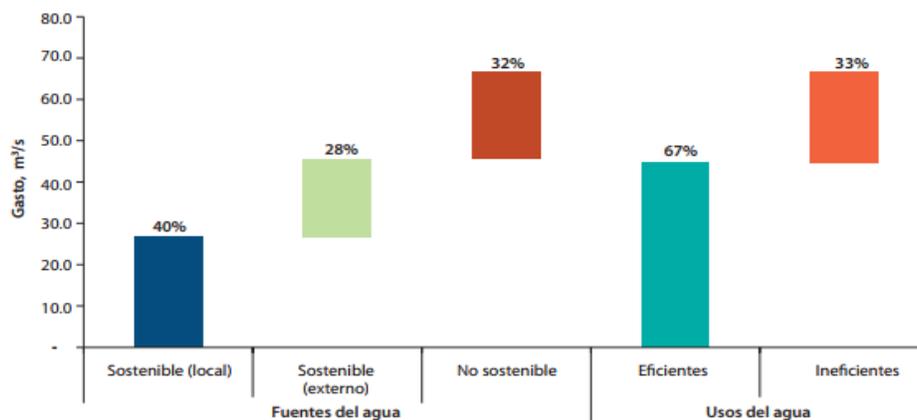


Figura 8. Balance físico de fuentes y usos actuales del agua urbana en la Ciudad de México.

Fuente: Banco Mundial (2013).

Todas las prácticas anteriores generan gastos importantes en la población, con base en el estudio del Banco Mundial (2013) se estima que la población asume un costo económico del orden de \$28 168 millones de pesos mexicanos anualmente para compensar las deficiencias del servicio, y en particular la ausencia de continuidad, la limitada cobertura de drenaje y la falta de tratamiento de las aguas servidas. Este monto es casi el triple del monto pagado por concepto de tarifa, lo que muestra que hay amplio espacio para una discusión racional sobre el financiamiento del servicio. El costo económico de estas deficiencias e ineficiencias representa el 1% del producto interno bruto (PIB), porcentaje que la economía deja de crecer por carecer de un buen servicio, y que en su mayor parte es asumido por la población más pobre y sin servicio.

## El uso del agua en la Ciudad de México

El Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2016) indicó que los usos donde se gastó más volumen del agua en la Ciudad de México fueron el doméstico y público-urbano (52% del total) y el industrial (47% del total) (ver Figura 9).

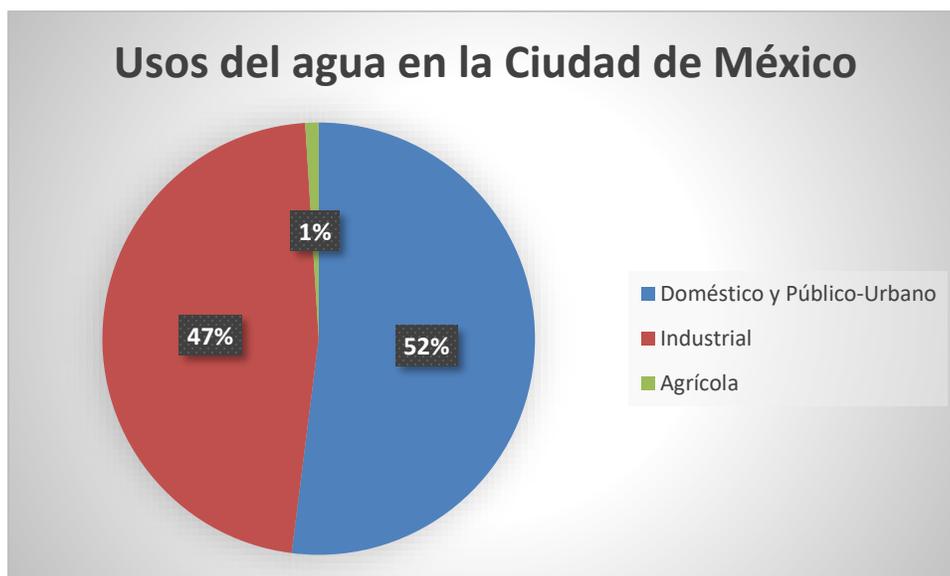


Figura 9. Usos del agua en la Ciudad de México.

Autor: Carlos Aníbal García Castañeda (2018).

El consumo doméstico promedio ponderado es de 256 *litros/hab/día* este último dato tomado del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2016). Sin embargo, este abasto no es congruente y se caracteriza por su falta de confiabilidad en la oferta-demanda y uso del vital líquido. Por el lado de la oferta, las fuentes muestran altos signos de vulnerabilidad que ocasionan cortes frecuentes por mantenimiento o escasez, señaladamente en el Sistema Lerma-Cutzamala (por problemas ambientales, de infraestructura y de conflictos sociales) y en los sistemas de pozos (por problemas de calidad y disponibilidad). Por el lado de la demanda, existe una desconfianza generalizada sobre la calidad del agua potable, y el SACMEX no contribuye a revertirla. Por parte del uso doméstico se sabe por los estudios hechos por la Universidad Autónoma Metropolitana (2011) que el 98.5% por ciento del consumo de agua en los hogares mexicanos de una muestra representativa se utiliza en el uso doméstico dentro de la vivienda y que el 1.5% restante se usa en actividades externas al hogar como lavado de autos, lavado de banquetas y riego de jardín. Del porcentaje que se utiliza dentro de la vivienda se calculó que el 62% por ciento se destina al aseo personal, el 22.7% se destina al lavado de ropa, el 9.43% por ciento se utiliza al lavado de trastes, al aseo

de pisos se utiliza el 1.51% por ciento, el 2% por ciento del agua se utiliza para la preparación de alimentos y solo el 0.22% por ciento se utiliza para beber, sin embargo, estos usos la mayoría de las veces es desmesurado y se desperdicia más agua de la que se debe usar en las actividades, que conlleva a un uso ineficiente del agua en el sector doméstico (ver Figura 10).

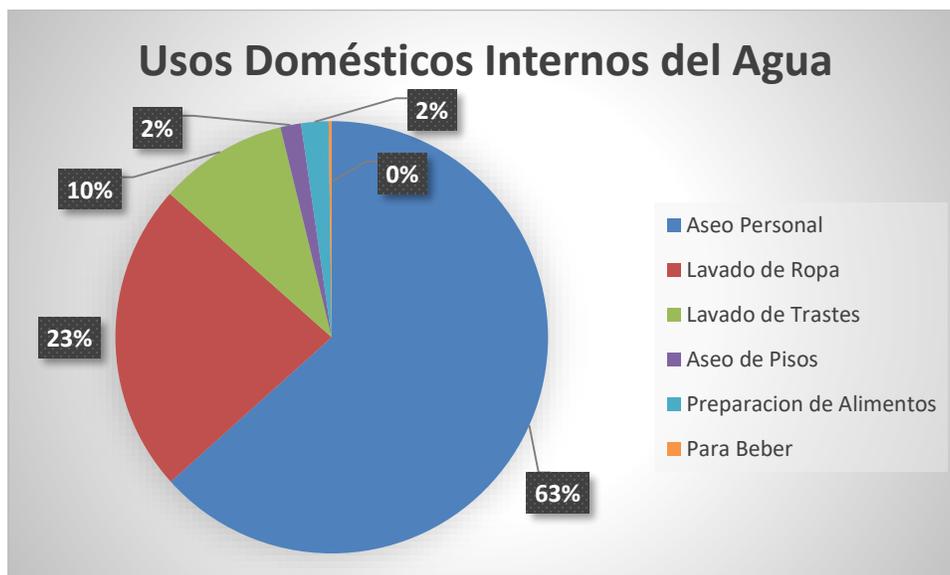


Figura 10. Usos domésticos internos del agua.

Autor: Carlos Aníbal García Castañeda (2018).

Las proyecciones a 2030 de la Comisión Nacional del Agua (2014) muestran que, si no se toman medidas significativas, se estarían transfiriendo retos cada vez mayores a la próxima generación y se tendrá que encontrar aproximadamente el 27% por ciento del abasto actual de agua a través de nuevas fuentes y si no se hace, pueden presentarse graves e irreversibles problemas sociales. Bajo el supuesto de que se mantengan las prácticas actuales de manejo del agua en la ciudad, las fuentes sostenibles actuales (45,6 m<sup>3</sup>/s) representarían solo un 50% de la demanda futura total (91,8 m<sup>3</sup>/s); el 23% seguiría proviniendo de la sobreexplotación de los acuíferos (21,1 m<sup>3</sup>/s), asumiendo que los mismos no se agoten antes, y para el 27% restante (25,1 m<sup>3</sup>/s) sería necesario buscar nuevas fuentes. En ese escenario tendencial la calidad del servicio probablemente empeoraría por carencia de agua, y la cantidad cada vez mayor de agua a importar hacia la ciudad podría generar conflictos sociales significativos en las cuencas vecinas.

Los costos económicos crecerían a \$35 300 millones por año, que implican el 1,02% del PIB y casi el triple del monto de la inversión efectiva. El Gobierno Federal estaría obligado a aumentar cada vez más sus subsidios al sector, que llegarían a representar las dos terceras

partes de los costos financieros del servicio. Aun buscando seguir una trayectoria de crecimiento verde, es decir con un uso más eficiente del agua y una mayor calidad y cobertura de servicio, la Ciudad de México deberá enfrentar el problema de la sostenibilidad de sus recursos hídricos. En este caso el déficit hídrico se podría disminuir significativamente reduciéndolo de un escenario tendencial de 25,1 m<sup>3</sup>/s a un escenario verde de 11,7 m<sup>3</sup>/s. El reto planteado por las actuales fuentes no sostenibles de agua en la ciudad por un volumen de 21,1 m<sup>3</sup>/s. No obstante, este escenario lograría mejoras significativas en cuanto al impacto financiero: la tarifa llegaría a cubrir el 67% de los costos del servicio, los subsidios del Gobierno se dirigirían solo a la inversión, y el impacto económico del mal servicio en la ciudad se eliminaría, como lo muestra el gráfico a continuación (ver Figura 11).

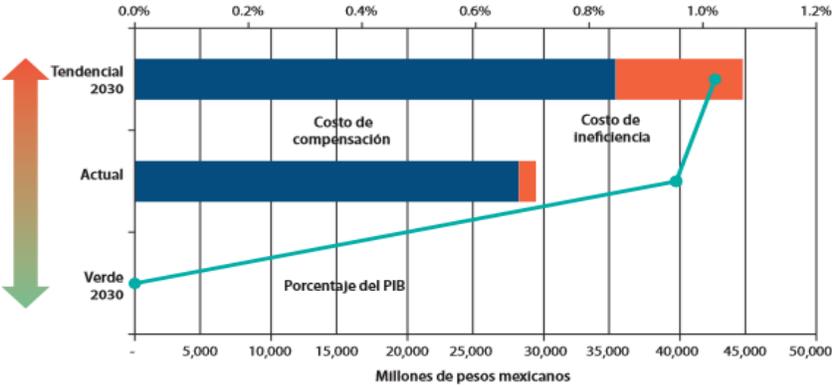


Figura 11. Porcentaje del PIB de la Ciudad de México.

Fuente: Banco Mundial (2013).

Es necesario que, se afronte integralmente esta problemática, donde el Estado y la sociedad deben intervenir, por medio de políticas públicas sostenibles participativas y diseños sostenibles y usos sostenibles donde existan principios de cooperación, diálogo y coordinación con los distintos actores implicados.

### 1.2 El problema por resolver

El problema por resolver es que el uso del agua en el sector doméstico es ineficiente, no es sostenible y no es equitativo. El agua en la Ciudad de México no está a la par de otras grandes aglomeraciones de la región latinoamericana, ni de Europa; no es sostenible y amenaza así la capacidad de generaciones futuras de aprovechar también un recurso tan vital como el agua. La sustentabilidad representa un cambio de paradigma en el manejo y aplicación de los recursos. Hasta ahora hemos buscado la rentabilidad como guía de las

actividades productivas, sin embargo, en la sustentabilidad los proyectos no sólo deben ser rentables sino también ser incluyentes y por lo tanto se requiere repensar toda nuestra actividad económica, ambiental, tecnológica y social.

### 1.3 El objetivo general

Implementar un modelo de simulación para analizar los mecanismos de la adopción de tecnología que contribuyan al uso doméstico sustentable del agua en el contexto de la Ciudad de México.

### 1.4 Los objetivos específicos

1.4.1 Revisar la literatura acerca de la tecnología utilizada para el uso doméstico sostenible del agua.

1.4.2 Implementar un modelo de simulación para analizar los mecanismos de adopción tecnológica que contribuyan al uso doméstico sostenible del agua, utilizando el software Netlogo™.

1.4.3 Analizar los mecanismos de adopción tecnológica para el caso de estudio de la Facultad de Estudios Superiores Aragón de la Universidad Nacional Autónoma de México.

1.4.4 Dictar recomendaciones que impacten las políticas públicas para que se promueva la adopción tecnológica y que contribuya al uso doméstico sostenible del agua.

### 1.5 La metodología de investigación

La metodología a realizar para proponer solución para el manejo eficiente, sostenible y equitativo del agua en la Ciudad de México es:

Análisis del sistema (Diagnóstico)

Planteamiento de objetivos

Planeación de medios

Planeación de recursos

Formulación de alternativas

Selección de alternativa

Implantación de la alternativa

## 1.6 El cronograma de actividades



## Capítulo 2 Revisión de la literatura acerca de la tecnología utilizada para el uso doméstico sostenible del agua.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2003) nos plantea que, en la actualidad el consumo de agua en muchas regiones de nuestro país, sobrepasa la disponibilidad natural y que con estas acciones estamos poniendo en peligro del ambiente natural. Una parte del concepto de uso eficiente del agua tiene origen en el criterio económico de la productividad, esta mide la cantidad que se necesita en un tiempo determinado para producir un bien o un servicio, con este concepto se puede relacionar que la eficiencia en la producción y en conjunto con su conducción en este caso del agua, se puede medir por el volumen de agua que requiere para producir una unidad de bien o servicio. Con estos conceptos se puede llegar a que entre menor sea lo desperdiciado en agua, mayor será la eficiencia del bien.

Las buenas prácticas sobre el uso del agua doméstica vienen a reforzar e influir de manera determinante y positiva en asegurar su disponibilidad en el futuro para próximas generaciones, son muchas maneras y circunstancias en que influyen dentro del consumo del agua doméstica y sobre las que podemos actuar para minimizar el desperdicio.

En general, son acciones sencillas y concretas donde se puede influir para reducción de uso y desperdicio, aumentando la eficiencia de nuestros consumos, sí se atiende a una secuencia de sencillas prácticas.

Con base en los datos por la Diputación de Albacete(2017), se sabe que cada vez que jalamos la cadena del baño se consume entre 10 y 15 litros según el tipo y modelo del baño, la media de agua consumida en la ducha es de 200 litros, la media del consumo al lavarse los dientes con la llave abierta es de 30 litros y afeitarse con llave abierta tiene una media de 40 a 70 litros, dentro del consumo de agua en las lavadoras depende en gran parte del modelo que se cuente en el hogar, existen lavadoras con programación verde y ciclos de lavados más o menos cortos, teniendo una media de 90 litros por ciclo, en la Ciudad de México no hay gran demanda de lava platos pero los que existen consumen en promedio 15 litros, mientras lavar los platos de la forma tradicional en promedio se gasta 100 litros, si se lava el auto con manguera se consume en promedio 500 litros de agua a todos estos consumos hay que agregarle los desperdicios por fugas de goteo y otras malas operaciones, para poner un ejemplo se sabe que una llave que tiene una fuga de 10 gotas por minuto, provoca un gasto de 2,000 litros de agua al año.

Como parte de las recomendaciones para el uso eficiente, sostenible y equitativo del agua en el sector doméstico de la Ciudad de México se puede empezar desde los inicios de un hogar, ya que se puede tener en cuenta que durante el momento de la construcción o reconstrucción del hogar se debe tener una buena práctica de construcción con previa planeación bien detallada y con los objetivos bien definidos para contar con un control en torno a planos, croquis de la infraestructura hidráulica del inmueble donde se muestre por completo el sistema de distribución abarcando llaves, aspersores, regaderas, muebles sanitarios, etc. (ver Figura 12).

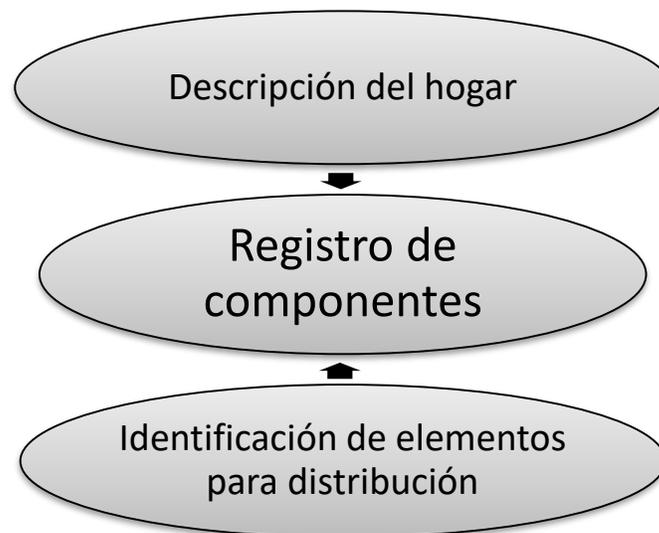


Figura 12. Diagrama de Recomendaciones para el uso sostenible del agua doméstica.

Autor: Elaboración Propia (2018)

Para la descripción correcta de un predio doméstico será importante tener datos, documentos y fuentes de información contemplando antigüedad del inmueble, localización, características y antigüedad de las instalaciones hidráulicas, dimensiones y características de estructuras de almacenamiento, características arquitectónicas del predio doméstico, usos del agua en la actividad doméstica y puntos específicos donde es extraída el agua dentro del hogar.

Después de contar con los datos, se debe identificar los elementos que conforman el sistema de distribución de agua potables ya que es , un conjunto de tuberías, estructuras y dispositivos que sirve para proveer al público de agua para el consumo personal mediante tomas domiciliarias donde es necesario definir las obras de toma o captación, las plantas potabilizadoras, depósitos o tanques de distribución, la red primaria de distribución y por último la red secundaria de distribución de agua, esta parte es un conocimiento de los elementos que se encuentran fuera del hogar, es necesario también conocer los elementos que se encuentran dentro de nuestro hogar como son las tuberías de agua caliente y agua

fría, los medidores volumétricos y de nivel de agua, cisternas, tinacos, piletas, albercas y otros tipos de depósitos o contenedores y por último las lleves de los lavabos (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2003).

Para el registro de componentes se debe identificar los detalles de los elementos del sistema que son los diámetros, material, longitud, marca, modelo de todos los elementos internos del predio, después de todos estos datos es necesario y más fácil hacer un plano detallado del predio que muestre la situación detallada.

Enseguida es necesario hacer un inventario de usos del agua potable para saber en qué y cómo se usa el agua en todos los puntos de extracción para visualizar posibles estrategias de ahorrar agua, en general estos usos se pueden clasificar de manera general en usos consuntivos, que es el agua que se emplea en diversas operaciones pero no es descargada a los sistemas de drenaje o alcantarillado, los usos no consuntivos, que es el agua que después del uso se descarga a la red de alcantarillado sanitario, por último las pérdidas, que es el agua que no tiene un uso y solo se desperdicia en la red de alcantarillado o fuera de ella.

Por último, los expertos recomiendan hacer un balance del agua, que es la cuantificación y comparación de los volúmenes de ingreso registrados comparados con el volumen de los egresos y la variación del ahorro que ocurre en determinado tiempo, lo viable y factible es que las dos cantidades deben ser idénticas. De esta manera el balance sirve para analizar si existen pérdidas, cuáles fueron sus causas y de qué forma se pueden disminuir algunas pérdidas para mejorar las utilidades o el bien. Para realizar el balance de agua se recomienda un procedimiento sencillo de 2 pasos los cuales son: preparar los formatos para el manejo de la información y definir un periodo de medición de variables.

Las acciones para reducir los consumos del agua en el hogar generalmente son cambios físicos, sin embargo, los cambios en conductas o hábitos de consumo también es una parte importante para lograr un exitoso plan de uso eficiente y racional del agua.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2003) indica que los procesos de la elaboración del balance hídrico dentro de nuestro hogar salen a relucir muchas formas o medidas para la reducción de consumos y máximos aprovechamientos del vital líquido que ayudarán a desarrollar estrategias planificadas, entre las recomendadas para realizar en esta parte del proceso están:

## Detección y reparación de las fugas internas del hogar

Para detectar y reparar las fugas se recomienda establecer un programa de mantenimiento con cierta prioridad donde se contemplen las siguientes actividades:

- 1.- Revisión en tiempos establecidos del estado físico de: medidores, tuberías de la red doméstica y dispositivos de consumos.
- 2.-Detección y reparación de fugas en elementos.
- 3.- Revisión del nivel de consumos, por uso y/o área (ver Figura 13).



