



0

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
INSTITUTO DE CIENCIAS
POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”

METABOLISMO HÍDRICO URBANO EN LA CIUDAD DE
PUEBLA.

TESIS

Que para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta:

M. C. A. David Pérez González

Director de Tesis:

Dr. Ricardo Darío Peña Moreno

Codirector de Tesis:

Dr. Gian Carlo Delgado Ramos

Marzo 2024



2

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
INSTITUTO DE CIENCIAS
POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”

**METABOLISMO HÍDRICO URBANO EN LA CIUDAD DE
PUEBLA.**

TESIS

Que para obtener el grado de:
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta:

M. C. A. David Pérez González

Comité tutorial:

Director	Dr. Ricardo Darío Peña Moreno
Codirector	Dr. Gian Carlo Delgado Ramos
Integrante de Comité Tutorial	Dra. Rosalva Loreto López
Integrante de Comité Tutorial	Dra. María Lilia Cedillo Ramírez
Integrante de Comité Tutorial	Dra. María Elena Ramos Cassellis
Integrante de Comité Tutorial	Dr. José Víctor Rosendo Tamariz Flores

Marzo 2024

Agradecimiento

La presente investigación fue posible gracias al apoyo de muchas personas, agradezco:

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por el apoyo económico que me dio sustento mientras realicé esta tesis de Doctorado.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), por ser la institución que me facilitó los estudios superiores y de posgrado.

A mi director de tesis. el Dr. Ricardo Darío Peña Moreno, quien fue un salvavidas que me mantuvo a flote hasta terminar la tesis. Agradezco su guía, su conocimiento, sus pláticas interesantes y sobre todo su buen corazón lejano de los conflictos.

A mi codirector de tesis. el Dr. Gian Carlo Delgado Ramos, quien es un ejemplo de integridad, diligencia y liderazgo. Agradezco su trato digno, su sinceridad, sus consejos y las enseñanzas que me dejó, tanto desde su conocimiento como con el ejemplo de su proceder.

A la Dra. Rosalva Loreto López, quien a pesar de su agenda complicada me brindó generosamente sus enseñanzas, su apoyo, su gran calidez humana, su trato digno, la lucidez en sus consejos y su buen corazón.

A la Dra. Lilia Cedillo Ramírez por su consejo acertado y apoyo preciso, mi tutora, ¿qué hubiera sido de mí proyecto sin su mano protectora en este trayecto intelectual?

Al Dr. Víctor Manuel Toledo Manzur por ser la chispa detonadora en esta aventura intelectual, quien esbozó en mi mente un mapa con trazos de Metabolismo Social y Pensamiento Complejo.

Al Dr. Ricardo Pérez Avilez, quien amablemente revisó y opinó sobre mi ensayo del marco epistémico de la investigación.

Al Dr. Eduardo Torres Ramírez quien fue coordinador cuando ingresé al doctorado.

A José Vázquez González, Diana Villalva Hernández, Néstor López Espinoza y el Dr. Adolfo Federico Herrera García (quien además me concedió mapas antiguos de la ciudad de Puebla) por ayudarme a difundir el cuestionario en línea, así como a las 260 personas anónimas que respondieron el cuestionario.

A Karen, Alejandro y Palmira, quienes amablemente atendieron mis solicitudes en SOAPAP.

Al Ing. Jaime Adriano de la empresa Agua de Puebla, por sus pláticas en torno al organismo operador de agua potable.

Al personal del Archivo Histórico quienes amablemente me atendieron y dieron acceso a los documentos históricos del organismo operador de agua.

Al personal del repositorio físico de tesis en la BUAP, quienes cordialmente pusieron a mi disposición el acervo histórico de tesis relacionadas con el agua.

A los grupos de activistas con luchas en defensa del agua, quienes me mostraron vívidamente la actual problemática hídrica.

A los miembros de mi Jurado

A mis profesores en el doctorado

A quienes me dieron sustento físico y emocional cuando enfermé de COVID-19.

A quienes me aconsejaron ante las dificultades y peripecias del camino.

A quienes creyeron en mí.