Figura 13. Diagrama de Detección de Fugas por Tramo de Instalación.

Fuente: La Voz Argentina (2016).

## Algunos dispositivos ahorradores de agua

Los componentes hidráulicos y sanitarios tradicionales, como son los inodoros, las regaderas, las llaves de los lavabos y fregaderos y hasta algunos aspersores para el riego consumen volúmenes considerables de agua, se pueden adaptar o modificar para reducir los volúmenes de consumo (ver Figura 14).



Figura 14. Dispositivos Ahorradores de Agua.

Fuente: Tecno Certificación (2015).

## El reemplazo de equipos

Cuando los inconvenientes superan los costos de adaptación de los equipos antiguos es mejor adoptar tecnología nueva y mejorada, que será más viable y factible para tener un consumo bajo.

## Los sistemas de reúso o reciclaje

Los sistemas de reúso o reciclaje son aquellos que usan el agua que ya tuvo un uso dentro del hogar, pero que todavía tiene la calidad necesaria para ser aprovechada en otro uso diferente, dentro de esta categoría también se considera el agua que ya tuvo un tratamiento específico, sin que sea necesariamente potable (ver Figura 15).

## Los cambios de procesos dentro de los sistemas hidráulicos

El término cambio de proceso establece que se cambia o mejora la función y estructura del sistema para mantener el resultado o mejorarlo, esto significa cambiar la forma en que se usa el agua o eliminar por completo cierta práctica del agua.

## Algunas Leyes en torno a la sostenibilidad del agua

La Ley de Aguas Nacionales (2016) establece en su ARTÍCULO 1. La presente Ley es reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sostenible.

En el marco legal de la Ley de Aguas Nacionales (2016), se indican varias estrategias para obtener el desarrollo sostenible necesario dentro del país, y lo define como el proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter hídrico, económico, social y ambiental, que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se fundamenta en las medidas necesarias para la preservación del equilibrio hidrológico, el aprovechamiento y protección de los recursos hídricos, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de agua de las generaciones futuras; dentro de las estrategias para el desarrollo y uso sostenible del agua están establecidos los siguientes artículos:

Artículo 9, Párrafo 28 de la Ley de Aguas Nacionales (2016): "Gestión del Agua": Proceso sustentado en el conjunto de principios, políticas, actos, recursos, instrumentos, normas formales y no formales, bienes, recursos, derechos, atribuciones y responsabilidades, mediante el cual coordinadamente el Estado, los usuarios del agua y las organizaciones de la sociedad, promueven e instrumentan para lograr el desarrollo sostenible en beneficio de los seres humanos y su medio social, económico y ambiental, (1) el control y manejo del agua y las cuencas hidrológicas, incluyendo los acuíferos, por ende su distribución y administración, (2) la regulación de la explotación, uso o aprovechamiento del agua, y (3) la preservación y sustentabilidad de los recursos hídricos en cantidad y calidad, considerando los riesgos ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extraordinarios y daños a ecosistemas vitales y al medio ambiente. La gestión del agua comprende en su totalidad a la administración gubernamental del agua;

Artículo 9, Párrafo 29: "Gestión Integrada de los Recursos Hídricos": Proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra, los recursos relacionados con éstos y el ambiente, con el fin de maximizar el bienestar social y económico equitativamente sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. Dicha gestión está íntimamente vinculada con el desarrollo sostenible.

Artículo 9, Párrafo 42 de la Ley de Aguas Nacionales (2016): "Programa Nacional Hídrico": Documento rector que integra los planes hídricos de las cuencas a nivel nacional, en el cual se definen la disponibilidad, el uso y aprovechamiento del recurso, así como las estrategias,

prioridades y políticas, para lograr el equilibrio del desarrollo regional sostenible y avanzar en la gestión integrada de los recursos hídricos.

De manera específica también busca impulsar el uso eficiente y sostenible del agua, y en forma específica, impulsar el reúso y la recirculación de las aguas; de igual manera busca la participación social convocando a las organizaciones locales, regionales o sectoriales de usuarios del agua, ejidos y comunidades, instituciones educativas, organizaciones ciudadanas o no gubernamentales, y personas interesadas, para consultar sus opiniones y propuestas respecto a la planeación, problemas prioritarios y estratégicos del agua y su gestión, así como evaluar las fuentes de abastecimiento, en el ámbito del desarrollo sostenible. Otro ámbito es promover la educación y la cultura en torno al agua que fomente en la sociedad la conciencia de que el líquido es un bien escaso que requiere del cuidado de su cantidad y calidad, así como de su aprovechamiento sostenible y de la mitigación de sus efectos indeseables, y la conservación, preservación, protección y restauración del agua en cantidad y calidad es asunto de seguridad nacional, por tanto, debe evitarse el aprovechamiento no sostenible y los efectos ecológicos adversos;

Artículo 9, Párrafo 30; indica que es necesario el fomento a la investigación y desarrollo tecnológico, la formación de recursos humanos, así como difundir conocimientos en materia de gestión de los recursos hídricos, con el propósito de fortalecer sus acciones y mejorar la calidad de sus servicios.

Artículo 84 de la Ley de Aguas Nacionales (2016) establece que se debe fomentar el uso racional y conservación del agua como tema de seguridad nacional, y alentar el empleo de procedimientos y tecnologías orientadas al uso eficiente y conservación del agua, y fomentar el interés de la sociedad en sus distintas organizaciones ciudadanas o no gubernamentales, colegios de profesionales, órganos académicos y organizaciones de usuarios, para participar en la toma de decisiones, asunción de compromisos y responsabilidades en la ejecución, financiamiento, seguimiento y evaluación de actividades diversas en la gestión de los recursos hídricos.

## Los mecanismos de adopción tecnológica

Everett Rogers en su libro *Difusión de Innovaciones* (1962) define que, la difusión de una innovación tecnológica se hace mediante la comunicación en ciertos canales, durante cierto tiempo dentro de los miembros de un sistema social. El canal de comunicación comprende un proceso en el cual los participantes, en este caso los miembros del sistema social de estudio, crean y comparten información con otro miembro para así crear un entendimiento mutuo sobre la idea. La definición anterior implica que, la comunicación es un proceso de convergencia o divergencia entre dos o más miembros que intercambian información. Se

sabe que la comunicación es un proceso de dos sentidos que involucra un emisor y receptor en el cual se transfiere un mensaje o idea, este simple concepto de la comunicación humana describen el comportamiento de actos o eventos que envuelven la difusión, como cuando un agente persuade a un cliente de adoptar una nueva tecnología.

Todo esto desemboca en que, la difusión es un caso especial de la comunicación, en el cual el mensaje está involucrado con una nueva idea y esta idea abarca un término muy importante que es la idea de incertidumbre, ya que con la nueva idea se tiene la incertidumbre de cuál es la posibilidad de que ocurra un evento y cuáles son las posibles soluciones a esos eventos. Para poder reducir la incertidumbre es necesaria información y como se sabe la innovación tecnológica involucra información y esto por causa-efecto resuelve el problema.

La difusión es un tipo de cambio social, definido por el proceso por el cual una alteración ocurre en la estructura y el funcionamiento de un sistema social. Cuando una nueva idea es inventada, difundida y adoptada o rechazada, conlleva ciertas consecuencias, que implica que ciertos cambios ocurrieron en el sistema social.

Everett Rogers (1962) planteó que, la difusión de una innovación contiene cuatro principales elementos que son la innovación, los canales de comunicación, el tiempo y el sistema social.

La innovación es una idea, practica u objeto que se percibe como nuevo por un individuo u otra unidad de adopción. Esta percepción de innovación se puede expresar en términos de conocimiento, persuasión o en una decisión de adoptarla. Se puede usar tecnología como sinónimo de innovación. Una tecnología es un diseño para una acción instrumentada que reduce la incertidumbre en la relación causa-efecto que implica alcanzar un objetivo deseado. La tecnología en general contiene dos partes principales, la primera es el hardware que es el aspecto físico que envuelve a la tecnología y la segunda es el software que es la información intangible que contiene la tecnología.

Esta tecnología implica que contiene un beneficio o ventaja para llegar al objetivo y resolver el problema para los posibles adoptadores de la innovación, pero la mayoría de las veces esta ventaja o beneficio no es tan clara o espectacular para los adoptadores de tecnología, esto de camino a que esta nueva tecnología cree un tipo de incertidumbre en las mentes de los agentes que quisieran adoptarla y para eliminar esta incertidumbre como se vio en párrafos anteriores es necesaria información sobre la nueva tecnología para conocer todas las ventajas y beneficios que esta puede ofrecer para llegar al objetivo deseado.

Las características de las nuevas tecnologías en general son cuatro; 1) La primera es la relativa ventaja que ofrece en términos económicos, sociales-culturales, prestigio,

satisfacción, ambientales; 2) La segunda característica es la compatibilidad con la que se comportara con los valores actuales, las experiencias pasadas y la necesidad de los posibles adoptadores; 3) La tercera es la complejidad, esto es que tan difícil o fácil es de usar por los usuarios, 4) La cuarta es el grado en que una innovación puede ser experimentada con en una base limitada.

En los canales de comunicación, se definió a la comunicación como un proceso en el cual participan creando y compartiendo información con otros miembros de los sistemas sociales para alcanzar un conocimiento mutuo, esta difusión es un caso particular de comunicación en el cual la información que es intercambiada es implicada a nuevas ideas. En general la forma más elemental del proceso es; 1) la innovación, 2) un individuo o la unidad de adopción que ya tiene la tecnología y el conocimiento, 3) el elemento que no conoce la tecnología y 4) se hace el canal de comunicación que conecta a los dos elementos.

La naturaleza de la información compartida y la característica de la relación entre los miembros determina las condiciones en el que la tecnología será o no será compartida y el efecto que tendrá sobre el receptor, en este caso se pueden presentar dos clases de comunicación la comunicación por medios y la comunicación interpersonal. La comunicación por medios es más efectiva y rápida, pero no tiene los mismos efectos de la comunicación interpersonal, ya que por estudios se sabe que la información que más afecta a los posibles adoptadores no es la investigación de los científicos, ni las pruebas de los científicos, sino la experiencia compartida de otros semejantes con la tecnología.

Otra característica que plantea Everett Rogers en *Difusión de Innovaciones* (1962) es el tiempo, el tiempo es un elemento importante en el proceso de difusión. De hecho, muchas ciencias del comportamiento la mayoría de las veces ignora la variable del tiempo, sin embargo, dentro del proceso de comunicación es imposible ignorarlo. El tiempo no existe independientemente de los eventos y es un aspecto de cada actividad humana.

Existe un proceso llamado de decisión sobre la innovación, en este proceso el miembro del grupo social forma una actitud hacia la innovación o tecnología, en el aspecto de adoptar o rechazar para implementar la idea y confirmar su decisión. Se conceptualiza en cinco pasos que son: 1) el conocimiento que compartió otro miembro sobre la información que cuenta sobre la tecnología, 2) la persuasión aparece cuando un miembro forma una actitud favorable o desfavorable hacia la nueva idea o tecnología, 3) La decisión es el acto donde decide adoptar o rechazar la tecnología, 4) después viene la implementación donde el miembro adquiere la tecnología y la pone en uso, y por último 5) la confirmación donde el miembro refuerza la decisión de haber adquirido la tecnología o genera nuevas ideas sobre la misma. Este proceso involucra muy de cerca el tiempo, ya que este proceso se lleva a

cabo en una línea de tiempo ordenado de conocimiento, persuasión, decisión, implementación y confirmación.

La última característica es el sistema social, que está definido como un conjunto de unidades interrelacionadas para resolver un problema o llegar a un objetivo común. Estos miembros pueden ser individuos, grupos informales, organizaciones y/o subsistemas. Es importante aclarar que la difusión de una tecnología ocurre dentro de un sistema social, porque la estructura social del sistema afecta la difusión de la innovación en muchos aspectos.

Se define a la estructura social como un patrón de funciones de los miembros del sistema. Esta estructura le da regulación y estabilidad al comportamiento humano en un sistema social, esta estructura representa un tipo de información que disminuye la incertidumbre. En adición a esta estructura formal con los miembros o unidades, también existe una estructura informal que esta inherente dentro de las relaciones interpersonales de los miembros del sistema, que determina con quien interactúa y en qué circunstancias. El sistema social y la comunicación facilita o impide la difusión de la tecnología.

Dentro del sistema social existen normas que dictan el comportamiento de los miembros y por lo general siempre son ejemplificadas con la opinión de un líder de decisión, pero también existe un agente de cambio que su actividad es influenciar a los potenciales adoptadores a tomar la decisión de adquirir la nueva tecnología.

En *Difusión de Innovaciones* (1962), se distinguen tres tipos importantes de decisión de innovación, la primera es una autoridad de decisión, donde la decisión de adoptar la nueva tecnología cae en la responsabilidad de unos pocos miembros del sistema, la segunda es la decisión colectiva donde la característica de esta decisión es que todos los miembros del sistema deciden si adoptar o rechazar la tecnología y por último está la decisión opcional donde cada miembro del sistema tiene la decisión de adoptar o rechazar la tecnología de manera independiente.

## La adopción tecnológica para el uso sostenible del agua y posibles soluciones

El estudio de Sousa-Zomer y Miguel (2016) reveló que, la gran mayoría de las ciudades alrededor del mundo enfrentan cada día retos importantes sobre sustentabilidad, en especial en el recurso tan importante como es el agua, dentro de los retos de sustentabilidad del agua se encuentra la baja disponibilidad y escases del agua en gran parte del planeta, el cambio climático y el crecimiento desmesurado de la población. Para Sousa-

Zomer y Miguel (2016) un camino para combatir estos retos existentes y los retos venideros es considerar a las tecnologías y las innovaciones como una alternativa crucial para el sector del agua. Por la complejidad de los retos significa que es requerida una adopción de tecnología y una innovación dentro del sector hidráulico de las grandes ciudades. Estas soluciones no solo incluyen la adopción y difusión de las nuevas tecnologías sino también nuevos modelos de negocio y una nueva forma de gobernar el agua, para que así pueda estimular y darle soporte a la innovación tecnológica como lo explica la Comisión Europea de Desarrollo (2015). En las recientes décadas ha existido un auge por la sustentabilidad y el desarrollo sostenible y ha recibido especial atención por parte de los sectores políticos, industriales y académicos, en este sector por estudios hechos por Boons y Lüdeke-Freund (2013), Matos y Silvestre, (2013) que existe una importante conexión entre las innovaciones y la sustentabilidad.

La Comisión de Desarrollo Europea (2015) y estudios de Dong (2016) sugieren que, las innovaciones tecnológicas es una solución importante para todos los retos de sustentabilidad, incluyendo el cambio climático, la utilización de energías renovables, en el uso sostenible del agua. Anadón (2015) plantea en su estudio que la innovación tecnológica juega un rol muy importante para alcanzar los objetivos de calidad dentro de las sociedades, como son el crecimiento económico, el bienestar social y el desarrollo sostenible. Chesbrough (2010) ve la innovación tecnológica como la adopción y utilización de nuevos productos tecnológicos o de soluciones afines para enfrentar el reto por ejemplo la producción de energías renovables.

Sousa-Zomer y Miguel (2016) plantean que, existe una estrecha relación entre la sustentabilidad y la adopción de diferentes innovaciones y que son necesarias para retos de aspecto sostenible. La complejidad que existe dentro de la sustentabilidad y los retos existentes del ambiente significa que el agente o miembro adoptará o innovará soluciones que son necesarias para los diferentes sectores e industrias. Brundtland (1987) planteo que el desarrollo sostenible es poder satisfacer nuestras necesidades sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las siguientes generaciones.

La importancia del agua llevó a la Asamblea de las Naciones Unidas a establecer el 22 de marzo de cada año como el Día Mundial del Agua. Con esto se intenta crear conciencia sobre la importancia del uso responsable y la adopción de medidas encaminadas a la sostenibilidad de este recurso.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), ONU-Agua (2016) y Unesco (2016), cerca del 10% del consumo de agua corresponde

al uso doméstico. Lo demás se usa en la agricultura y en la industria. Si bien el acceso a agua potable se ha incrementado en las últimas décadas, la FAO estima que uno de cada cinco países en vías de desarrollo tendrá problemas de escasez de agua para el 2030.

De la misma manera es importante enseñar a las futuras generaciones la importancia de tener buenas prácticas para el cuidado del agua, que los acompañen el resto de su vida. Fomentando una cultura de protección y conciencia ambiental. Para que esta tarea se vuelva más sencilla, los últimos años se ha desarrollado tecnología que permite el ahorro del líquido en las diversas actividades del hogar, que es donde se consume mayor cantidad.

En el ámbito doméstico, también existen sistemas que permiten ahorrar. En los sanitarios, por ejemplo, se puede reducir el consumo de agua entre el 40% y 75%, el sistema Key Valve, presente en el urinario Eco Zero, permite el ahorro del 100% porque no utiliza agua al eliminar los desechos líquidos (ver Figura 15).



*Figura 15. Eco Zero.*

*Fuente: Key Valve (2016).*

Además, existen otras tecnologías para sanitarios, como el sistema Eco Dual Flush, que permite una descarga de 4,8 litros para sólidos y 3,5 litros para líquidos. El Dual Flush usa 6 litros para sólidos y 4,1 litros para líquidos (ver Figura 16). La tecnología HET utiliza 4,8 litros en todas sus descargas. Franz Viegner cuenta también con productos amigables con el ambiente. Con respecto a sanitarios, la compañía cuenta con dos tipos de tecnologías: los de alta eficiencia (4,8 litros por descarga) y los de bajo consumo (seis litros por descarga).



*Figura 16. Dual Flush.*

*Fuente: Key Valve (2016).*

En grifería, se cuenta con el sistema Eco Dual Flow que permite regular la cantidad de agua que se consume y con el Mono mando Ecológica, que reduce el tiempo de mezcla de agua frente a los sistemas tradicionales. También existe la opción un urinal que tiene incorporado un lavabo, para que el agua que se utiliza al lavarse las manos sirva para el aseo del inodoro. Grifos termostáticos que al prefijar la temperatura que se desea no se desperdicia agua. Debido al limitador de caudal que lo integra es posible ahorrar entre un 20 y un 50% de agua. Además, cuenta con un bloqueo de temperatura a 38 grados que evita quemaduras (ver Figura 17).



*Figura 17. Eco Dual Flush.*

*Fuente: Key Valve (2016).*

Una ducha puede gastar entre 50 y 100 litros de agua, esto corresponde aproximadamente al 50% de la media de consumo de los habitantes de la Ciudad de México (250 litros diarios). Por otro lado, un baño en tina requiere de aproximadamente 250 litros. Con un restrictor de duchas se puede reducir la cantidad de agua hasta en un 30%. La ducha Orbsys permite ahorrar un 90% de agua y un 80% de energía. Este proyecto fue financiado por la NASA y se trata de un circuito cerrado muy sencillo y efectivo en el que el agua caliente del grifo que

va al desagüe, se purifica al instante, convirtiéndose en agua potable que se bombea de nuevo (ver Figura 18).



*Figura 18. Ducha Orbsys.*

*Fuente: NASA (2014).*

La piedra de agua Waterpebble, puede reducir el tiempo de una ducha hasta a seis minutos. Consiste en un sistema de cronometraje con luces incluidas, que indica la cantidad de tiempo y si se excede en el consumo de agua (ver Figura 19).



*Figura 19. Piedra Water Pebble.*

*Fuente: CDN4 (2016).*

Otro de los lugares donde se consume una mayor cantidad de agua, además del cuarto de baño, es la lavandería, una lavadora utiliza, en promedio, 200 litros por lavado. Algunas empresas han creado electrodomésticos que reducen la cantidad de líquido necesario. Mabe y Panasonic han lanzado al mercado lavadoras con sensores para reducir la cantidad de agua usada. Washup es un proyecto creado por el turco Sevin Coskun, que basa su funcionamiento en conectar la salida de agua de la lavadora a un inodoro, para que el agua que normalmente se desperdicia al lavar, se aproveche en una descarga (ver Figura 20).



Figura 20. Lavadora Mabe.

Fuente: Mabe (2016).

El cuidado del agua es una responsabilidad que no corresponde únicamente al gobierno o a las grandes empresas. Es una tarea en la que cada uno de nosotros debemos de colaborar con distintas acciones a lo largo del día y en diferentes lugares, que contribuyan al cuidado y aprovechamiento de agua. Tank Cava es una ducha ecológica que recupera el agua que se utiliza en la ducha, la filtra y la usa para llenar el tanque del WC. Este invento permite ahorrar hasta un 40% del consumo regular de agua en el cuarto de baño (ver Figura 21).

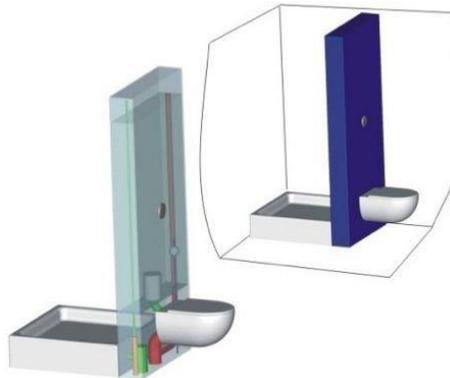


Figura 21. Tank Cava.

Fuente: Expo News (2015).

## Las fuentes alternas de agua

Existen procesos y usos que no necesariamente debe usarse agua potable, es donde se puede usar una fuente alterna de agua para satisfacer ese proceso. Estas fuentes alternas se puede incluir captación directa de aguas diversas (ver Figura 22).



Figura 22. La Casa Ecológica, un Espacio Fundido con la Naturaleza.

Fuente: Tecno Certificación (2015).

En la Guía sobre uso eficiente y ahorro de agua en el hogar; Una gota de menos, una gota más... en el hogar (2017) expone que el proceso de uso eficiente, equitativo y sostenible del agua en el uso doméstico del agua, se plantea en tres áreas de interés que son: Adelántate, Adáptate y Actúa.

Adelántate.

En el proceso de construcción del hogar es de suma importancia que exista una planeación previa de todos los procesos para realizar, en el tema del agua se debe tener en cuenta la posibilidad de un sistema que aproveche mejor el agua captada, también la reutilización de las aguas residuales y muchas de estas no requieren una inversión exorbitante.

Adáptate.

En esta área se preocupa por la intervención que se debe hacer sobre las instalaciones del hogar, para conseguir un ahorro de agua y que se utilice de manera más eficiente.

Actúa.

La parte de actuar se enfoca principalmente en modificar los hábitos y usos cotidianos de consumo del agua, que involucra pequeños cambios en nuestra vida cotidiana que se puede transformar en ahorros considerables.

La metodología para el desarrollo de modelos de simulación basado de agentes

Especialistas se han enfrentado cara a cara con el reto de cómo modelar un sistema complejo en el mundo real de la ecología, sociedad y de la socio-ecología. Un enfoque para modelar es usando el modelo basado en agentes con siglas ABM en inglés (agent-based model). El modelo basado en agentes se enfoca en muchos aspectos porque son de importancia para explicar el comportamiento a nivel sistémico, la heterogeneidad de los individuos, la interacción local de los agentes o individuos y la conducta adaptativa de los miembros.

El modelo basado en agentes desde el principio fue criticado por ser pobre en información, estas críticas motivo a Volker Grimm crear un protocolo (Grimm, 2006) que creaba un formato genérico y una estructura estándar con el cual todos los modelos basado en agentes se podrían documentar más fácilmente.

En el año 2010, Volker Grimm público una actualización sobre su primer protocolo (Grimm, 2006), este nuevo protocolo contiene siete elementos que explican y describen la metodología ODD (Overview, Design Concepts, Details) para corregir los problemas de ambigüedad del protocolo original y su descripción (ver Figura 23).

	Elements of the original ODD protocol (Grimm et al., 2006)	Elements of the updated ODD protocol
Overview	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Purpose</li> <li>2. State variables and scales</li> <li>3. Process overview and scheduling</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Purpose</li> <li>2. Entities, state variables, and scales</li> <li>3. Process overview and scheduling</li> </ol>
Design concepts	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Design concepts               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emergence</li> <li>• Adaptation</li> <li>• Fitness</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Design concepts               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Basic principles</li> <li>• Emergence</li> <li>• Adaptation</li> <li>• Objectives</li> <li>• Learning</li> <li>• Prediction</li> <li>• Sensing</li> <li>• Interaction</li> <li>• Stochasticity</li> <li>• Collectives</li> <li>• Observation</li> </ul> </li> </ol>
Details	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. Initialization</li> <li>6. Input</li> <li>7. Submodels</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. Initialization</li> <li>6. Input data</li> <li>7. Submodels</li> </ol>

Figura 23. The seven elements of the original and update ODD protocol.

Autor: Grimm (2006).

Los elementos que contiene la nueva actualización del protocolo ODD son siete y cada uno de ellos contiene dos partes, la pregunta y la explicación.

## 1) Objetivo

Pregunta: ¿Cuál es el objetivo del modelo?

Explicación: Todos los modelos empiezan con una pregunta, un problema o una hipótesis. En esta parte no se describe cómo va a trabajar el modelo, solamente para que se va utilizar.

## 2) Entidades, variables de estado y escalas

Pregunta: ¿Qué clase de entidades hay dentro del modelo?, ¿Por cuáles variables de estado están caracterizadas estas entidades?, ¿En qué tiempo y espacio se encuentra el modelo?

Explicación: Una entidad un objeto o actor que se comporta como la unidad y puede interactuar con otras identidades o ser afectado por factores del ambiente. Esto produce un estado que es caracterizado por variables de estado o atributos. Las variables de estado o los atributos son variables que distinguen una entidad de otras entidades de la misma categoría o es el trazo para saber cómo cambia a través del tiempo.

La mayoría de los Modelos Basados en Agentes contienen los siguientes tipos de entidades:

Agentes/ individuos: por ejemplo, organismos, humanos, instituciones, casas y pueden tener variables de estado como edad, sexo, localización, peso, estatura y datos específicos como edad máxima, memoria, comportamiento.

Unidades espaciales: por ejemplo, descripción del entorno, etc...

Ambiente: son las representaciones de las condiciones ambientales o las fuerzas que conducen al comportamiento y la dinámica de todos los agentes o unidades.

Colectivos: Son grupos de agentes que pueden tener su propio comportamiento, característica que los distingue como entidades.

En la parte de escalas temporales y espaciales es importante representar en el modelo que unidades representa en la realidad.

## 3) Descripción de proceso y planificación

Pregunta: ¿Qué oCuál unidad o agente hace qué, y en qué orden?, ¿Cuándo una variable de estado cambia?, ¿El tiempo como será modelado, discreto o continuo?

Explicación: Esta parte se refiere al proceso que representará el modelo y estos procesos serán ejecutados por las entidades en cuestión. Para manejar estos procesos tan complejos el modelado basado en agentes tiene plataformas en software como NETLOGO (Wilensky, 1999) que dentro del proceso llamado modelo incluyo un observador, que controla al objeto para que puede realizar el proceso. En qué orden se refiere a los diferentes actos que realizan los agentes pero que deben estar referido a un proceso que involucra un orden

de acciones. Para planificar un modelo es necesario definir por cuánto tiempo estará modelando.

#### 4) Diseñar conceptos

Preguntas: Esta parte consta de once elementos:

Principios básicos: ¿Cuáles son los conceptos generales, teorías, hipótesis o enfoques de modelado que están contemplados en el modelo?, ¿Explican la relación que existe entre los conceptos básicos, la complejidad del modelo y el propósito de estudio?

Aparición: ¿Qué resultados aparecerán del modelo a partir de los rasgos adaptativos o los comportamientos de los agentes?, ¿Existen posibles resultados que son implantados por las reglas del modelo más que por el comportamiento e interacción de los elementos?

Adaptación: ¿Qué rasgos adaptativos tienen las unidades o agentes?, ¿Qué reglas ellos tienen para hacer decisiones y realizar cambios en su comportamiento en respuesta a sus cambios o los cambios del ambiente?

Objetivos: ¿Qué rasgos incrementan la posibilidad de éxito para llegar al objetivo y como es medido?

Aprendizaje: ¿Las unidades o agentes cambian sus rasgos con el paso del tiempo en consecuencia de su experiencia?

Predicción: ¿Con el cambio de rasgos o proceso de aprendizaje son base para estimar los resultados o consecuencias del futuro?

Sensor: ¿Qué estados de variables internos o de ambiente son asumidos por los individuales para ser sentidos o considerados en las decisiones?

Interacciones: ¿Qué tipo de interacciones asumen los agentes o individuos?, ¿Existen interacciones directas o indirectas, vía competición por un recurso?

Estocasticidad: ¿El proceso modelado es aleatorio o en parte aleatorio?

Colectivos: ¿Los individuos pertenecen o forman parte de una segregación que afectan o que son afectados por los otros individuos de su grupo?

Observación: ¿Cuáles datos serán recolectados del modelo basado en agentes para pruebas, para el entendimiento y análisis, y cómo son recolectados?

Explicación: Este elemento del protocolo no describe el modelo per se, sin embargo, este diseño de conceptos tiende a ser una característica de los modelos basados en agentes, no siempre exclusivo. Es una parte crucial para interpretar las salidas del modelo.

#### 5) Inicialización

Pregunta: ¿Cuáles son los valores de los estados iniciales en el tiempo cero?

Explicación: Resulta que los modelos no pueden ser corridos hasta que las condiciones iniciales sean conocidas. Diferentes modelos y diferentes análisis usan el mismo modelo, solo se diferencian de las condiciones iniciales que cada uno de ellos usen.

#### 6) Datos de entrada para el modelo

Pregunta: ¿Qué información externa, archivos de datos u otros modelos necesita el modelo para realizar el proceso que cambia en cierto tiempo?

Explicación: En los modelos de sistemas reales, la dinámica ha sido una parte importante basada en series de tiempo de las variables del ambiente, usualmente llamadas fuerzas externas; por ejemplo, cantidad de personas, cantidad de lluvia en un año, etc.

#### 7) Submodelos

Pregunta: ¿Cuál, detalladamente, es el submodelo que representa los procesos catalogados en la descripción de proceso y programando?, ¿Cuáles son los parámetros, las dimensiones y los valores de referencia?

Explicación: Los Submodelos son presentados en detalle y completos. Es necesaria la descripción del submodelo, ecuaciones y algoritmos, que debe tener un orden y estar claramente separada de la información adicional.

### Los modelos de adopción tecnológica basado en simulación de agentes

Maya, Klöckner y Febrianti (2016) en su estudio llamado *El uso de modelos basados en agentes* buscaron explorar opciones políticas para soportar la adopción de vehículos de gas natural en Indonesia, plantean usar modelos ABM, ya que la difusión de vehículos alternativos que no usen combustible fósil de Indonesia ha tenido un bajo desarrollo por falta de infraestructura y regulaciones para la actualización del parque vehicular. El estudio trata de explicar cómo se hizo la decisión el consumidor de adoptar dicha tecnología y explorar las potenciales políticas para ayudar a la actualización del parque vehicular.

El subsidio que existe hacia la gasolina y el diésel ha resultado negativo no solo para el desarrollo económico, sino que ha llevado a una dependencia por los hidrocarburos en el sector de la transportación, sin olvidar que se ha creado contaminación del aire, problemas de tráfico y problemas para el gobierno de Indonesia para poder importar gasolina, ya que Indonesia no tiene refinerías de gasolina. Diversos estudios arrojan varias posibilidades para combatir estos problemas, Maya, Klôckner y Febrianti (2016) plantean que una posible solución es la diversificación de autos privados, donde con este cambio pretenden reducir el consumo de combustibles fósiles y al mismo tiempo reducir la producción de CO<sub>2</sub> en la ciudad. Los autores proponen dos tecnologías para la diversificación, la primera es la adopción de autos de bajo consumo de carbono y la segunda es la adopción de autos que usen gas natural.

La metodología que usaron Maya, Klôckner y Febrianti (2016), consta de tres pasos; el primero es la especificación del modelo donde se plantean los posibles elementos del modelo para entender los posibles consumidores, los atributos y su comportamiento, todo esto basado en una evidencia por experiencia; el segundo es la calibración del modelo, en esta parte se usa datos concretos para calibrar condiciones iniciales y el rango de los parámetros y la tercera parte consta de la validación del modelo donde los datos usados en el modelo y la calibración no deben ser similares para usarse en la validación para evitar un modelo semejante.

Maya , Klôckner y Febrianti (2016) realizaron el modelo conceptual donde incorporan categorías como las categorías de los adoptadores, las interacciones sociales y la decisión de adopción por parte de los agentes, con estas categorías se ven con la necesidad de realizar dos modelos; el primero es el modelo psicológico donde trata de conceptualizar el comportamiento humano para llegar a la adopción, se basa en la interacción que existe entre el consumidor y el posible adoptador de la tecnología y el segundo modelo es el modelo no psicológico, donde el posible adoptador ve los beneficios y costos que obtendrá al adoptar algún vehículo, ya sea el de bajo consumo de carbono o el que uso gas natural.

Maya , Klôckner y Febrianti (2016) plantean las siguientes ecuaciones que se usaran en el modelo:

$$\text{INT(Intention)} = w_{\text{att}} \cdot \text{ATT} + w_{\text{pbc}} \cdot \text{PBC} + w_{\text{sn}} \cdot \text{Social Interac}$$

$$\text{ATT(Attitudes)} = \sum_1^j \text{imp}_j^{\text{att}} \cdot \text{Vehicle Attributes}(j)$$

$$\text{PBC(Perceived Behavioral Control)}$$

$$= \sum_1^j \text{imp}_j^{\text{pbc}} \cdot \text{Vehicle Attributes}(j)$$

*Ecuación 1*

Para la ejecución de la simulación, los autores plantean diferentes parámetros de inicio como son reducción del subsidio en diferentes porcentajes y otros parámetros propuestos; hacen correr al modelo ya definidos los datos empíricos, obteniendo en general que en promedio incrementara en los próximos diez años a partir de las nuevas reformas políticas la adopción de cualquiera de las dos tecnologías propuestas y después ira declinando otra vez. En conclusión plantean Maya , Klöckner y Febrianti (2016) que este estudio contribuyó con importantes implicaciones, algunas de ellas son que el Gobierno de Indonesia debe ir graduando el subsidio sobre la gasolina y diésel, esto quiere decir reformas políticas para la disminución de uso de combustible fósil y crear facilidades y subsidios temporales para las tecnologías de bajo consumo de carbono y los autos que usan gas natural; también arrojo que entre las dos tecnologías propuestas la que más replicarían los agentes sería la adopción de autos que usen gas natural, sin embargo esa es una solución temporal para la problemática actual ya que el gas natural igual que el combustible fósil son energías no renovables y en algún momento se tendrá que agotar y existirá problemas de abasto y se tendrá que buscar nuevas tecnologías ahora para que sustituya a los autos que usen gas natural.

Rai y Robinson (2017) en su estudio llamado Modelo Basado en Agentes para la Adopción de Tecnologías Energéticas: Integración Empírica de lo Social, Comportamiento, Economía y Factores Ambientales donde plantean que para ser útil los modelos basados en agentes en sistemas humanos técnicos debe existir un rigor y robustez en cuanto a la base empírica y la orientación teórica. En el estudio los autores buscaron el modelo que represente la adopción tecnológica en energía fotovoltaica residencial solar (PV), enfocándose en aspecto de diseño del modelo, sistema, inicialización y la validación, presentando un acercamiento comprensivo para integrar datos empíricos en la inicialización de estados de agente, enmarcando reglas de decisión.

El objetivo del estudio de Rai y Robinson (2017) fue presentar un modelo basado en agentes para la adopción tecnológica que, sistemáticamente trata de llevar los desafíos a mejores resultados, donde el modelo a base de agentes de la adopción de sistemas residenciales

solares fotovoltaicos (PV) en la Ciudad de Austin, Texas, la cual cuenta con una población aproximada de 900,000 habitantes.

La información y metodología usada por Rai y Robinson (2017) cuenta en general con dos apartados que son: el primero es el set up del modelo y como sus diferentes componentes interactúan entre ellos y el segundo que es la integración de información de estudios, programas de utilidad y niveles socio-económicos de la población para representar el entorno e inicializar estados de agente, dentro de estos dos apartados generales existen sub apartados, dentro de ellos existe cual es la información necesaria y los autores plantean que se necesita condiciones de mercado, especificaciones y requerimientos del nuevo sistema tecnológico, datos históricos sobre las adopciones tecnológicas de sistemas residenciales solares fotovoltaicos antes del estudio, información sobre características arquitectónicas y de espacios de los hogares en la Ciudad de Austin, Texas y por último datos del medio ambiente como son huellas ambientales y energéticas de las casas en promedio, cobertura de zonas verdes y las características del terreno no habitado.

Otro sub-apartado de la metodología es la planeación y diseño del modelo, donde los autores plantean que existirá dos sub-modelos, el primero es el de actitud y el otro en es económico, la integración de estos modelos hará el modelo que representa la adopción tecnológica y son los determinantes para que haga la decisión los agentes de adoptar o no adoptar la tecnología.

El módulo económico es modelado después de que el control percibido conductual (pbc) construye de TPB. Los autores Rai y Robinson (2017) usaron la variable pbc como una medida de la percepción de un agente de su capacidad (el control) para realizar un comportamiento, ante " la presencia de los factores que pueden facilitar o impedir el funcionamiento del comportamiento ". En consecuencia, calculan pbc<sub>i</sub> para cada agente i como el período de reembolso mínimo tolerable de inversión en un sistema solar. La interpretación en el contexto de TPB es que un agente percibe el control lleno de la adopción si el reembolso es inferior que pbc del agente. Más concretamente, un agente i compara su pbc<sub>i</sub> con el reembolso empírico en el período de tiempo corriente PP<sub>it</sub>. La asunción que ella es ya encima del umbral, la adopción pasa sólo si el reembolso es inferior que pbc<sub>i</sub> donde proponen la desigualdad:

$$PP_{it} < pbc_i |$$

*Ecuación 2*

Donde para los autores  $PP_{it}$  es igual a :

$$PP_{it} = \frac{p_t - R_t - (p_t - R_t) * ITC}{G_i * e_t}$$

*Ecuación 3*

Los autores explican que p<sub>bc</sub> es calculado sólo una vez para cada agente y tiene aquel mismo valor a lo largo del período de simulación; así, asumen que el p<sub>bc</sub> sea unos intrínsecos, el tiempo el atributo invariante de un agente durante el período de simulación. El reembolso es una cantidad dinámica y se cambia para cada agente con el tiempo. El reembolso es calculado como una función del valor de la electricidad producida por el sistema solar (e), el por unidad pone un precio sobre p del sistema sola (en el \$/Vatio), rebajas de utilidad (R), y el crédito federal fiscal de la inversión (ITC) para cada vez periodo, y la generación de electricidad de sistema anual la G (en el kWh/kW, basado en la irradiación):

En el siguiente sub-apartado que se denomina inicialización del modelo, establecen las condiciones iniciales para poder correr el modelo como son: el número de habitantes, el tiempo de estudio, los datos económicos de control y costos, de igual forma los datos iniciales en torno a la actitud de los agentes hacia el cambio; en el siguiente sub-apartado plantean los autores que existe una evolución en la actitud de los agentes dando como resultados que debe existir una interacción social entre los agentes que ya adoptaron la tecnología y los posibles agentes adoptadores a través de un espacio y tiempo.

En los últimos sub-apartados de la metodología vienen la verificación del modelo, donde se verifica que el modelo opera de manera adecuada usando parámetros de sensibilidad y hacer estudios a menor escala para observar resultados; después está el sub-apartado de adecuación, que tiene como objetivo que el modelo se puede aplicar al mundo real en cierto tiempo y por último está el sub-apartado de validación es cual tiene tres objetivos, validación temporal donde arrojará en cuanto tiempo se adoptará la tecnología por los agentes, la validación espacial donde reflejará la distribución geográfica de los adoptadores solares dentro del área de estudio y la última es la validación demográfica.

Como resultados Rai y Robinson (2017) obtuvieron que para este estudio los agentes están influenciados en promedio de igual manera por los dos sub-modelos, tanto los económicos y los de actitud hacia la nueva tecnología y creen los autores que son resultados alentadores ya que solo se usó datos públicamente disponibles, ya que las gráficas obtenidas por el modelo tienen un tiempo bueno y mínimo para que la mayoría de las grandes concentraciones demográficas adopten la tecnología fotovoltaica.

La autora Huerta Barrientos (2017) plantea que una innovación socio-ambiental es un proceso de cambio social que implica que involucra a los agentes o sociedad e iniciativas

ambientales que genera una difusión de información importante, que conlleva a una transformación social para un beneficio colectivo. Durante la difusión de una innovación socio-ambiental es necesario una comunicación de interacción, donde la información es creada y compartida entre los participantes hasta que haya sido comprendida totalmente.