Dedicatorias

Solo soy el eco de quienes ya se fueron, sus sueños y enseñanzas resuenan con mi existencia. Su ejemplo de diligencia, su lucidez ante la incertidumbre, su perseverancia ante la adversidad, su fortaleza ante los obstáculos, su tranquilidad ante el caos, aquellas enseñanzas fueron guías en mi camino. Ellos son mis abuelos Clemencia y Heriberto y mi tío Manuel, quienes en vida me amaron como a un hijo. No olvido a mi primo Mayos, quien a pesar de ser más joven que yo, fue fiel hermano y un maestro de corazón noble. En este suspiro que llamamos vida no tengo más que honrarlos con aciertos.

A ellos les dedico este logro, porque ellos lo lograron conmigo cuando nadie más estaba.

Lo dedico también a mi madre Angelina, de quien velé su sueño mientras su brillo vulneraba, y que con fortuna observé como poco a poco retornaba el alba en su mirada.

Índice general

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	13
1.1.1 Preguntas específicas.....	14
1.2 OBJETIVO GENERAL	14
1.2.1 Objetivos específicos	14
1.3 JUSTIFICACIÓN	15
1.4 HIPÓTESIS.....	16
1.5 PROPUESTA METODOLÓGICA.....	16
1.5.1 Cuantificación del Metabolismo Hídrico Urbano	17
1.5.1.1 Estimación del Ciclo Hidrológico en la región del Acuífero del Valle de Puebla	17
1.5.1.2 Estimación del Metabolismo Hídrico Urbano en los asentamientos dentro de la región del Acuífero del Valle de Puebla.....	18
1.5.1.3 Estimación del Metabolismo Hídrico Urbano en la ciudad central de Puebla	18
1.5.2 Delimitación espacial.	19
1.5.3 Delimitación temporal.....	22
1.6 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	23
2 MARCO TEÓRICO. RELACIÓN SOCIEDAD-NATURALEZA, SISTEMAS COMPLEJOS Y EL METABOLISMO HÍDRICO URBANO	25
2.1 ELEMENTOS ONTOLÓGICOS DE LA RELACIÓN ENTRE LA SOCIEDAD Y LA NATURALEZA.....	26
2.1.1 Descartes y el dualismo ontológico	26
2.1.2 El Mecanicismo Newtoniano	29
2.1.3 Elementos del pensamiento decimonónico	30
2.1.3Camino hacia la sutura de las ciencias.....	32
2.2 LOS SISTEMAS COMPLEJOS DESDE LA PERSPECTIVA DE ROLANDO GARCÍA	36
2.2.1 El marco epistémico como punto de partida.....	37
2.2.2 Sistemas Complejos	39

2.2.3 Construcción del sistema complejo	42
2.3 LOS CONCEPTOS DE METABOLISMO SOCIAL, METABOLISMO URBANO Y METABOLISMO HÍDRICO URBANO.....	46
2.3.1 Información bibliométrica de los conceptos centrales	46
2.3.2 Desarrollo histórico del concepto de Metabolismo Social o Socioeconómico.....	53
2.3.2.1 ¿A qué se refiere el concepto de Metabolismo Social?	59
2.3.2.2 Los cinco procesos que componen al Metabolismo Social	61
2.3.2.3 Las dimensiones tangible e intangible del Metabolismo Social	62
2.3.3 El Metabolismo Urbano.....	63
2.3.3.1 El Metabolismo Urbano y las disciplinas híbridas	65
2.3.4 El Metabolismo Hídrico Urbano	67
2.3.5 El Nexa Agua-Energía-Carbono	69
2.4 DOS CONCEPTOS PARA UNA GESTIÓN DEL AGUA SOCIALMENTE JUSTA	72
2.4.1 Seguridad Hídrica	72
2.4.2 Derecho Humano al Agua.....	74
2.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE DOS METODOLOGÍAS.....	77
2.5.1 El método de contabilidad de flujo de materiales (MFA)	77
2.5.1.1 Objetivos del método de MFA.....	77
2.5.1.2 Componentes del método MFA	78
2.5.1.3 Ejemplo de indicadores estandarizados del MFA en Eurostat	80
2.5.2 El método de simulación de Monte Carlo	83
2.6 COMENTARIOS FINALES.....	84