De acuerdo con Quiroga y Barrera (2012), una innovación socio-ambiental es un proceso de cambio en la búsqueda de acciones en territorios, que implica un conjunto de actores basados en sus intereses, misión y capacidad, participando en actividades específicas como científicas, tecnológicas, ambientales, culturales, organizativas, financieras o comerciales cuya orientación no solo es darle respuesta al problema de desarrollo y conservación de recursos sino generar un aprendizaje que conlleve a la autonomía de los actores y reformas en la estructura que se vea reflejada en un beneficio colectivo; esta innovación socio – ambiental genera un flujo de información relevante mediante canales de información y redes de interacción entre los actores involucrados, promoviendo el proceso de generación y difusión de la innovación y hacer énfasis en las interconexiones de los canales y de las redes. Para Rogers (1983) la difusión de una innovación es un proceso de comunicación a través de ciertos canales durante cierto tiempo en los miembros de algún sistema social, donde los participantes crean y comparten información entre los miembros hasta un entendimiento total.

Rogers (1983) planteó que, entre 1920 y 1980 las mayores ciencias de difusión eran la antropología, comunicación, marketing, geografía y sociología por mencionar algunas y más adelante se creó los sistemas complejos adaptativos que tiene como enfoque el análisis de la expansión de la innovación a través de un sistema complejo social. Buckley (1967) definió los sistemas complejos adaptativos como un sistema donde los principales elementos son las redes de comunicación, con un control central y simples reglas de interacción entre los componentes de las redes, dando el comportamiento lo complejo del sistema compartiendo información sofisticada y una adaptación aprendida vía la evolución.

Huerta Barrientos (2017) desarrolló el modelo conceptual usando dos enfoques, el primero es el enfoque de modelo descriptivo donde su finalidad es especificar el estado del sistema a nivel macro dando tiempos y capturando como se ve el sistema, esto solo se puede usar con métodos cuantitativos como son los modelos estocásticos y el segundo enfoque es reglas basadas en el modelaje donde su enfoque es en el micro nivel con reglas dinámicas para poder explicar lo observado en el comportamiento del macro nivel del sistema.

Huerta Barrientos (2017) usó un modelado basado en agentes, donde se explica que los modelos basados en agentes es una forma de modelado computacional donde un fenómeno es modelado en términos de agentes y sus interacciones, donde las interacciones son la base de este modelado. Wooldridge y Jennings (1995) plantean que los agentes

tienen típicas características como son autonomía, habilidades sociales, reacciones y pro actividad y en general Macal (2011) propuso que los modelos basados en agentes contienen cuatro elementos que son los agentes con sus atributos y entorno, las relaciones entre los agentes y las reglas de interacción, las redes de conectividad que define quien y cuando los agentes interactúan y el entorno que rodea a los agentes.

Para la red conceptualizada en sistema adaptativo complejo de RENDRUS presenta las siguientes características existe agentes heterogéneos con llave múltiple, diferentes niveles de estructura, existe una diversidad intrínseca dentro de las llaves de los posibles agentes, existe una dinámica funcional y por último existirá un impacto en la estructura social; donde RENDRUS además contiene atributos como son ventaja relativa, ya que su uso ofrece mejores practica para los agricultores, también tiene el atributo de compatibilidad, también tiene el atributo de ser compleja, ya que para algunos productores tiene una relativa dificultad para entenderse la tecnología y usarse y de igual forma es observable ya que el uso de RENDRUS es visible para otros productores rurales.

Huerta Barrientos (2017), realizó su modelo de simulación basado en agentes en el programa NETLOGO, que fue desarrollado por los años noventa por Wilensky, que tiene como propósito general el modelado basado en agentes con un lenguaje usado a nivel mundial que provee un entorno grafico del modelado y planteando la desigualdad:

$$rt < ee * \left(\frac{na}{ag}\right) + (an * sc)$$

*Ecuación 4*

como la regla de interacción que tendrá los agentes que ya adoptaron la tecnología con los vecinos que hicieron la red de comunicación, donde depende del valor  $rt$  que depende de la función no lineal evaluada en términos del número de adoptadores ( $na$ ), el efecto endógeno ( $ee$ ), la cohesión social ( $cs$ ), el número de agentes ( $ag$ ) y los posibles adoptadores ( $an$ ).

Huerta Barrientos (2017), desarrolló cuatro posibles escenarios con diferentes números de productores respectivamente y además propuso dos factores experimentales de inicio que son: la popularidad de la innovación socio-ambiental basada en la relativa ventaja que los productores perciben que lo define como efectos endógenos el cual tiene parámetros bajo y alto, y el segundo factor son los factores de cohesión social de igual forma tiene parámetros alto y bajo.

En conclusión, Huerta Barrientos (2017) explicó que la innovación socio-ambiental es definida como un proceso de cambio social gradual a través de acciones localizadas en

cierto territorio, que no solo es orientada para responder problemas de desarrollo rural en este caso de estudio sino también para generar un aprendizaje que con lleve a una autonomía de por parte de los actores, en este caso los productores rurales y que se vea reflejado en un beneficio colectivo y que la innovación socio-ambiental contribuirá al desarrollo sostenible del grupo de estudio si se entiende de manera correcta las interacciones éntrelos productores y las organizaciones gubernamentales y académicas para poder llegar al objetivo deseado.

Tamayo (2014) en su estudio llamado Simulación Híbrida de la Difusión de la Innovación con Dinámica de Sistemas y Sistemas Multiagentes tuvo como propósito presentar la implementación de un modelo de la difusión de la innovación, Dinámica de Sistemas (DS), integrándolo con un sistema multiagente (MA) y sistemas de información geográfica (GIS – Geographic Information System) utilizando el entorno de simulación híbrido NetLogo™.

La difusión de la innovación (DOI - Diffusion Of Innovation) explica el autor que es una teoría que intenta explicar por qué y cómo se difunden las nuevas tecnologías a través de las diferentes culturas. Pocas teorías de las ciencias sociales tienen una historia de estudio conceptual y empírico como la difusión de la innovación. La robustez y longevidad de esta teoría está basada en la cantidad de campos y disciplinas en las que se ha estudiado.

Tamayo (2014) explicó que, la elección de este modelo está motivada por que la teoría de la difusión de la innovación se puede descomponer en dos niveles claramente diferenciados: por un lado, un nivel del lado del productor, donde se analizan las políticas y estrategias de la empresa, y un nivel individual, el del consumidor, que, en función de sus estados internos y las interacciones con el entorno, decide adoptar la innovación tecnológica. Este nivel, además puede incorporar una dimensión espacial gracias a la aparición de entornos de simulación con soporte GIS.

El autor considera aplicar una metodología multinivel a sistemas con múltiples niveles es el enfoque más adecuado. Al simular un modelo multinivel haciendo uso de dos metodologías diferentes se aumenta la complejidad del modelo y se exige al modelador un esfuerzo extra, al tener que trabajar con diferentes paradigmas y herramientas. Por suerte, empiezan a aparecer entornos de simulación, como NetLogo™, Repast™, AnyLogic™ que intentan facilitar el desarrollo multinivel agrupando varios paradigmas de modelado en la misma herramienta.

La irrupción de sistemas de información geográfica, por su parte, permite realizar simulaciones con información geoespacial asociada, simulaciones que necesitan de un entorno de simulación flexible y que facilite la transición de los modelos existentes a estas

nuevas metodologías. Haciendo uso de estas herramientas y gracias a los sistemas multiagentes, hemos extendido el modelo DOI añadiendo una dimensión espacial.

El proyecto de Tamayo (2014) pretendió realizar el estudio de las herramientas y teorías subyacentes, que permiten construir modelos multimétodo y contribuir en la difusión de este tipo de modelado.

Para ello, hemos reimplementado un modelo teórico de Dinámica de Sistemas, el modelo difusión de la innovación publicado por Ahmadian (2008), utilizando la herramienta NetLogo™. Mediante una serie de refinamientos, ha obtenido un modelo multimétodo aplicable a un ámbito geográfico, gracias a la introducción de restricciones geográficas obtenidas mediante la herramienta de información geográfica QGIS.

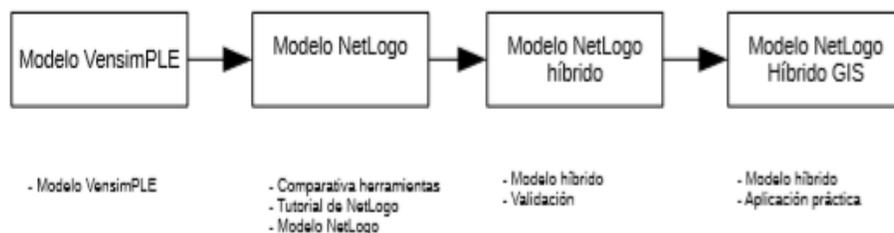


Figura 24. Dinámica de Sistemas, el modelo difusión de la innovación publicado por Ahmadian.

Autor: Ahmadian (2018).

Las metodologías que usa Tamayo (2014) son en primer La Dinámica de Sistemas, que es una metodología que permite modelar el comportamiento de sistemas complejos a lo largo del tiempo. Según su creador Jay Forrester, “La Dinámica de Sistemas versa sobre cómo cambian las cosas a lo largo del tiempo, lo que incluye casi todo lo que la gente considera importante”. Usa la simulación por computador para obtener el conocimiento que tenemos.

La Dinámica de Sistemas resulta útil cuando:

1. Nos interesamos por la evolución de un sistema complejo.
2. Cuando no tenemos por objetivo determinar situaciones óptimas, si no comprender el funcionamiento del sistema y poder responder a cuestiones del tipo ¿qué pasaría sí...?
3. Probar hipótesis, probar escenarios.
4. Evaluar políticas de gestión de crisis en escenarios simulados.

La Dinámica Industrial (nombre que adoptaba la DS en los 50) fue creada por Jay Forrester en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) para resolver un problema en concreto: el que presentaba una empresa de productos electrónicos que, teniendo poco volumen de negocio, registraba considerables oscilaciones en la línea de producción (Forrester 1962). Forrester llegó a la conclusión de que las oscilaciones eran debidas a la combinación de estructuras de realimentación y retrasos en la transmisión de la información a lo largo de la empresa.

Al llevar a cabo este análisis, sentó las bases del método que hoy conocemos como Dinámica de Sistemas, que cristalizó en su obra “Industrial Dynamics” (Forrester 1962). Más tarde, Forrester extendió este método a otros ámbitos de aplicación gracias a sus obras “Urban Dynamics” (Forrester 1969), que estudia los problemas de la sociedad urbana, y “World Dynamics” (Forrester 1971), que se centraba en estudiar los problemas asociados al crecimiento demográfico y la contaminación. En 1970 El Club de Roma presentó el modelo del mundo, coordinado por el matrimonio Meadows (Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J. 1972), utilizando la DS; gracias a este trabajo y su difusión, se popularizó la DS.

La segunda metodología que usa es la de modelado basado en agentes que se centra en simular el comportamiento social a través de modelos de ordenador basados en sistemas multiagentes. En este tipo de simulaciones las personas o grupos de personas son representadas por agentes que forman la sociedad.

Para el estudio de Tamayo (2014) el autor se basó en una combinación de las metodologías de dinámica de sistema y modelado basado en agentes basándose en el programa Netlogo™ y teniendo como resultado que con el paso de los tiempos ya el avance de las tecnologías es posible tener mejores herramientas y mejores resultados para ayudar en cualquier área de interés, teniendo en cuenta que gracias a estas herramientas es más fácil que exista una interdisciplinariedad y que gracias a esto existan varios paradigmas para ayudar y crear la solución.

## El cuadro resumen de la revisión de la literatura

Autor	Título	Año	Aportación
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	Manual para el uso eficiente y racional del agua. ¡Utiliza sólo la necesaria!.	2003	Realizó de forma puntual un manual que trata de contribuir a la reducción en el consumo de agua en los hogares mexicanos, orientando a los responsables del uso y consumo como ser más racional en los patrones de

			consumo y utilizar sólo la cantidad necesaria de agua, evitando el desperdicio.
Autor	Título	Año	Aportación
Diputación de Albacete	Una gota de menos, una gota más... en el hogar.	2017	La Diputación de Albacete realizó esta guía para recordar y ofrecer consejos y buenas prácticas relacionadas con uno de los recursos más indispensables que es el agua.
Autor	Título	Año	Aportación
Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos	Ley de Aguas Nacionales.	2016	Este Ley es reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo el territorio nacional y tiene como objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sostenible.
Autor	Título	Año	Aportación
Thayla Sousa-Zomer y Paulo A. Miguel	El negocio sostenible modelado como una estrategia de innovación en el sector de agua: Una investigación empírica de un sistema de servicio de producto sostenible.	2016	La complejidad de los desafíos en el sector de agua quiere decir que requieren soluciones innovadoras. Estas soluciones incluyen no sólo nuevas tecnologías sostenibles para la purificación de agua, pero también la innovación complementaria en modelos de negocio para apoyar la adopción de estas tecnologías en áreas urbanas. Este papel apunta para explorar el papel de modelos sostenibles de negocio en el apoyar innovaciones tecnológicas como accesos descentralizados para la calidad de agua y mejoras de cantidad de áreas urbanas.
Autor	Título	Año	Aportación

Comisión Europea de desarrollo	Enfoque de la Unión Europea sobre desarrollo sostenible.	2014	El desarrollo sostenible pretende satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas propias. Ofrece un enfoque completo que aúna consideraciones económicas, sociales y medioambientales, de forma que se refuercen mutuamente.
Autor	Título	Año	Aportación
Stelvia Matos y Bruno S. Silvestre	Relaciones de stakeholder desarrollando modelos sostenibles de negocio: el caso del sector de energía brasileño.	2013	Aunque teóricamente la importancia de modelos sostenibles de negocio se haya hecho extensamente aceptada en la literatura, poco sea sabida como los directores tratan con publicaciones prácticas como diferencias de intereses de los stakeholders. En este papel, enfocamos la pregunta: ¿Lo que las estrategias pueden ayudar a funcionarios con poder de decisión a mejor unir con los stakeholders y vencer los desafíos de estar en desacuerdo intereses considerando la sostenibilidad en sus modelos de negocio? La investigación utiliza dos estudios de caso en el sector de energía brasileño: la compañía petrolera nacional Petrobras y sus tentativas de desarrollar biodiésel, y la utilidad nacional eléctrica Electrobras y sus tentativas de proporcionar electricidad a comunidades empobrecidas.
Autor	Título	Año	Aportación
Rui-Dong Chang, Jian Zuo, Zhen-Yu Zhao, Veronica	Desarrollo de las teorías de sostenibilidad y firmas: Historia, futuras direcciones e implicaciones para	2017	La sostenibilidad se ha hecho una perspectiva crítica en la dirección de firmas vía un acercamiento holístico por considerando las dimensiones económicas, ambientales y sociales de firmas.

Soebarto, Xiao-Long Gan	investigación de energía renovable.		Con la importancia creciente de desarrollo sostenible, las teorías de sostenibilidad en firmas se han desarrollado durante las seis décadas pasadas. Este artículo ofrece una revisión crítica de las teorías que se desarrollan y unen la sostenibilidad a firmas, y habla de sus implicaciones para la futura investigación de energía renovable. Las relaciones entre teorías diferentes críticamente son analizadas, y las direcciones para la futura investigación son habladas. El papel muestra que, las teorías principales que unen la sostenibilidad a firmas, en un orden cronológica, son: 1) Responsabilidad social corporativa, 2) Teoría de Tenedor de apuestas, 3) Sostenibilidad Corporativa, y 4) Economía Verde.
Autor	Título	Año	Aportación
Laura Díaz Anadón	Los futuros gastos de tecnologías de energía claves bajas de carbón: Armonización y agregación de experto de tecnología de energía licitación datos.	2015	En este papel se estandarizó y se comparó el conjunto de resultados de trece estudios de expertos de tecnología, realizados por el período de cinco años usando una gama de metodologías diferentes, pero todo el apuntamiento a la obtención del juicio experto sobre el futuro coste de cinco tecnologías de energía claves y como futuros gastos podrían ser bajo la influencia del público R*D inversiones. Para permitir a investigadores y fabricantes de política usar la riqueza de conocimiento colectivo obtenido por estos expertos. También se agregó estimaciones expertas dentro de cada estudio y a través de estudios para facilitar la comparación. El análisis muestra que, como esperado, esperan que

			gastos de tecnología bajen hacia 2030 con el aumento de los niveles de inversiones R*D, pero que no hay un nivel alto de inversión en estos momentos.
Autor	Título	Año	Aportación
Henry Chesbrough	Negocio con los modelos de Innovación: Oportunidades y Barreras.	2010	Las empresas comercializan nuevas ideas y tecnologías por sus modelos de negocio. Mientras las empresas pueden tener inversiones extensas y procesos para explorar nuevas ideas y tecnologías, ellos a menudo tienen poco si cualquier capacidad de innovar el negocio modela por el cual estas entradas pasarán. Esto importa - la misma idea o la tecnología aficionada el mercado por dos modelos diferentes de negocio cederá dos resultados diferentes económicos. Entonces esto hace el sentido bueno de negocio para empresas para desarrollar la capacidad de innovar sus modelos de negocio. Este papel explora las barreras a la innovación modela de negocio, que la investigación académico anterior ha identificado como incluyendo conflictos con el activo existente y modelos de negocio, así como la cognición en la comprensión estas barreras.
Autor	Título	Año	Aportación
Gro Harriem Brundtland	Comisión Mundial sobre entorno y desarrollo.	1987	Planteó que el desarrollo sostenible es poder satisfacer nuestras necesidades sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las siguientes generaciones.
Autor	Título	Año	Aportación
ONU-Agua	Agua.	2016	El agua está en el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía y la

			<p>producción de alimentos, los ecosistemas saludables y para la supervivencia misma de los seres humanos. El agua también forma parte crucial de la adaptación al cambio climático, y es el vínculo crucial entre la sociedad y el medioambiente.</p> <p>El agua es, además, una cuestión de derechos. A medida que crece la población mundial, se genera una necesidad creciente de conciliar la competencia entre las demandas comerciales de los recursos hídricos para que las comunidades tengan lo suficiente para satisfacer sus necesidades. En concreto, las mujeres y las niñas deben tener acceso a instalaciones de saneamiento limpias y que respeten la privacidad para que puedan manejar la menstruación y la maternidad con dignidad y seguridad.</p>
<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Año</b>	<b>Aportación</b>
Unesco	Water Security.	2016	Las disposiciones políticas y económicas de gobiernos no son bastante para asegurar el duradero y el apoyo sincero de los pueblos. La paz debe ser fundada sobre el diálogo y la comprensión mutua. La paz debe ser construida sobre la solidaridad intelectual y moral de humanidad. En este espíritu, UNESCO desarrolla instrumentos educativos para ayudar poblar vivo como ciudadanos globales sin el odio y la intolerancia. La UNESCO trabaja de modo que cada niño y ciudadano tengan el acceso a la educación de calidad. Por

			<p>promoviendo la herencia cultural y la dignidad igual de todas las culturas, la UNESCO refuerza obligaciones entre naciones. La UNESCO promueve programas científicos y política como plataformas para el desarrollo y la cooperación. La UNESCO defiende la libertad de expresión, como un derecho fundamental y una condición clave para la democracia y el desarrollo.</p>
<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Año</b>	<b>Aportación</b>
Everett Rogers	Difusión de Innovación.	1983	<p>La difusión de una innovación tecnológica se hace mediante la comunicación en ciertos canales, durante cierto tiempo dentro de los miembros de un sistema social. El canal de comunicación comprende un proceso en el cual los participantes, en este caso los miembros del sistema social de estudio, crean y comparten información con otro miembro para así crear un entendimiento mutuo sobre la idea. La definición anterior implica que la comunicación es un proceso de convergencia o divergencia entre dos o más miembros que intercambian información. Se sabe que la comunicación es un proceso de dos sentidos que involucra un emisor y receptor en el cual se transfiere un mensaje o idea, este simple concepto de la comunicación humana describen el comportamiento de actos o eventos que envuelven la difusión, como cuando un agente persuade a un cliente de adoptar una nueva tecnología.</p>
<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Año</b>	<b>Aportación</b>

Volker Grimm	Metodología ODD.	2006	La Descripción, conceptos de Diseño, y Detalles (ODD) el protocolo fue publicado en 2006 para estandarizar las descripciones publicadas de modelos a base de individuo y a base de agente (ABMs). Los objetivos primarios de los ODD son hacer descripciones modelos más comprensibles y completas, así haciendo ABMs menos sujetas a la crítica para ser irreproducible. Sistemáticamente hemos evaluado los empleos existentes del protocolo ODD y nos hemos identificado, como esperado, las partes de ODD necesitando la mejora y la clarificación. En consecuencia, revisamos la definición de ODD para clarificar los aspectos de la versión original y así facilitar la futura estandarización de descripciones ABM. Hablamos de críticas con frecuencia levantadas en ODD, pero también dos aparición, e inesperado, ventajas: ODD mejora la formulación rigurosa de modelos.
Autor	Título	Año	Aportación
Bertha Maya, Christian Klöckner y Dona Febrianti	El uso de modelos basados en agentes para explorar opciones políticas para soportar la adopción de vehículos de gas natural en Indonesia.	2016	La difusión de los vehículos de gas natural ha sido impulsada por el gobierno en baja cantidad. Este papel tiene como objetivo entender la decisión de adoptar por los consumidores y explorar las posibles políticas públicas para el favorecimiento de la actualización.
Autor	Título	Año	Aportación
Varun Rai y Scott Robinson	Modelo Basado en Agentes para la Adopción de Tecnologías Energéticas: Integración Empírica de lo Social, Comportamiento,	2017	Modelado basado en agentes (ABM) ofrece un marco conceptual para representar la racionalidad saltada de funcionarios con poder de decisión individuales. Pero para ser usos útiles ABM en sistemas

	Economía y Factores Ambientales.		humanos técnicos exigen el rigor y la robustez en cuanto a la base empírica y la orientación teórica. En este papel presentamos la arquitectura de una base teórica y el modelo empíricamente conducido a base de agente de adopción de tecnología, con un uso a la energía fotovoltaica residencial solar (PV). Enfocando los aspectos de diseño modelo, sistema, inicialización, y la validación, presentamos un acercamiento comprensivo para integrar datos empíricos en la inicialización de estados de agente, enmarcando reglas de decisión de agente basadas en la teoría.
Autor	Título	Año	Aportación
Aida Huerta Barrientos	Modelación y Simulación de un Sistema Complejo Adaptativo.	2017	La innovación socio-ambiental es un proceso de cambio social que implica tanto participación de agentes sobre iniciativas sociales como ambientales y la generación y la difusión de información relevante, que conducen transformaciones sociales para el colectivo. Durante la difusión de innovaciones socio-ambientales por una red de comunicación, la información es creada y compartida entre participantes hasta que la comprensión mutua sea alcanzada. En el caso de Red Nacional para el Desarrollo Sostenible Rural (RENDRUS) la red, innovaciones adoptadas es muy difícil adoptar por la gente en comunidades rurales debido a la falta de canal de comunicación efectiva. Este estudio apunta para desarrollar un modelo de simulación nuevo a base de agente de innovación socio-ambiental difusión en la red de

			RENRUS basado en el enfoque de complejidad y sistemas complejos.
Autor	Título	Año	Aportación
C. A.Quiroga y Gaytan Barrera	Evaluar la innovación socioambiental.	2012	Evaluar la innovación socioambiental permite conocer: si existe un proceso de cambio gradual hacia el bienestar de los actores; si participan en conjunto y en qué tipo de actividades; si aportan respuestas creativas a los problemas del desarrollo y conservación de la biodiversidad y si hay aprendizajes y/o beneficios colectivos. Se proponen dos instrumentos para evaluar cuantitativa y cualitativamente el proceso de innovación socioambiental, en particular en relación con los productos, procesos y metodologías inherentes a la innovación, misma que se reconoce compleja, multiescala y multidisciplinaria. Los instrumentos son flexibles y permiten analizar el impacto con un enfoque sistémico.
Autor	Título	Año	Aportación
Wooldridge y Jennings	Agentes Inteligentes: Teoría y Práctica	1995	Plantean que los agentes tienen típicas características como son autonomía, habilidades sociales, reacciones y pro actividad
Autor	Título	Año	Aportación
C. Macal	Instrucciones introductorias: modelado a base de agente y simulación.	2011	La simulación a basada en agente (ABS) es un acercamiento a sistemas que modelan comprendidos de individuo, autónomo, actuando recíprocamente "a agentes". El modelado a basado en agente ofrece caminos de más fácilmente modelar comportamientos individuales y como los comportamientos afectan otros de los modos que no han estado

			disponibles antes. Hay mucho interés en desarrollar modelos a base de agente para muchos dominios de problema de aplicación. Los usos se extienden de modelar el comportamiento de agente en cadenas de suministro y la bolsa, a la predicción del éxito de campañas publicitarias y la extensión de epidemias, a la proyección de las futuras necesidades del sistema de asistencia médica. El progreso en el área sugiere que ABS prometa tener efectos de gran alcance en el camino que los ordenadores de empleo de negocios para apoyar la toma de decisiones e investigadores usan modelos a base de agente como laboratorios electrónicos
Autor	Título	Año	Aportación
Josu Tamayo Zamorano	Simulación Híbrida De La Difusión De La Innovación Con Dinámica De Sistemas Y Sistemas Multiagentes.	2014	El propósito de este proyecto, es ilustrar cómo implementar un modelo de la difusión de la innovación, un clásico de la literatura de Dinámica de Sistemas (DS), integrándolo con un sistema multiagente (MA) y sistemas de información geográfica (Geographic Information System) utilizando el entorno de simulación híbrido NetLogo™. Para facilitar la comprensión del desarrollo realizado. También se ha estudiado el estado del arte de las herramientas de simulación híbridas y se ha realizado una comparativa de los entornos NetLogo™, Repast™ y AnyLogic™.

## Capítulo 3 Los dispositivos factibles para ser utilizados en la Ciudad de México para el consumo eficiente, sostenible y equitativo del agua

Con base en el capítulo dos llamado Adopción tecnológica para el uso sostenible del agua y posibles soluciones, donde se describieron varias tecnologías y dispositivos en torno al ahorro de agua dentro de los hogares, en este capítulo, se presentan los dispositivos y tecnologías factibles para ser utilizados en la Ciudad de México para el consumo eficiente, sostenible y equitativo del agua. Se dividen en tres grupos en general y estos son: Ahorradores de agua para Regaderas, Ahorradores de agua para Grifos de Cocina y Baño y los Ahorradores de agua para WC. Algunos dispositivos se encuentran disponibles de las tiendas especializadas para muebles y accesorios para el hogar dentro de la República Mexicana.

### Ahorradores de agua para Regaderas



A

Figura 25. Diagrama general de una regadera convencional.

Autor: Carlos Aníbal García Castañeda (2018).

En cuestión de dispositivos ahorradores de agua para regaderas existen dos posibles tecnologías la primera es aditamentos que se conectan a la punta de la regadera en uso (ver Figura 25-A) para controlar y regular la presión y el paso de agua hacia la salida, esto sirve para controlar el caudal de agua, optimizando la presión y la cantidad de agua que sale para realizar la ducha diaria, en cuestión de precios en promedio estos aditamentos van de los \$ 160 pesos moneda nacional hasta los \$ 180 pesos moneda nacional dependiendo de la presión hidráulica que exista en los hogares y estos dispositivos se pueden encontrar en tiendas especializadas para grifería.



Figura 26. Ahorradores de agua para grifería de duchas.

Fuente: Ecologyc (2017).

La segunda tecnología consta de la parte que está expuesta del sistema mejor conocida como regadera (ver Figura 25-B), donde existen varios tipos a elegir dependiendo en gran parte por el gusto del cliente y el diseño, además de la caída de agua y la presión hidráulica dentro de los hogares, en cuestión del precio aquí si existe una gran variedades de precios pero en promedio la mayoría de la regaderas ahorradoras andan en un precio de \$ 800 pesos moneda nacional hasta \$ 1000 pesos moneda nacional y esta tecnología ahorradora de agua se puede encontrar en tiendas especializadas para accesorios y muebles del hogar.



Figura 27. Inventario Duchas.

Fuente: Distribuidora Home Depot (2018).

### Ahorradores de agua para Grifos de Cocina y Baños

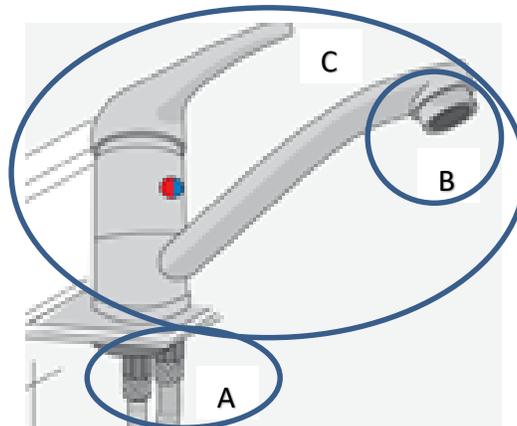


Figura 28. Diagrama general de un grifo de cocina o de baño.

Autor: Carlos Aníbal García Castañeda (2018).

En cuestión de dispositivos ahorradores de agua para grifos de cocina y baño existen tres posibles tecnologías la primera es aditamentos que se conectan a la tubería (ver Figura 28-

A) para controlar y regular la presión y el paso de agua hacia los lavabos de cocina y baños, esto sirve para controlar el caudal de agua, optimizando la presión y la cantidad que sale para realizar las actividades de la cocina como lavado de alimentos o lavado de trastes o para uso personal en el baño, en cuestión de precios en promedio estos aditamentos van de los \$ 200 pesos moneda nacional hasta los \$ 240 pesos moneda nacional dependiendo de la presión hidráulica que exista en los hogares y estos dispositivos se pueden encontrar en tiendas especializadas para grifería.



Figura 29. Ahorradores de agua para grifería de lavabos.

Fuente: Ecologyc (2017).

La segunda posible tecnología es aditamentos que se puede utilizar en la punta de las regaderas (ver Figura 28-B) , para controlar el caudal de agua, optimizando la presión y la cantidad de agua que sale para realizar las actividades de la cocina como lavado de alimentos o lavado de trastes o para uso personal en el baño, en cuestión de precios en promedio estos aditamentos van de los \$ 280 pesos moneda nacional hasta los \$ 300 pesos moneda nacional dependiendo de la presión hidráulica que exista en los hogares y estos dispositivos se pueden encontrar en tiendas especializadas para grifería.



Figura 30. Ahorradores de agua para Lavabos de cocina y baños (Puntas).

Fuente: Ecologice (2018).

La tercera tecnología disponible para ahorradores de grifos para lavabos de cocina y baños son los mono mandos o mezcladoras para cocina y baños (ver Figura 28-C) , que traen

integrado los dispositivos anteriores y que además traen otras funciones que ayudan a las actividades caseras, donde existen varios tipos a elegir dependiendo en gran parte por el gusto del cliente y el diseño, además de la caída de agua y la presión hidráulica dentro de los hogares, en cuestión del precio aquí si existe una gran variedades de precios pero en promedio la mayoría de los mono mandos y mezcladoras andan en un precio de \$ 1,800 pesos moneda nacional hasta \$ 2,000 pesos moneda nacional y esta tecnología ahorradora de agua se puede encontrar en tiendas especializadas para accesorios y muebles del hogar.



Figura 31. Mono mandos y Mezcladoras ahorradoras de agua.

Fuente: Distribuidora Home Depot (2018).

#### Ahorradores de agua para WC y Mingitorios

Para dispositivos ahorradores de agua para WC y Mingitorios existen dos tecnologías en general, la primera la llaman dispositivos secos, ya que estos no requieren ni una gota de agua para realizar su función, sin embargo, requieren instalaciones e infraestructura especial para poder usarlos, lo que conlleva un gasto mayor y en algunos casos imposible de realizar, ya que no se planeó la construcción para esos tipos de dispositivos y la segunda tecnología disponible es la de los dispositivos ahorradores de agua la cual trabaja con una cantidad mínima y necesaria para realizar su función minimizando el consumo de agua dentro de los hogares.

En cuestión del precio aquí si existe una grande variedad de precios, pero en promedio la mayoría de los WC andan en un precio de \$ 2,000 pesos moneda nacional hasta \$ 2,500 pesos moneda nacional, dependiendo del modelo y gusto del cliente y esta tecnología ahorradora de agua se puede encontrar en tiendas especializadas para accesorios y muebles del hogar.



Figura 32. WC ahorradores de agua.

Fuente: Distribuidora Home Depot (2018).

En el estudio realizado por Almaráz (2010) se indica una tabla de comparación en equipos con dispositivos ahorradores y sin los dispositivos.

EQUIPO	SIN AHORRADOR	CON AHORRADOR
Lavabo	0.204 +/- 0.004	0.095 +/- 0.004
Fregadero	0.223 +/- 0.004	0.113 +/- 0.003
Regadera	0.278 +/- 0.020	0.128 +/- 0.009

5 repeticiones, valor medio y desviación estandar

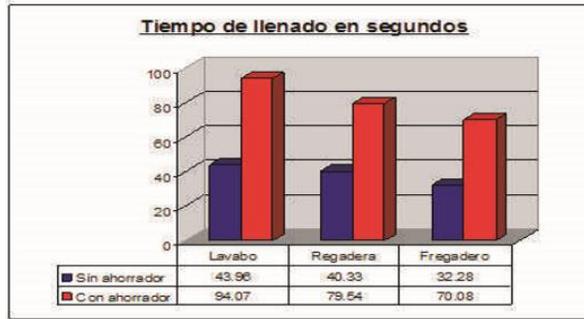


Figura 33. Tabla comparativa y Tiempo de llenado en segundos de una jarra.

Autor: Guillermo Almaráz (2010).

### 3.1 El caso de estudio de la Facultad de Estudios Superiores Aragón de la Universidad Nacional Autónoma de México.

#### Historia

En más de 35 años de existencia, la Facultad de Estudios Superiores Aragón se ha consolidado como el centro universitario más importante de la zona nororiente de la Ciudad de México.

El surgimiento de esta multidisciplinaria fue aprobado el 23 de septiembre de 1975 en sesión extraordinaria del H. Consejo Universitario. Siete días después, el Ing. Pablo Ortiz Macedo fue notificado de su designación como director de este plantel, cargo que desempeñó a partir del 3 de octubre de ese año.

El 16 de enero de 1976, a las 10:00 horas, el rector Guillermo Soberón Acevedo inauguró la ENEP Aragón. Instaurada en los límites del municipio de Netzahualcóyotl, la escuela inició labores el 19 de enero de 1976.

Arquitectura, Derecho, Diseño Industrial, Economía, Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Pedagogía, Periodismo y Comunicación Colectiva (hoy Comunicación y

Periodismo), Relaciones Internacionales y Sociología fueron las primeras licenciaturas impartidas en este recinto.

En la década de los ochenta, comenzó a impartirse la licenciatura en Planificación para el Desarrollo Agropecuario, egresaron las primeras generaciones, el primer alumno obtuvo su título, se instituyó la División de Estudios de Posgrado e Investigación y se creó la maestría en Enseñanza Superior, que después adoptaría el nombre de Programa de Posgrado de Maestría y Doctorado en Pedagogía.

La oferta educativa se amplió a 12 licenciaturas en 1981 con la apertura de Ingeniería en Computación. También se impulsó el desarrollo de actividades deportivas y culturales con la creación del Gimnasio para Halterofilia y el Centro de Extensión Universitaria, este último inaugurado en 1985 y considerado como el único centro cultural de la zona.

Desde 1986 comenzaron a impartirse las especialidades en Puentes y Ciencias Penales, en 1990 se sumaron las maestrías de Economía Financiera y Derecho. A partir de la década de los noventa, esta institución actualiza constantemente sus planes y programas de estudio.

En 1991 se estableció la Coordinación de Educación Continua, donde los universitarios y la comunidad externa adquieren las herramientas suficientes para competir en el campo laboral a través de cursos, seminarios y diplomados; asimismo, en el Centro de Lenguas Extranjeras (que ya operaba desde noviembre de 1976), se incorporaron, además del inglés, francés e italiano, idiomas como portugués, alemán, ruso, japonés, latín y náhuatl, con lo cual se ampliaron los servicios que la institución ofrece al público en general.

El plantel comenzó a figurar como semillero de grandes atletas. Basta mencionar a Adrián Ponce, sexto lugar en Lucha grecorromana en los Juegos Olímpicos de Seúl 1988, Daniel de Anda, quien ganó la medalla de oro en los Juegos Centroamericanos de Puerto Rico en 1990 o Alma Delia Garrido, quinto lugar mundial de Taekwondo en San Petersburgo y premio Puma al deportista más destacado de la UNAM en 1996.

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) contribuyó con esta institución para edificar el Centro Tecnológico Aragón, inaugurado en 1996. Para finales de los noventa, la oferta educativa en el posgrado se amplió con los doctorados en Pedagogía, Derecho y Economía. También se acreditaron ocho licenciaturas y fueron certificados los laboratorios de las ingenierías con la norma ISO 9001:2000. En 2005 fue la transición de Escuela Nacional de Estudios Profesionales (ENEP) a Facultad de Estudios Superiores (FES) Aragón. En 2006, se incrementó la oferta académica con la creación de la maestría en Arquitectura con orientación en Tecnología. A partir de 2009 se impulsó el re acreditación y evaluación de todas las licenciaturas. Se inició el Programa Universitario de Manejo, Uso y Reúso del Agua en la UNAM (PUMAGUA).

También, se han promovido proyectos relacionados con Docencia, Investigación Institucional, Vinculación, Difusión de la cultura y el deporte. Además, con el Centro de Investigación Multidisciplinaria Aragón (CIMA) desde enero de 2010, muestra la misión que tiene la Máxima Casa de Estudios con la educación y la cultura del país.

A la fecha, la cosecha de medallas y la proyección de los atletas ha sido satisfactoria, nuestros representantes integran a la selección mayor de la UNAM en diferentes disciplinas; han sido campeones o subcampeones en torneos locales, estatales, regionales, nacionales e internacionales, como los Juegos Puma, la Universidad a Nacional, la Olimpiada Nacional y el récord de doce campeonatos, de los cuales ocho fueron consecutivos en los Juegos universitarios InterFES.

Actualmente, las 14 licenciaturas de esta multidisciplinaria han sido acreditadas y 11 re acreditadas por organismos nacionales externos a la UNAM: Arquitectura, Comunicación y Periodismo, Derecho, Diseño Industrial, Economía, Ingeniería Civil, Pedagogía, Planificación para el Desarrollo Agropecuario, Relaciones Internacionales y Sociología (...) y siete re acreditaciones de los programas académicos de Arquitectura, Comunicación y Periodismo, Diseño Industrial, Ingeniería Civil, Planificación para el Desarrollo Agropecuario, Relaciones Internacionales y Sociología.

### Ubicación

La Facultad de Estudios Superiores Aragón se encuentra localizada en el Estado de México en el municipio de Nezahualcóyotl con dirección en Avenida Rancho Seco Sin Número, Colonia Impulsora Popular Avícola.

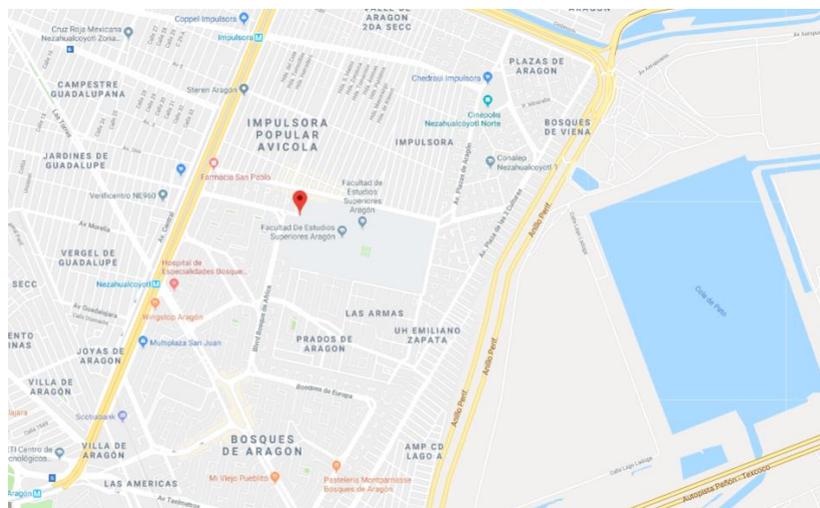


Figura 34. Mapa de ubicación de la Facultad de Estudios Superiores Aragón en Google Maps™.

Autor: Carlos Anibal García Castañeda (2016).

## Datos

Por el Primer Informe de Actividades (Chagolla, 2016) que presenta el Director de la Facultad de Estudios Superiores Aragón se sabe que la institución atendió hasta el semestre 2018-1 a un total de 19,198 estudiantes, de los cuales el 47% son mujeres, en sus 14 planes de estudio de licenciatura en sistema escolarizado con 18,020 alumnos y el sistema abierto contempla a 1,178 alumnos con 3 planes de estudio (ver Figura 31).



Figura 35. Matrícula de Estudiantes de Facultad de Estudios Superiores Aragón.