3 MARCO CONTEXTUAL. ... LA CIUDAD DE PUEBLA EN SU CONTEXTO SOCIOAMBIENTAL

87

3.1 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS OROGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	87
3.1.1 Volcán la Malinche como zona de recarga del acuífero del valle de Puebla	89
3.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS EN LA REGIÓN	91
3.2.1 Precipitaciones en la región del acuífero del valle de Puebla	94

3.3 CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DE LA REGIÓN	95
3.3.1 <i>El Río Atoyac y otros escurrimientos superficiales que atraviesan la ciudad de Puebla</i>	97
3.3.1.1 Río San Francisco (Almoloya)	98
3.3.1.2 Río Alseseca.....	99
3.3.1.3 Corrientes intermitentes.....	99
3.3.2 <i>La Presa de Valsequillo al sur de la ciudad de Puebla y su función</i>	101
3.3.3 <i>El Acuífero del Valle de Puebla</i>	104
3.4 LA CIUDAD DE PUEBLA EN SU CONTEXTO SOCIOECONÓMICO	107
3.4.1 <i>Mito fundador de la ciudad de Puebla y otros elementos históricos</i>	108
Albores de la ciudad de Puebla	109
El agua en la ciudad de Puebla antes de la década de los 50's del siglo XX.....	111
3.5 CONTEXTO SOCIOECONÓMICO.....	112
3.5.1 <i>Ciudades en México</i>	114
3.5.2 <i>La Megalópolis Región Centro</i>	116
3.5.3 <i>La Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala</i>	117
3.5.4 <i>El Municipio de Puebla</i>	118
3.5.4.1 Datos económicos de la Metrópoli y el Municipio de Puebla	120
3.5.4.1 Empleo y equidad	122
3.6 AGENTES RELACIONADOS CON LA GESTIÓN DEL AGUA	123
3.6.1 <i>Agentes gubernamentales</i>	123
3.6.1.1 Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).	124
3.6.1.2 Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA).....	125
3.6.1.3 Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS).....	126
3.6.1.4 Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)	127
3.6.1.5 Comisión Estatal del Agua y Saneamiento del Estado de Puebla (CEASPUE).....	127
3.6.1.6 Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Puebla (SOAPAP).....	128
3.6.2 <i>Sector privado</i>	129

3.6.2.1 Concesiones Integrales S.A. de C. V.....	129
3.6.2.2 Agua embotellada con empresas trasnacionales	131
3.6.2.3 Tanqueros (pipas de agua) y agua embotellada de particulares.	132
3.6.3 <i>Organizaciones no gubernamentales y grupos de la sociedad civil</i>	132
3.6.3.1 Comités del agua en las juntas auxiliares.....	132
3.6.3.2 Asamblea Social del Agua (ASA)	133
3.6.3.3 Otros agentes ciudadanos que intervienen en el tema del agua	134
3.7 COMENTARIOS FINALES.....	134

4 RESULTADOS ... MODELO CONCEPTUAL PROPUESTO PARA METABOLISMO HÍDRICO

URBANO

137

4.1 REFLEXIÓN ACERCA DE LA RELACIÓN ENTRE LA SOCIEDAD Y LA NATURALEZA	137
4.1.1 <i>Pensamiento sistémico</i>	138
4.1.2 <i>Niveles de organización de la materia</i>	142
4.1.3 <i>La conciencia es un fenómeno natural emergente</i>	145
4.1.4 <i>La conciencia, el conocimiento y la tecnología</i>	148
4.1.5 <i>La información da forma a la materia</i>	151
4.1.6 <i>La relación dialógica entre la cultura y su entorno material</i>	153
4.1.7 <i>El Metabolismo Social ubicado dentro del marco epistémico del investigador</i>	158
4.2 MODELO CONCEPTUAL DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO	161
4.2.1 <i>Estructura general del modelo del sistema socioambiental</i>	162
4.2.2 <i>Definición de los indicadores del modelo</i>	165
4.3 CONCLUSIÓN REFERENTE AL MODELO CONCEPTUAL (OBJETIVO 1).....	171
4.4 CUANTIFICACIÓN DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO DE LA CIUDAD DE PUEBLA	174
4.4.1 <i>Apropiación del agua en la ciudad de Puebla a partir de 1950</i>	174
4.4.1.1 La Constancia y la relativa abundancia del agua en la ciudad de Puebla	177
4.4.1.2 Industrialización y transformación del municipio de Puebla en la década de los 60's	179
4.4.1.3 Embovedamiento del Río San Francisco.....	184
4.4.1.4 Diagramas que resumen el incremento de la apropiación del agua y los eventos relacionados con el crecimiento.....	185