Autor: Fernando Chagolla (2016).

Por parte de los trabajadores administrativos y académicos de la Facultad suman un total de 2,433 personas, se dividen en 1,699 académicos y 803 funcionarios sumados a personal de base y de confianza. La planta docente se conforma de: 48 técnicos académicos, 42 profesores titulares, 34 profesores asociados, 1,475 profesores de asignatura y 100 ayudantes de profesor, de los cuales 152 son pasantes de licenciatura, 4 técnicos, 952 licenciados, 6 cuentan con especialidad, 427 con maestría y 158 con doctorado (ver Figura 35).



Figura 36. Matrícula de Académicos, Administrativos y Trabajadores de Facultad de Estudios Superiores Aragón.

Autor: Fernando Chagolla (2016).

Con respecto al presupuesto total correspondiente al 2018, en la Facultad se ejercieron los recursos asignados en los diferentes rubros (Universidad Nacional Autónoma de México, 2018) se observa que al 30 de junio de 2018 en cuestión de presupuesto tiene los siguientes rubros de inversión:



Figura 37. Ejercicio presupuestal al 30 de junio de 2018.

Autor: Fernando Chagolla (2016).

En cuestión de presupuesto extraordinario tiene los siguientes rubros de inversión:

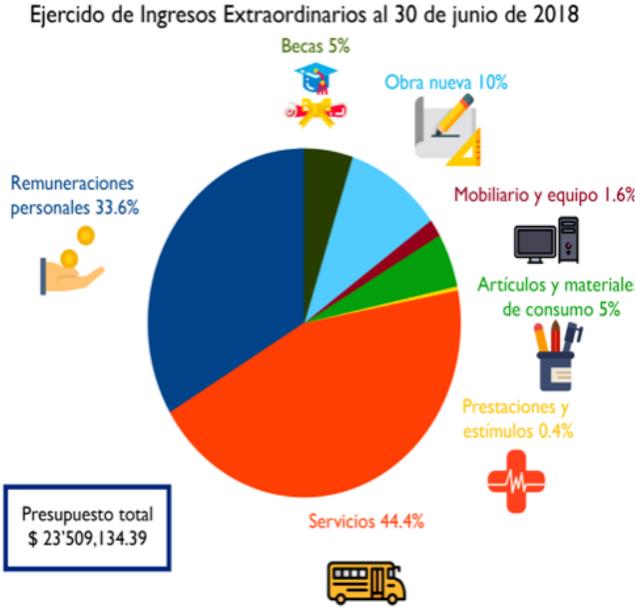


Figura 38. Ejercicio de Ingreso Extraordinarios al 30 de junio de 2018.

Autor: Fernando Chagolla (2016).

Gracias al inventario de la Unidad de Planeación (2018) se sabe que la Facultad de Estudios Superiores Aragón cuenta con los siguientes elementos en cuestión de lavabos, sanitarios, mingitorios y regaderas dentro de los edificios (enseñanza, laboratorios, administrativos, deportivos, ventas, etc.):

Cuartos de Baños Totales	Mujeres	Hombres
	52	44

*Tabla 1. Cuartos de Baños.*

*Autor: Carlos Aníbal García Castañeda (2018).*

Desglose de Sanitarios , Lavabos y Mingitorios Totales		
Sanitarios	Lavabos	Mingitorios
393	263	129

*Tabla 2. Desglose de Sanitarios, Lavabos y Mingitorios Totales.*

*Autor: Carlos Aníbal García Castañeda (2018).*

Por estudios llevados a cabo por el dentro del Centro de Investigación Multidisciplinaria Aragón (2017) y lo que sugiere Márquez (2004), se conoce que en promedio se utiliza anualmente 17 mil metros cúbicos de agua para satisfacer todas las actividades de la sociedad dentro de la Facultad de Estudios Superiores Aragón y por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2016) se sabe que el 65% del total del agua que entra a una casa se utiliza para el uso de aseo personal, y que de este porcentaje aproximadamente el 45% se utiliza en lavabos y sanitarios.

En cuestión de litros usados por elementos se sabe que los sanitarios tienen una capacidad de uso de aproximadamente de 3 litros de agua por descarga, los mingitorios tienen una capacidad de uso de 0.5 litros de agua por descarga y por parte de los grifos en los lavabos son tecnología no ahorradora.

3.2 Un modelo de simulación para analizar los mecanismos de la adopción tecnológica de dispositivos tecnológicos que contribuyan al uso doméstico sostenible del agua en el contexto de la Ciudad de México.

## Objetivo

Representar los mecanismos de adopción tecnológica de solución para el uso eficiente, sostenible y equitativo del agua en el sector doméstico de la Ciudad de México para estimar la dinámica de la evolución de dicha adopción para diferentes porcentajes de hogares en un caso de estudio.

## Entidades, variables de estado y escalas

La entidad que estará dentro del modelo será una representación de los hogares de la Ciudad de México, teniendo como variables de estado del sistema el grado de adopción tecnológica y como variables de estado de la entidad la cantidad de agentes (hogares) , el porcentaje de casas que tienen acceso a una toma domiciliada, el factor endógeno, el factor de cohesión social, el promedio de ingreso mensual económico y el costo de la tecnología para adoptar, la escala geográfica será en representación de la Ciudad de México y en escala temporal se tendrá que el tiempo de modelado será de un año con pasos definidos de un día.

## Descripción de proceso y planificación

Los hogares que se tomarán en cuenta como agentes serán todos aquellos que cuenten con una toma domiciliada de abastecimiento que esté conectada a la red primaria de abastecimiento y que cuente con un registro en la boleta bimestral, la interacción se realizará con las personas que vivan dentro de los hogares que cuenten con la adopción tecnológica que harán interacción con otras personas que vivan en hogares diferentes dentro de la Ciudad de México y así se hará la decisión de adoptar o no adoptar la innovación tecnológica para el para el uso eficiente, sostenible y equitativo del agua en el sector doméstico de la Ciudad de México; el tiempo de modelado será discreto.

## Diseñar conceptos

Principios básicos: Los sistemas complejos adaptativos tienen como enfoque el análisis de la expansión de la innovación a través de un sistema complejo social. Buckley (1967) definió los sistemas complejos adaptativos como un sistema donde los principales elementos son las redes de comunicación, con un control central y simples reglas de interacción entre los componentes de las redes, dando el comportamiento lo complejo del sistema compartiendo información sofisticada y una adaptación aprendida vía la evolución.

Everett Rogers en su libro *Difusión de Innovaciones* (1983) define que la difusión de una innovación tecnológica se hace mediante la comunicación en ciertos canales, durante cierto tiempo dentro de los miembros de un sistema social. El canal de comunicación comprende

un proceso en el cual los participantes, en este caso los miembros del sistema social de estudio, crean y comparten información con otro miembro para así crear un entendimiento mutuo sobre la idea. La definición anterior implica que la comunicación es un proceso de convergencia o divergencia entre dos o más miembros que intercambian información. Se sabe que la comunicación es un proceso de dos sentidos que involucra un emisor y receptor en el cual se transfiere un mensaje o idea, este simple concepto de la comunicación humana describen el comportamiento de actos o eventos que envuelven la difusión, como cuando un agente persuade a un cliente de adoptar una nueva tecnología.

**Aparición:** Los resultados que aparecerán son graficas en Forma de S, donde se graficará el tiempo contra la cantidad de hogares de la Ciudad de México que adoptaron la innovación tecnológica para la solución del uso eficiente, sostenible y equitativo del agua en el sector doméstico, donde estos resultados solo son por el comportamiento e interacción de los elementos.

**Adaptación:** Los agentes contiene atributos como son ventaja relativa, ya que su uso ofrece mejores practica para los hogares de la Ciudad de México, también tiene el atributo de compatibilidad, también tiene el atributo de ser compleja, ya que para algunos hogares tiene una relativa dificultad para entenderse la tecnología y usarse y de igual forma es observable ya que el uso de la innovación tecnológica es visible para otros hogares de la Ciudad de México.

**Objetivos:** Los rasgos que incrementan la posibilidad de éxito para llegar al uso eficiente, sostenible y equitativo del agua en el sector doméstico de la Ciudad de México son: cohesión social, la ventaja que ofrece la tecnología, el nivel socio-económico y la interacción con otros hogares.

**Aprendizaje:** Se esperaría para que para que haya un uso eficiente, sostenible y equitativo del agua en el sector doméstico de la Ciudad de México la mayoría de los agentes en este caso los hogares, adopten la innovación tecnológica con el paso del tiempo.

**Predicción:** Se esperaría que, con el cambio de rasgos y el proceso de aprendizaje e interacción entre los agentes, se adopte en gran porcentaje de los hogares de la Ciudad de México la innovación tecnológica en un tiempo de un año para tener un uso eficiente, sostenible y equitativo del agua en el sector doméstico de la Ciudad de México.

**Sensor:** Las variables de estado internas y externas del sistema que son considerados en la toma de decisión por los agentes dentro del modelado son: cohesión social, ventaja de la tecnología, nivel socio-económico y situación actual del agua en la Ciudad de México.

Interacciones: La interacción que existirá entre los agentes del modelo será de manera directa y compartirán el recurso de la innovación tecnológica para llegar al uso eficiente, sostenible y equitativo del agua en el sector doméstico de la Ciudad de México.

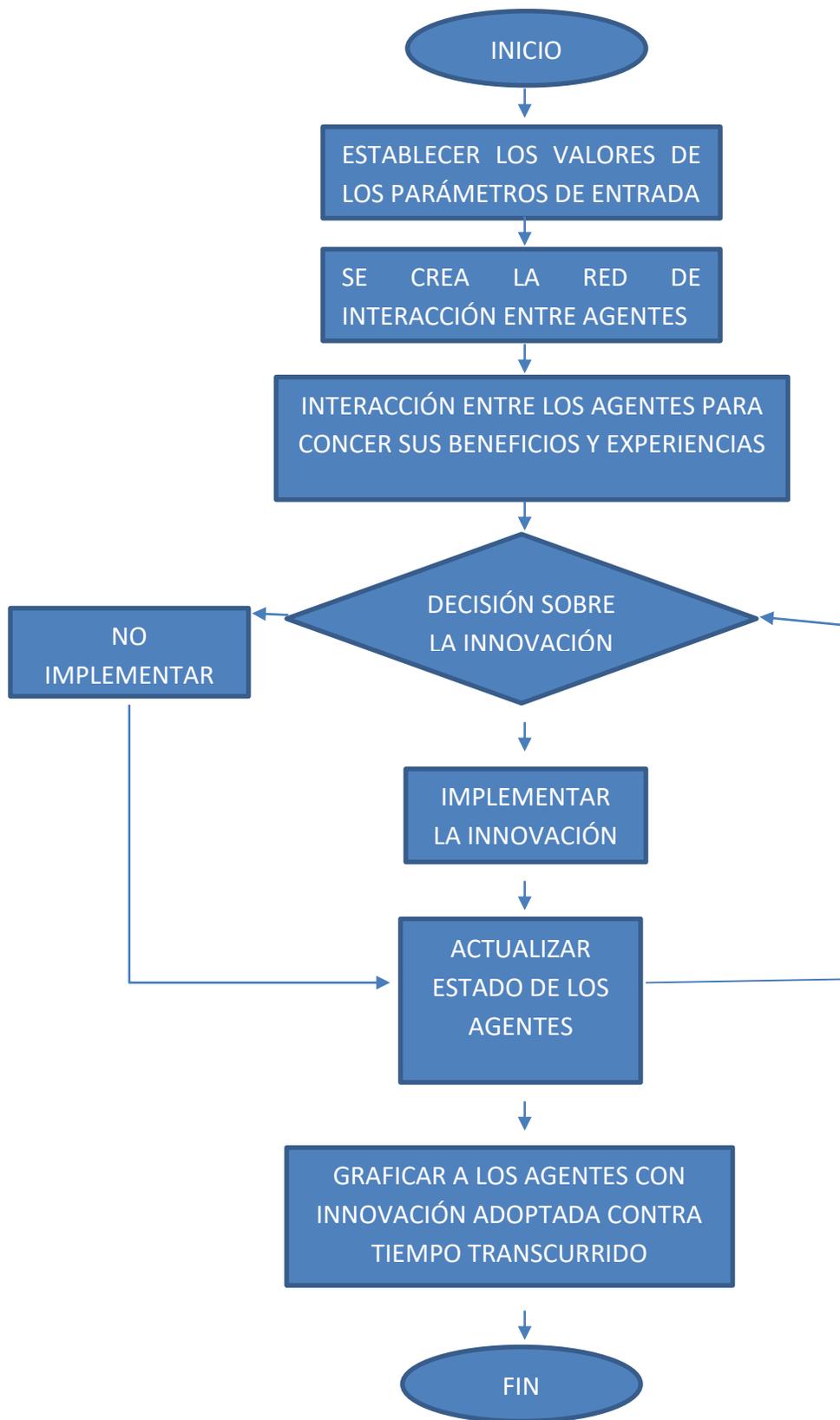
Estocasticidad: El proceso del modelado será de manera aleatoria, ya que los agentes podrán compartir e interactuar con cualquier otro agente.

Colectivos: Los individuos pertenecerán o formarán parte de una segregación que será los agentes que ya adoptaron la innovación tecnología y que tratarán de afectar a la segregación o grupo de agentes que todavía no adoptan la innovación tecnológica.

Observación: Los datos que serán recolectados del modelo basado en agentes para pruebas, para el entendimiento y análisis, serán las gráficas que arroja el programa NETLOGO™ y la tasa de adopción de los hogares de la Ciudad de México para el uso eficiente, sostenible y equitativo del agua en el sector doméstico de la Ciudad de México

Datos de entrada para el modelo: Los datos de entrada del modelo serán el número de casas a modelar, el efecto endógeno, que es la popularidad de la innovación dentro de la Ciudad de México, la cohesión social, los porcentajes de casas que tienen acceso al agua, el precio de la tecnología y el promedio de ingreso mensual en la zona de estudio.

Submodelo



### 3.3 Implementación del modelo de simulación para analizar los mecanismos de la adopción tecnológica de dispositivos tecnológicos que contribuyan al uso doméstico sostenible del agua en el contexto de la Ciudad de México.

En este estudio, se utilizó una variante del modelo de difusión endógena basado en el límite llamado cascada de información, por el cual el número de adopciones previas es una fuente de información creíble. La importancia de los modelos de umbral es la agregación de popularidad (Granovetter, 1978).

Reglas de interacción. Los agentes interactúan con sus vecinos y la decisión de adoptar innovaciones socioambientales depende de si el valor RT es menor que una función no lineal evaluada en términos del número de adoptadores (na), el efecto endógeno (ee), cohesión social (sc), el precio de la tecnología que se quiere adquirir en pesos (pr), el promedio de ingreso mensual al hogar en pesos y el porcentaje de hogares dentro de una comunidad que cuentan con toma domiciliada de agua y que recibe su recibo de consumo bimestralmente.

$$rt < \left( \left( ee * \frac{na}{ag} \right) + (an * sc) \right) * \left( \frac{pr}{in} \right)$$

*Ecuación 5*

Red de conectividad. La red se construye generando cada agente durante cierto tiempo. Una vez que se crea un agente (agente antiguo), se busca una nueva posición referida para un número predeterminado de vecinos con los cuales puede realizar la comunicación, para crear el nuevo agente.

Los agentes intercambian información indicando el número de sus propios vecinos que ya han adoptado las innovaciones socioambientales (previas adopciones).

El modelo de simulación basado en agentes implementado en el software NetLogo™ produce dos escenarios artificiales, cada uno para las tres poblaciones existentes donde se puede adoptar la tecnología: 393 sanitarios, 263 lavabos y 129 mingitorios.

Con el fin de garantizar que los parámetros de simulación sean realistas, basamos a nuestros agentes con los datos obtenidos dentro de la Facultad de Estudios Superiores Aragón sobre la infraestructura existente dentro de la institución.

Los escenarios artificiales creados varían en los siguientes factores experimentales: efectos endógenos, cohesión social, precio de la tecnología para adoptar, ingreso promedio mensual al hogar y porcentaje de población que cuenta con toma de agua. Se utilizaron para estudiar la tasa de adopción, como la velocidad relativa con la que se adoptan las innovaciones socioambientales a lo largo del tiempo. Los efectos endógenos se refieren a la popularidad de las innovaciones socioambientales, basadas en la ventaja relativa que los jefes o jefas de familia perciben de la innovación socioambiental como mejor que la práctica que sustituye. La popularidad aumenta cuando los resultados de la innovación socioambiental son visibles para otros jefes o jefas, mientras que los efectos de la cohesión social representan la compatibilidad percibida por los jefes o jefas de familia sobre la innovación en consonancia con la actual valores socioculturales, experiencias pasadas y necesidades específicas de los potenciales adoptadores. La Tabla 1 muestra los valores numéricos del efecto de cohesión endógena y social utilizados en el modelo de simulación.

Parámetro de simulación	Menor valor	Mayor valor
Efecto Endógeno	10	20
Efecto por Cohesión Social	20	50

*Tabla 3. Parámetros de Simulación.*

*Autor: Carlos Aníbal García Castañeda (2018).*

Como explica Wilensky y Rand (2015), la validación del modelo de simulación es el proceso de determinar si el modelo de simulación implementado corresponde a algún fenómeno en el mundo real. El modelo de simulación basado en agentes fue validado usando la técnica dinámica llamada análisis de sensibilidad. A través de esta técnica, los valores de los parámetros de simulación se cambian sistemáticamente en un cierto rango de interés y se observa el comportamiento del modelo de simulación (Banks,1998). Esta técnica permite identificar los parámetros de simulación a los que el comportamiento del modelo de simulación es muy sensible. El parámetro de simulación considerado para llevar a cabo el análisis de sensibilidad es el efecto de cohesión social (SC). En este caso, el modelo de simulación basado en agente se ejecuta teniendo en cuenta dos valores para este parámetro: 20 y 50. El mundo artificial considera 4500 agentes heterogéneos. El efecto endógeno (EE) se fija en 10, el precio de la tecnología se mantendrá fijo igual que el del promedio del ingreso mensual al hogar y el porcentaje de hogar con tomas domiciliadas de agua. El modelo de simulación finaliza después de 400 días de simulación (ticks).

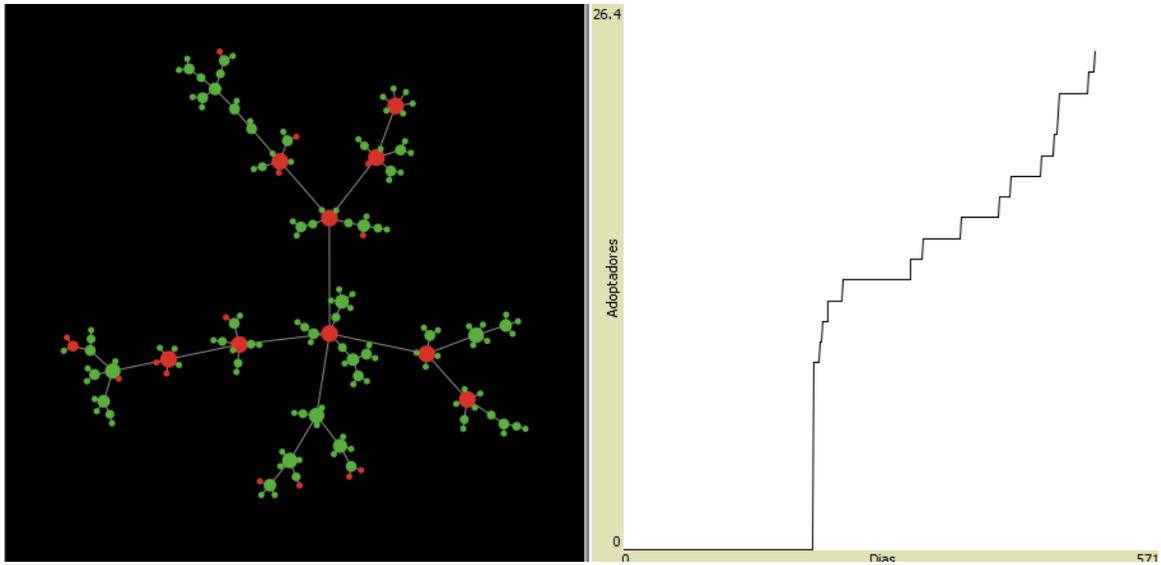


Figura 39. Escenario 1 Sanitarios: Porcentaje 90, Días 400, ee 10, sc 20, Precio de la tecnología 2000, Ingreso promedio 15000.

Autor: Carlos Aníbal García Castañeda (2019).

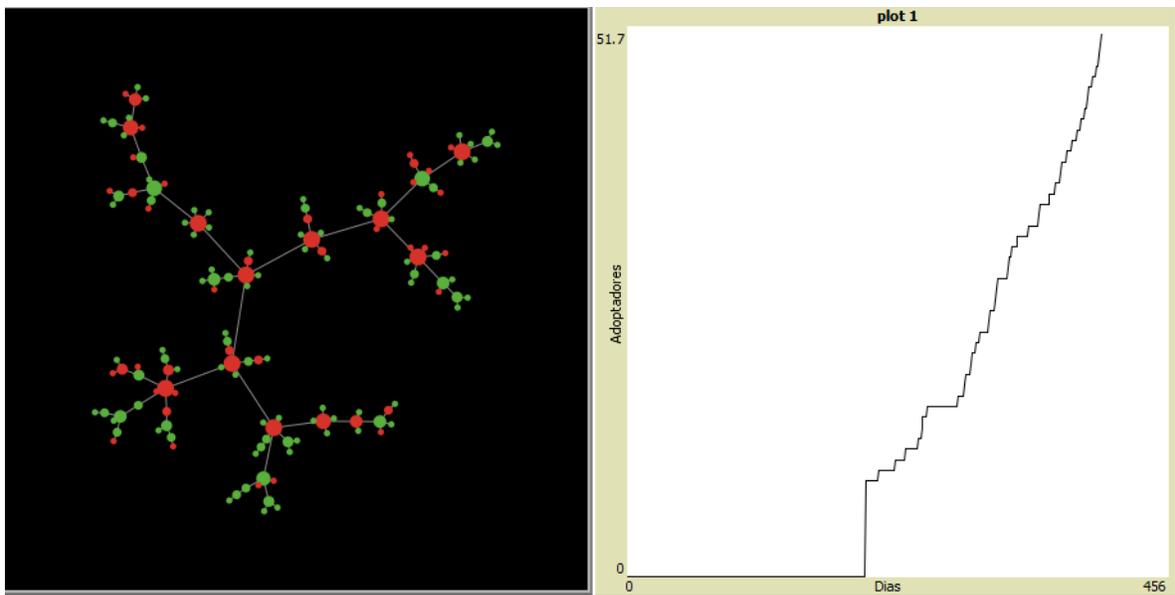


Figura 40. Escenario 1 Lavabos: Porcentaje 90, Días 400, ee 10, sc 20, Precio de la tecnología 1000, Ingreso promedio 15000.

Autor: Carlos Aníbal García Castañeda (2019).

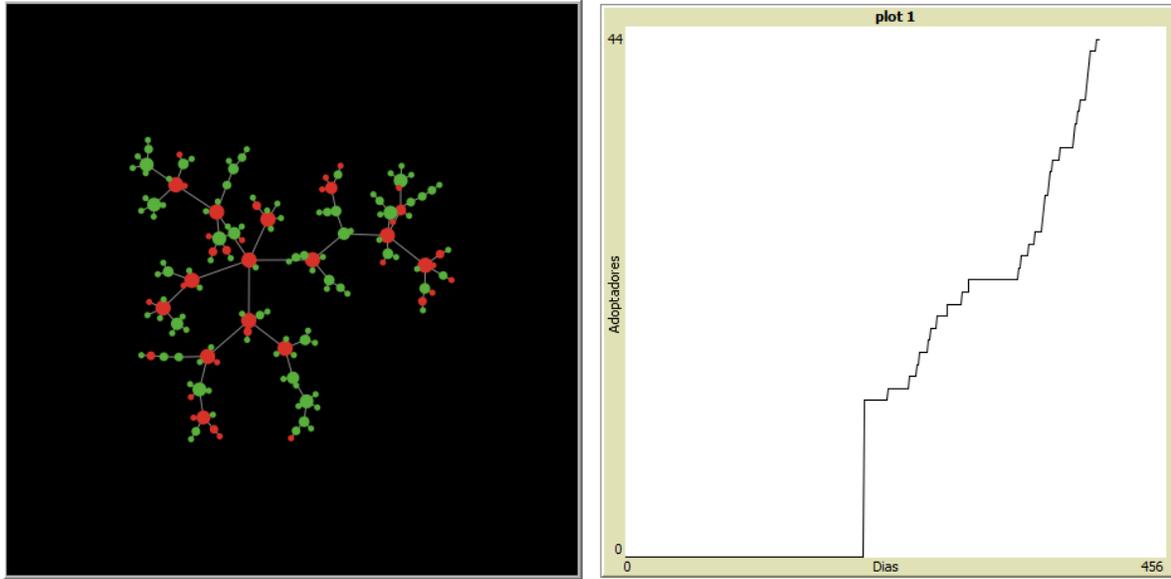


Figura 41. Escenario 1 Mingitorios: Porcentaje 90, Días 400, ee 10, sc 20, Precio de la tecnología 1000, Ingreso promedio 15000.

Autor: Carlos Aníbal García Castañeda (2019).

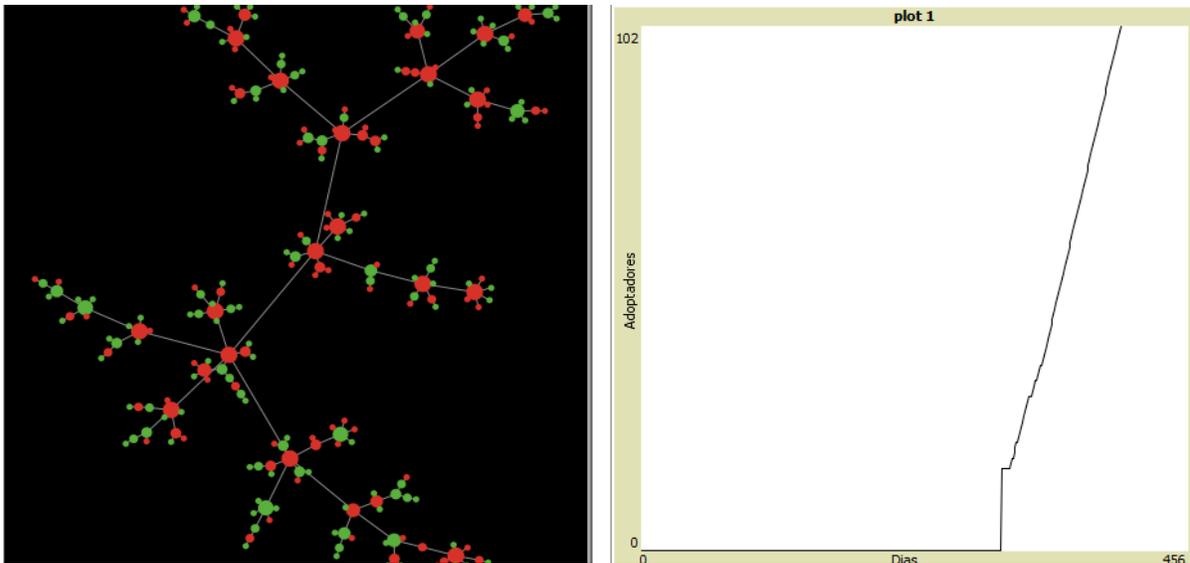


Figura 42. Escenario 2 Sanitarios: Porcentaje 90, Días 400, ee 10, sc 50, Precio de la tecnología 2000, Ingreso promedio 15000.

Autor: Carlos Aníbal García Castañeda (2019).

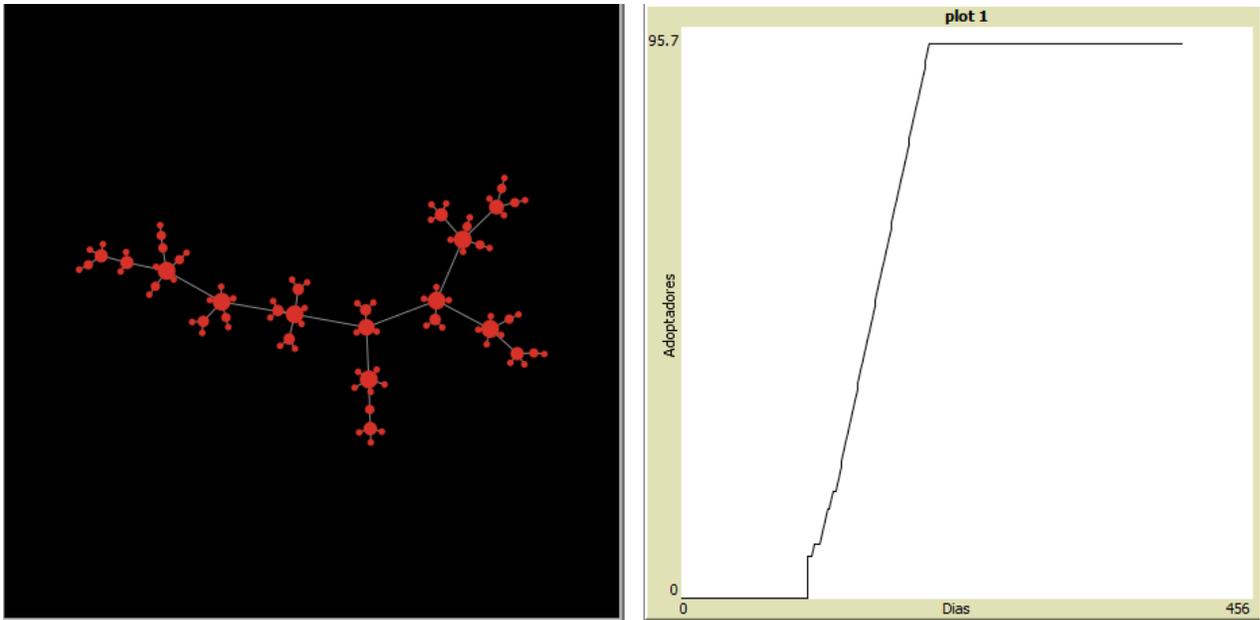


Figura 43. Escenario 2 Lavabos: Porcentaje 90, Días 400, ee 10, sc 50, Precio de la tecnología 1000, Ingreso promedio 15000.

Autor: Carlos Aníbal García Castañeda (2019).

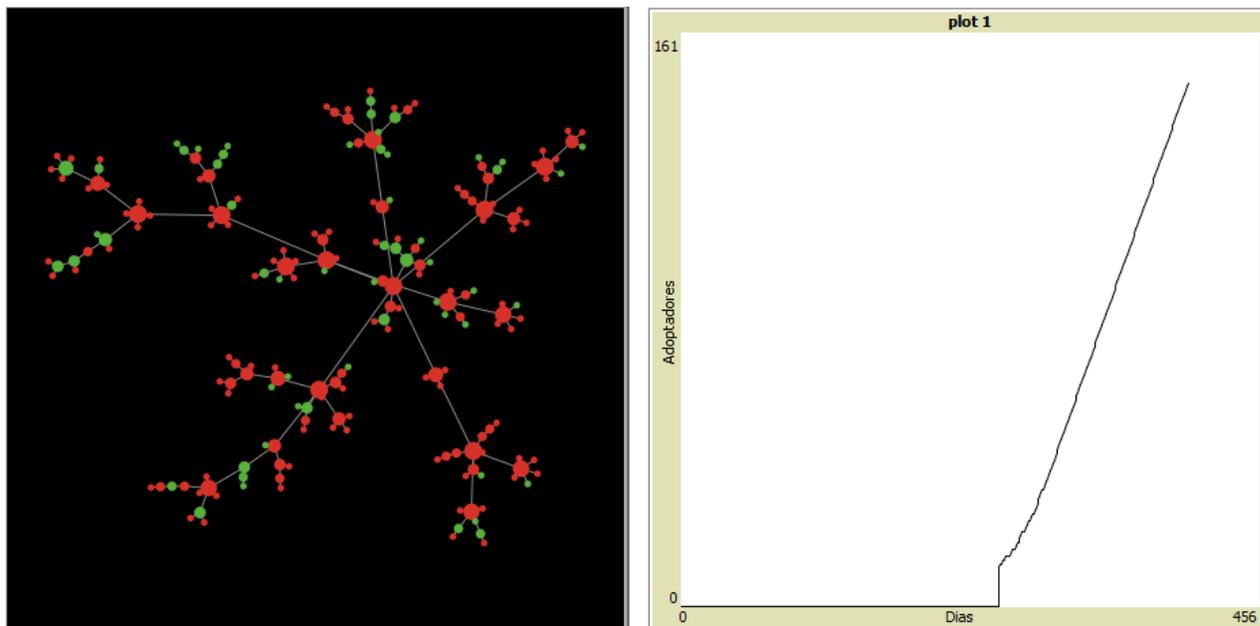


Figura 44. Escenario 2 Mingitorios: Porcentaje 90, Días 400, ee 10, sc 50, Precio de la tecnología 2000, Ingreso promedio 10000.

Autor: Carlos Aníbal García Castañeda (2019).

Como Wilensky y Rand (2015) explican: la verificación del modelo de simulación es el proceso de asegurarse de que el modelo de simulación se ha implementado correctamente en un ordenador utilizando software de simulación. En el software NetLogo™, los procesos

de compilación y ejecución que preparan el modelo para ejecutarse ocurren en segundo plano y no requieren ninguna intervención del usuario; sin embargo, la sintaxis y otros errores de codificación que causan errores de tiempo de ejecución durante la compilación y el proceso de ejecución interrumpen la simulación (Stigberg, 2015).

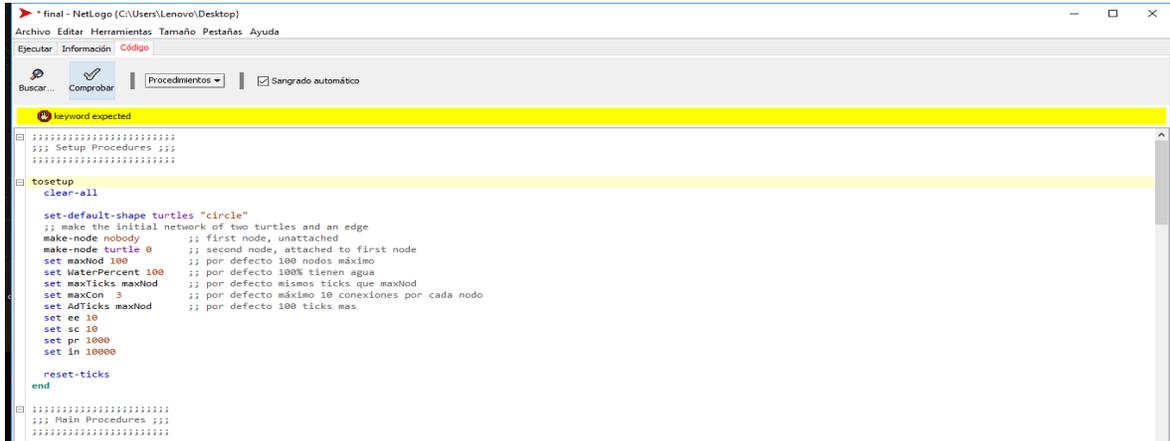


Figura 45. Ejemplo donde muestra que existen errores en la compilación y ejecución del código en NetLogo™.

Autor: Carlos Aníbal García Castañeda (2019).

En esta fase, se eliminaron los "bugs" del código para que el modelo se implementara correctamente, sin errores.

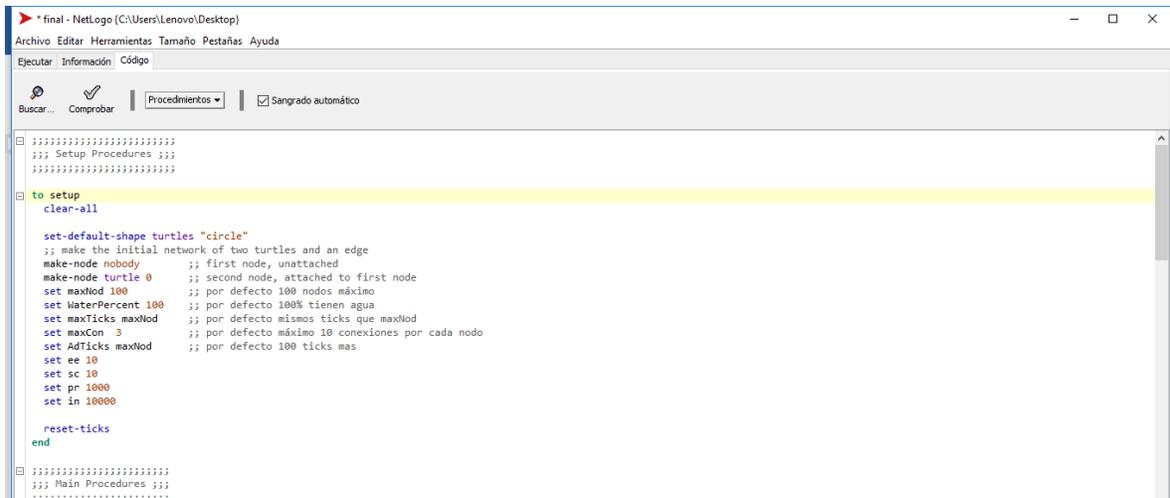


Figura 46. Inexistencia de errores en la compilación y ejecución del código en NetLogo™.

Autor: Carlos Aníbal García Castañeda (2019).

## Capítulo 4 Análisis de resultados del modelo de simulación para analizar los mecanismos de la adopción tecnológica de dispositivos tecnológicos que contribuyan al uso doméstico sostenible del agua en el contexto de la Ciudad de México.

La Figura 47 ilustra la evolución de adoptadores durante 400 días. Se observa que la proporción de adoptadores crece exponencialmente al cambiar el parámetro de la cohesión social de 20 a 50 y manteniendo los otros parámetros, dando como resultado que el escenario de arriba de la Figura 47 se registró 27 adoptadores de los 393 usuarios antes del cambio de parámetro y el escenario de debajo de la Figura 47 se registró un aumento hasta 102 adoptadores después del ajuste de parámetro en el caso de los sanitarios ahorradores de agua.

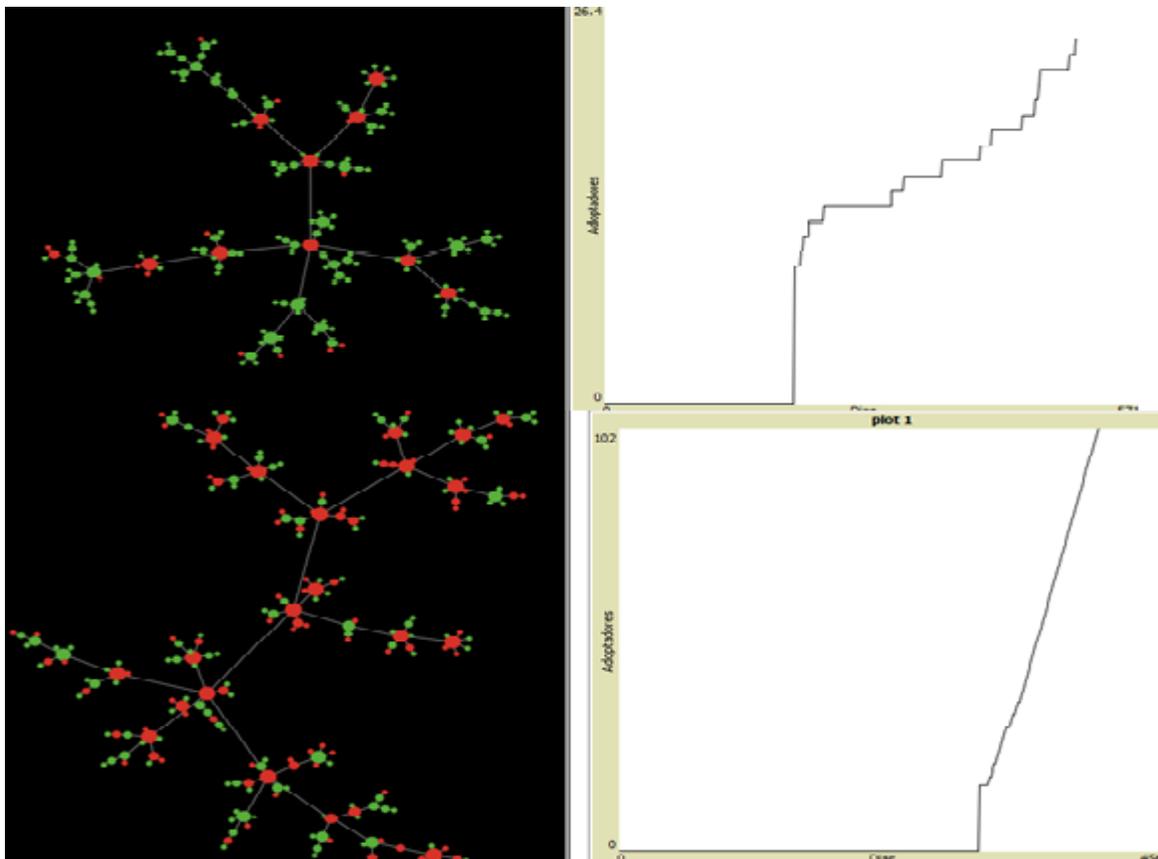


Figura 47. Análisis de escenarios 1 y 4 para Sanitarios.