4.4.2 <i>El metabolismo hídrico urbano en la ciudad de Puebla</i>	193
4.4.2.1 El ciclo hidrológico donde se inserta la ciudad de Puebla	193
4.4.2.2 El Metabolismo Hídrico Urbano en la Metrópoli de Puebla y zonas aledañas	194
4.4.2.3 El metabolismo Hídrico Urbano en la Metrópoli de Puebla, excepto en la ciudad central ..	195
4.4.3 <i>El Metabolismo Hídrico de la ciudad central de Puebla</i>	196
4.4.3.1 La apropiación del agua para la ciudad central de Puebla	196
4.4.3.2 Tratamiento de agua por la empresa de aguas en la ciudad central de Puebla	198
4.4.3.3 Tratamiento de agua por los negocios pequeños de agua purificada embotellada	199
4.4.3.4 Distribución del agua en la ciudad de Puebla	200
4.4.3.5 Caudales de agua embotellada y transportado en camión cisterna.	200
4.4.3.6 Consumo de agua e la ciudad de Puebla	201
4.4.3.7 Usos del agua en la ciudad de Puebla	203
4.4.3.8 Excreción del agua en la ciudad de Puebla	206
4.4.3.9 Tratamiento de agua residual en la ciudad de Puebla	207
4.4.3.10 Evaporación del agua en la ciudad	208
4.4.3.11 Aproximación al Nexo Agua Energía Carbono en la ciudad de Puebla.	209
4.4.3.12 Otros flujos materiales relacionados con el Metabolismo Hídrico Urbano en la ciudad de Puebla.....	210
4.4.3.13 Elementos del Derecho Humano al agua desde el modelo de Metabolismo Hídrico Urbano	211
4.4.3.14 Comentarios acerca de la recolección de datos	214
4.5 CONCLUSIÓN REFERENTE A LA CUANTIFICACIÓN (OBJETIVO 2 Y 3)	215
5 CONCLUSIÓN GENERAL	220
LITERATURA CITADA.....	224
A1 ANEXO METODOLÓGICO.....	241
A1.1 OBTENCIÓN DE DATOS.....	241
A1.1.2 <i>Revisión bibliográfica y documental para obtención de datos en el periodo de tiempo longitudinal</i>	241

<i>A1.1.3 Recolección de datos para modelo de Metabolismo Hídrico Urbano en el periodo de tiempo transversal</i>	242
A1.1.3.1 Contacto personal y transparencia.....	243
<i>A1.1.4 Encuestas aplicadas para la obtención de información</i>	244
A1.1.4.1 Encuesta de percepción de los consumidores sobre el servicio de agua en la vivienda..	244
A1.1.4.2 Encuesta para Negocios Pequeños de Agua Purificada	258
A1.1.4.3 Preprocesamiento de los datos de la encuesta.....	260
A1.2 ESTIMACIÓN DE FLUJOS HÍDRICOS MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE MONTE CARLO	263
<i>A1.2.1 Consideraciones previas a la simulación de Monte Carlo</i>	263
A1.2.1.1 Estimación de los caudales distribuidos en camiones cisterna	264
A1.2.1.2 Estimación de la capacidad de acumulación de agua en las viviendas.....	265
A1.2.1.3 Estimación del caudal de agua embotellada	265
A1.2.1.4 Aproximación de los costos del agua distribuida en camiones cisterna y embotellada	266
A1.2.1.5 Consumo energético y emisiones de carbono de la empresa de agua	267
A1.2.1.6 Valores insertados para la simulación de Monte Carlo.....	268
<i>A1.2.2 Detalles de la aplicación de simulación por Monte Carlo</i>	270
A1.2.2.1 Datos de la encuesta aplicada	271
A1.2.2.2 Estimación de los caudales de agua transportada por camión cisterna	271
A1.2.2.3 Definición de las suposiciones para la simulación de Monte Carlo (agua transportada por camiones cisterna).....	272
A1.2.2.4 Predicciones y análisis de sensibilidad (agua transportada en camiones cisterna)	285
<i>A1.2.3 Estimación del caudal de agua embotellada</i>	291
A1.2.3.1 Definición de suposiciones para la simulación de Monte Carlo (Agua embotellada).....	291
A1.2.3.2 Previsión y análisis de sensibilidad (agua embotellada).....	301
<i>A1.2.4 Información obtenida con la simulación de Monte Carlo comparada con información estadística tomada desde el censo de INEGI</i>	311
A1.2.4.1 Comparación de los habitantes por vivienda.....	311
A1.2.4.2 Habitantes por Vivienda en el área cubierta por la Empresa de Agua.	313
 A1.2 DIAGRAMA GENERAL DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO EN LA CIUDAD DE PUEBLA Y SU ZONA METROPOLITANA	 315

A2 ANEXO DE DATOS HISTÓRICOS.....	317
A2.1 OBRAS Y ACCIONES RELACIONADAS CON EL METABOLISMO HÍDRICO URBANO DESDE 1951 A 1982	319
A3 ANEXOS GENERALES	343
A1.A ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD PÁGINA 1 DE 2.....	344
A1.B SOLICITUDES DE INFORMACIÓN.	346
A3.3 CURSOS, CONGRESOS Y RECONOCIMIENTOS	360

Índice de tablas

TABLA 1. NÚMERO DE PUBLICACIONES DE NEXO AGUA-ENERGÍA-CARBONO EN SCOPUS.	50
TABLA 2. NÚMERO DE OCURRENCIAS DERIVADO DEL ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DE LA LITERATURA CIENTÍFICA INDEXADA EN SCOPUS SOBRE METABOLISMO URBANO Y NEXO AGUA-ENERGÍA-CARBONO	52
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E HIDROGRÁFICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.	97
TABLA 4 QUINCE NACIONES CON MAYOR POBLACIÓN TOTAL Y URBANA, 2015	114
TABLA 5 INDICADORES DEL PROCESO DE METROPOLIZACIÓN, 1960-2015	115
TABLA 6 NÚMERO DE CIUDADES Y POBLACIÓN POR TAMAÑO DE POBLACIÓN SEGÚN TIPO DE CIUDAD, 2018.	115
TABLA 7 QUINCE CIUDADES MÁS POBLADAS EN LA REPÚBLICA MEXICANA.	117
TABLA 8. CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS DE LA CIUDAD DE PUEBLA.	122
TABLA 9. CAUDAL EXTRAÍDO POR LA EMPRESA DE AGUA, DESGLOSADO POR EL MUNICIPIO DE ORIGEN.	198
TABLA 10. CAUDALES DE AGUA SUAVIZADOS POR LA EMPRESA DE AGUA EN LA CIUDAD CENTRAL DE PUEBLA.	199
TABLA 11. MAGNITUD DE LOS CAUDALES DISTRIBUIDOS POR CAMIONES CISTERNA Y AGUA EMBOTELLADA	200
TABLA 12 CAUDAL CONSUMIDO EN LA CIUDAD DE PUEBLA	201
TABLA 13 CAUDALES CONSUMIDOS EN LA CIUDAD DE PUEBLA DIFERENCIADOS POR USOS.	203
TABLA 14. ENERGÍA CONSUMIDA Y EMISIONES DE CARBONO RELACIONADAS CON EL SERVICIO DE AGUA EN LA CIUDAD DE PUEBLA.	209
TABLA 15 RELACIÓN DE PUBLICACIONES DEL CUESTIONARIO EN GRUPOS DE FACEBOOK.	254
TABLA 16. DESCRIPCIÓN DE LOS TÉRMINOS DE LAS ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DEL FLUJO HÍDRICO SUMINISTRADO POR CAMIONES CISTERNA	268
TABLA 17. DESCRIPCIÓN DE LOS TÉRMINOS EN LAS ECUACIONES PARA CALCULAR EL CAUDAL DE AGUA SUMINISTRADA POR CAMIONES CISTERNA.	268
TABLA 18. DESCRIPCIÓN DE LOS TÉRMINOS DE LAS ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DEL COSTO DE AGUA DISTRIBUIDA EN CAMINES CISTERNA Y AGUA EMBOTELLADA.	269
TABLA 19. PARÁMETROS PARA ESTIMAR DEL AGUA SUMINISTRADA POR CAMIONES CISTERNA Y AGUA EMBOTELLADA CON LA SIMULACIÓN DE MONTE CARLO.	269
TABLA 20. DATOS ESTADÍSTICOS RELACIONADOS CON LA GRÁFICA DE PREDICCIÓN DEL CAUDAL TRANSPORTADO POR CAMIÓN CISTERNA.	286
TABLA 21. PERCENTILES RELACIONADOS CON LA GRÁFICA DE PREDICCIÓN DEL CAUDAL TRANSPORTADO POR CAMIÓN CISTERNA.	287