Autor: Carlos Aníbal García Castañeda (2019).

La Figura 48 ilustra la evolución de adoptadores durante 400 días. Se observa que la proporción de adoptadores crece exponencialmente al cambiar el parámetro de la cohesión social de 20 a 50 y manteniendo los otros parámetros, dando como resultado que el escenario de arriba de la Figura 48 se registró 52 adoptadores de los 263 usuarios antes del cambio de parámetro y el escenario de debajo de la Figura 48 se registró un aumento hasta 96 adoptadores después del ajuste de parámetro en el caso de los lavabos ahorradores de agua.

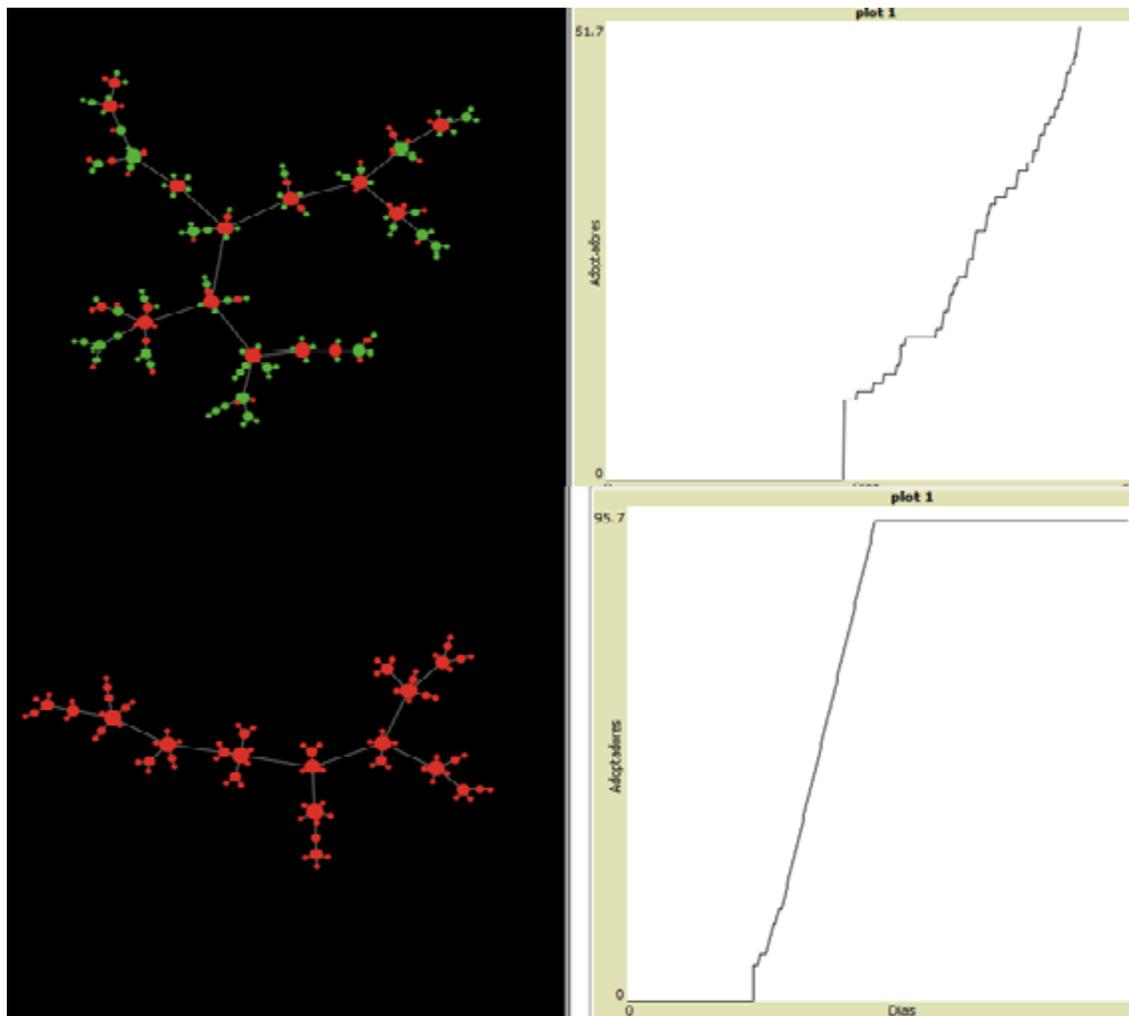


Figura 48. Análisis de escenarios 2 y 5 para Lavabos.

Autor: Carlos Aníbal García Castañeda (2019).

La Figura 49 ilustra la evolución de adoptadores durante 400 días. Se observa que la proporción de adoptadores crece exponencialmente al cambiar el parámetro de la cohesión social de 20 a 50 y manteniendo los otros parámetros, dando como resultado que el escenario de arriba de la Figura 49 se registró 44 adoptadores de los 129 usuarios antes del cambio de parámetro y el escenario de debajo de la Figura 49 se registró un aumento hasta 161 adoptadores después del ajuste de parámetro en el caso de los lavabos ahorradores de agua.

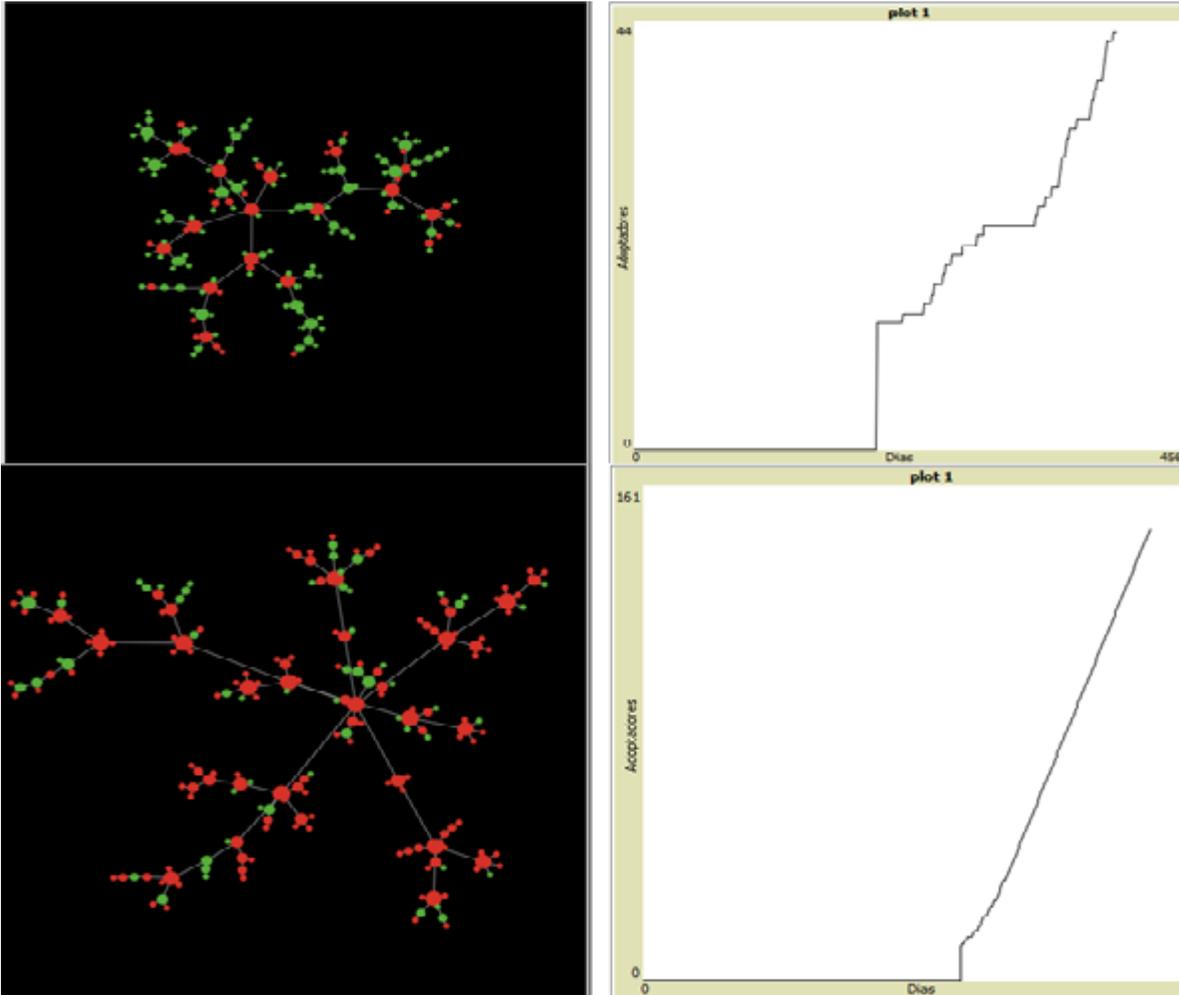


Figura 49. Análisis de escenarios 3 y 6 para Mingitorios.

Autor: Carlos Aníbal García Castañeda (2019).

## Recomendaciones

Como se indica en el capítulo 1 de esta tesis en México existe una problemática importante en torno al tema del agua, ya sea vista a nivel nacional o a nivel estatal, abarcando desde aspectos naturales como las distribuciones espaciales, temporales y geográficas del agua, hasta aspectos que involucran la actividad humana como son, contaminación de fuentes hídricas, cambio climático, malos usos y costumbres del agua a nivel usuario, mala gestión y deficiente infraestructura por parte del suministro y la sobre explotación de acuíferos por la creciente población de mexicanos. Gran parte de la problemática se ve reflejada a nivel Ciudad de México, conllevando que el uso del agua en el sector doméstico es ineficiente, no es sostenible y no es equitativo, amenazando así la capacidad de generaciones futuras de aprovechar también un recurso tan vital.

Por lo investigado en el capítulo 2 de esta tesis se recomienda al usuario de la Ciudad de México que siga las indicaciones propuestas por instituciones nacionales en torno al uso doméstico del agua tales como SACMEX, IMTA, UNAM por mencionar algunos, también seguir la propuesta internacional como los que proporciona la ONU o la UNESCO. Es de importancia que se fomente la educación hídrica a la niñez desde edades tempranas, así como de cambiar hábitos y costumbres de usuarios mayores de edad, también se debe fomentar la innovación tecnológica en torno a aditamentos que ayuden a reducir los consumos del agua en el hogar, de igual forma la adopción de esos dispositivos de forma voluntaria.

También se recomienda a nivel Estatal que se mejore la gestión y la legislación en torno al tema del agua, así como fomentar la adopción tecnológica y actualización de metodologías, infraestructura y la abolición de subsidios hacia el usuario.

Por los resultados obtenidos en el capítulo 3 de esta tesis por el modelo de simulación hecho en Netlogo™ se recomienda que los usuarios domésticos jueguen un papel importante en la difusión y adopción de tecnologías que, ayuden al mejor uso del agua, se observó que entre más cohesión social exista en un cierto grupo de personas, crece el número de adoptadores conllevando a una disminución considerable del agua a nivel doméstico, esta cohesión social y adopción tecnológica sería una parte crucial para que contribuyan al uso doméstico sustentable del agua en el contexto de la Ciudad de México.

Por último, se recomienda que este estudio se reprodujera con distintos factores que modifiquen el modelo de simulación ya sea como integrar las redes sociales al modelo, o cambiar las reglas de interacción entre agentes por mencionar algunos.

## Conclusiones

Se puede concluir que se implementó un modelo de simulación para analizar los mecanismos de adopción tecnológica que contribuyan al uso doméstico sostenible del agua en el contexto de la Ciudad de México utilizando el software Netlogo™, dando como resultado que el factor más importante es la cohesión social de los usuarios domésticos, por lo que si aumenta la cohesión social conlleva a que existan más adoptadores de tecnología o nazcan innovadores de tecnología. Que resulta en una disminución considerable de agua a nivel doméstico.

Se revisó la literatura acerca de la tecnología utilizada para el uso doméstico sostenible del agua, tanto la tecnología existente a nivel nacional y también a nivel internacional, dando contexto a la posible solución propuesta, de igual manera revisando literatura sobre autores que hayan realizado trabajos de investigación en torno al modelado basado en agentes para la adopción tecnológica.

Se analizaron los resultados del modelo de simulación para la adopción tecnológica con datos obtenidos de la Facultad de Estudios Superiores Aragón de la Universidad Nacional Autónoma de México dando lugar al dictado de recomendaciones que impacten en mejores usos y costumbres de los usuarios del vital líquido, para que se promueva una mejor cohesión social y esto conlleve a la adopción tecnológica que contribuya al uso doméstico sostenible del agua y no ponga el riesgo al bienestar de las futuras generaciones.

Esta tesis de investigación ha demostrado que la simulación social basada en agentes es una herramienta valiosa para la planeación, debido a su capacidad para capturar la heterogeneidad de los agentes y las interacciones de los agentes que están inherentes a la investigación social y en este caso demuestra que una propuesta para alcanzar el objetivo deseado que es, contribuir al uso doméstico sustentable del agua en el contexto de la Ciudad de México es la adopción tecnológica.

La tesis de investigación propuesta podría ser utilizada en futuras aplicaciones, como campo de pruebas para diferentes políticas públicas con el objetivo de comparar su eficacia. Podría utilizarse, por ejemplo, para investigar diferentes esquemas de subsidios, pero también diferentes tipos de instrumentos de política que se dirigen a diferentes partes del proceso de adopción o a los diferentes actores involucrados, de igual forma a la sensibilización y la promoción de la información, tecnologías particulares o políticas de precios, o incluso mezclas de políticas. El modelo de adopción tecnológico se puede modificar en consecuencia para dar cabida a la inclusión de nuevas variables e interrelaciones adicionales. En general, se sugiere que la metodología propuesta ofrezca una herramienta

de modelización flexible, en la medida en que el modelo integrado podría ampliarse aún más, mediante la inclusión de parámetros y de relaciones adicionales a medida que se disponga de nueva información y se disponga de datos.

# Bibliografía

Ahmadian, S. (2018). *TCARS: Time-and community-aware recommendation system*. Estados Unidos.

Almaraz, G. (2010). *Ahorradores de agua en México*. México.

Anadón, L. (2015). *Los futuros gastos de tecnologías de energía claves bajas de carbón: Armonización y agregación de experto de tecnología de energía licitación datos*. España.

Banco Mundial. (2013). *Inefficient use of water in the Mexico valley a danger for future generations*. México: Banco Mundial.

Banco Mundial. (2014). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Banco Mundial.

Banks J. (1998). *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice*. Georgia: John Wiley & Sons, Inc.

Boons, F., Lüdeke-Freund, F. (2013). *Business models for sustainable innovations: state-of-the-art and steps towards a research agenda*. Netherland: Science Direct.

Brundtland, H. (1987). *Our common future*. New York.

Buckely, W. (1967). *Sistemas sociales*. Estados Unidos.

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2016). *Ley de Aguas Nacionales*. México: Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.

CDN4. (2016). Colección Premium Porcelanosa. España

Chagolla, F. (2016). *Primer informe de actividades*. México: UNAM.

Chesbrough, H. (2010). *Business model innovations: opportunities and barriers*. doi.org/10.1016/j.lrp.2009.07.010

Comisión Europea de Desarrollo. (2015). *Cooperación internacional y desarrollo*. España: Comisión Europea de Desarrollo.

Comisión Nacional del Agua. (2010). *Estadística del agua en México*. México: Comisión Nacional del Agua.

Comisión Nacional del Agua. (2011). *Causes y encauses*. México: Comisión Nacional del Agua.

Comisión Nacional del Agua. (2013). *Programa de gestión integral de los recursos hídricos 2013-2018*. México: Comisión Nacional del Agua.

Comisión Nacional del Agua. (2014). *Estadística del agua en México*. México: Comisión Nacional del Agua.

Díaz, L., Baker, E., Bosetti, V., y Heroin, M. (2015). *Future costs of key low-carbon energy technologies: Harmonization and aggregation of energy technology expert elicitation data*. United States: Science Direct.

Distribuidora Home Depot. (2018). *Colección de baños, grifos y regaderas 2018*. México.

Diputación de Albacete.(2017). *Una gota de menos, una gota más... en el hogar*. España: Diputación de Albacete.

Ecologyc. (2018). *Inventario general*. España.

Expo News. (2015). *Baños, grifos y regaderas 2018*. Estados Unidos.

Forrester, J. (1962). *Industrial dynamics*. Estados Unidos.

Forrester, J. (1969). *Urban dynamics*. Estados Unidos.

Forrester, J. (1971). *Worl dynamics*. Estados Unidos.

Granovetter, M. S. (1978). *Threshold models of collective behavior*. American Journal of Sociology.

Grimm, V, (2006). *The odd protocol: A review and first update*. doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.08.019.

Harriem, G. (1987). *Declaración de Tokio*. Tokio: Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.

Huerta Barrientos, A. y Dillarza Andrade, Y. (2017). *Modelling and Simulation of Complex Adaptive System: The Diffusion of Socio-Environmental Innovation in the RENDRUS Network*. México: Intech.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2003). *Programa nacional hídrico*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Key Valve. (2016). *Inventario General*. Estados Unidos.

La voz Argentina. (2016). *Diagrama de Detección de fugas por tramo de instalación*. Argentina: La voz Argentina.

Mabe. (2016). *Inventario General*. Estados Unidos.

- Macal C. (2011). *North M. Introductory tutorial: agent-based modeling and simulation. In: Proceedings of the Winter Simulation Conference, December 2011.* p. 1456–1468. United States.
- Matos, S., Silvestre, B. (2013). *Managing stakeholder relations when developing sustainable business models: the case of the Brazilian energy sector.* Brazil: Science Direct.
- Maya, B., Klôckner, C. y Febrianti, D. (2016). *El uso de modelos basados en agentes para explorar opciones políticas para soportar la adopción de vehículos de gas natural en Indonesia.* doi.org/10.1016/j.eist.2013.06.001.
- Nasa. (2014). *Tecnología para regaderas.* Estados Unidos.
- OCDE. (2013). *Hacer posible la reforma de la gestión del agua en México.* México: OCDE.
- ONU-Agua. (2010). *Agua.* Estados Unidos: ONU
- Quiroga, C. y Barrera, G. (2012). *Evaluar la innovación socio ambiental.* España.
- Rai, V. y Robinson, S. (2017). *Modelo Basado Modelo Basado en Agentes para la Adopción de Tecnologías Energéticas: Integración Empírica de lo Social, Comportamiento, Economía y Factores Ambientales.* Estados Unidos.
- Rui-Dong Chang, Jian Zuo, Zhen-Yu, Z., Soebarto, V. y Xiao-Long Gan. (2017). *Evolving theories of sustainability and firms: History, future directions and implications for renewable energy research.* China: Science Direct
- Rogers, E. M. (1962). *Diffusion of innovations.* New York: The Free Press of Glencoe.
- Rogers, E. M. (1983). *Diffusion of innovations.* London: Collier Macmillan Publishers.
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México. (2012). *Programa de gestión integral de los recursos hídricos, visión a 20 años.* México: Sacmex.
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México. (2015). *Informe Anual.* México: Sacmex.
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México. (2016). *Estadística del agua en México.* México: Sacmex.
- Sousa-Zomer, T. Miguel, P. (2017). *Exploring business model for sustainability: An investigation of two product-service system. Total quality management & business excellence.* Doi:10.1080/14783363.2017.1317588.

Stigberg, D. (2012). *An introduction to the Netlogo modeling environment*. In: Westervelt J D, Cohen G L, editors. *Ecologist-developed spatially explicit dynamic landscape models, modeling dynamic systems*. New York: Springer.

Tamayo, J. (2014). *Simulación Híbrida De La Difusión De La Innovación Con Dinámica De Sistemas Y Sistemas Multiagentes*. España.

Tecno Certificación. (2015). *Inventario General*. España.

Unesco. (2016). *Water Security*. Estados Unidos: Unesco

Universidad Autónoma Metropolitana. (2011). *Usos domésticos internos del agua en los hogares mexicanos*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Universidad Nacional Autónoma de México. (2018). *Presupuesto Anual 2018*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Wilensky, U. y Rand, W. (2015). *An introduction to agent-based modeling*. Cambridge: The MIT Press.

Wooldridge, M. and Jennings, N. (1995). *Intelligent agents: theory and practice*, Knowledge Engineering Review. Estados Unidos.