TABLA 22. <i>STATISTICAL SUMMARY OF THE FORECAST GRAPH FOR THE WATER STORAGE CAPACITY IN HOUSEHOLDS.</i>	289
TABLA 23. <i>PERCENTILES DE LA GRÁFICA DE PREVISIÓN DE LA CAPACIDAD DE ACUMULACIÓN EN LAS VIVIENDAS.</i>	290
TABLA 24. <i>RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA GRÁFICA DE PREVISIÓN DEL CAUDAL DE AGUA EMBOTELLADA EN GARRAFONES DE 20 LITROS (MARCA GRANDE).</i>	302
TABLA 25. <i>PERCENTILES DE LA GRÁFICA DE PREVISIÓN DEL CAUDAL DE AGUA EMBOTELLADA EN GARRAFONES DE 20 LITROS (MARCA GRANDE).</i>	302
TABLA 26. <i>INFORMACIÓN ESTADÍSTICA DE LA GRÁFICA DE PREVISIÓN DEL CAUDAL DE AGUA EMBOTELLADA EN GARRAFAS DE 5 LITROS (MARCA GRANDE).</i>	304
TABLA 27. <i>PERCENTILES DE LA GRÁFICA DE PREVISIÓN DEL CAUDAL DE AGUA EMBOTELLADA EN GARRAFAS DE 5 LITROS (MARCA GRANDE)</i>	305
TABLA 28. <i>STATISTICAL DATA OF THE FORECAST GRAPH OF THE FLOW RATE OF BOTTLED WATER IN 5-LITER BOTTLES (BIG BRAND).</i>	307
TABLA 29. <i>PERCENTILES DE LA GRÁFICA DE PREVISIÓN DEL CAUDAL DE AGUA EMBOTELLADA EN BOTELLAS DE 1.5 LITROS (MARCA GRANDE)</i>	307
TABLA 30. <i>RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA GRÁFICA DE PREVISIÓN DEL CAUDAL DE AGUA EMBOTELLADA EN GARRAFONES DE 20 LITROS (RELLENO).</i>	309
TABLA 31. <i>PERCENTILES DE LA GRÁFICA DE PREVISIÓN DE AGUA EMBOTELLADA EN GARRAFONES DE 20 LITROS (RELLENO).</i>	309
TABLA 32. <i>RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA PREVISIÓN DEL NÚMERO DE HABITANTES POR VIVIENDA.</i>	312
TABLA 33. <i>PERCENTILES DE LA PREVISIÓN DEL NÚMERO DE HABITANTES POR VIVIENDA.</i>	312
TABLA 34. <i>RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA PREVISIÓN DE LA POBLACIÓN TOTAL EN LA COBERTURA DE LA EMPRESA DE AGUA.</i>	313
TABLA 35. <i>PERCENTILES DE LA PREVISIÓN DE LA POBLACIÓN TOTAL EN LA COBERTURA DE LA EMPRESA DE AGUA.</i>	314
TABLA 36. <i>SERIE HISTÓRICA DE EXTRACCIÓN DE AGUA PARA LA CIUDAD DE PUEBLA.</i>	317

Índice de cuadros

CUADRO 1 <i>LAS SIETE TESIS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO</i>	35
CUADRO 2 <i>TRES NIVELES DE ANÁLISIS PARA ESTUDIAR UN SISTEMA COMPLEJO</i>	43
CUADRO 3 <i>PRINCIPIOS DE ORGANIZACIÓN Y EVOLUCIÓN DEL SISTEMA COMPLEJO</i>	45
CUADRO 4. <i>RESUMEN DE LOS PROCESOS DEL METABOLISMO SOCIAL</i>	61
CUADRO 5. <i>TEMAS DEL METABOLISMO URBANO</i>	66
CUADRO 6 <i>DESCRIPCIÓN GENERAL DE OS INDICADORES DE MFA SEGÚN EL MÉTODO PROPUESTO POR EUROSTAT</i>	81
CUADRO 7 <i>MUNICIPIOS QUE CONFORMAN LA METRÓPOLI DE PUEBLA</i>	118
CUADRO 8. <i>PARQUES INDUSTRIALES EN LA METRÓPOLI DE PUEBLA</i>	122
CUADRO 9 <i>NORMAS QUE SON OBLIGATORIAS PARA LA CONCESIONARIA DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE EN PUEBLA</i>	129
CUADRO 10. <i>TABLA DE INDICADORES EN FUNCIÓN DEL SISTEMA SOCIOAMBIENTAL DEL AGUA</i>	167
CUADRO 11 <i>MUNICIPIOS ANEXADOS AL MUNICIPIO DE PUEBLA EN 1962</i>	182
CUADRO 12 <i>FUENTES DE INFORMACIÓN PARA EL PERIODO DE 1950 A 2018</i>	242
CUADRO 13. <i>ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1951</i>	319
CUADRO 14. <i>ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1952</i>	320
CUADRO 15. <i>ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1953</i>	320
CUADRO 16. <i>ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1954</i>	321
CUADRO 17. <i>ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1955</i>	322
CUADRO 18. <i>ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1956</i>	323
CUADRO 19. <i>ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1957</i>	323
CUADRO 20. <i>ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1958</i>	324
CUADRO 21. <i>ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1959</i>	324
CUADRO 22. <i>ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1960</i>	324
CUADRO 23. <i>ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1961</i>	325
CUADRO 24. <i>ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1963</i>	325
CUADRO 25. <i>ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1964</i>	326

CUADRO 26. ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1964.	327
CUADRO 27. ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1966.	328
CUADRO 28. ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1967.	328
CUADRO 29. ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1968.	329
CUADRO 30. ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1969.	329
CUADRO 31. ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1970.	330
CUADRO 32. ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1972.	331
CUADRO 33. ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1973.	331
CUADRO 34. ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1974.	332
CUADRO 35. ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1975.	333
CUADRO 36. ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1976.	334
CUADRO 37. ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1977.	335
CUADRO 38. ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1978.	336
CUADRO 39. ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1979.	340
CUADRO 40. ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1980.	341
CUADRO 41. ACCIONES RELACIONADAS CON LOS PROCESOS DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO PARA 1982.	342

Índice de Figuras

FIGURA 1 <i>PORCENTAJES DE USO DE SUELO EN EL PLANETA TIERRA.</i>	2
FIGURA 2 <i>EXTRACCIÓN DE AGUA POR PAÍS Y LA DISPONIBILIDAD DE AGUA POR PAÍS</i>	5
FIGURA 3 <i>ESCENARIOS DE LA PRODUCCIÓN ANUAL DE PETRÓLEO</i>	7
FIGURA 4. <i>VARIACIONES DE TEMPERATURA A PARTIR DE HACE 50,000 AÑOS AL PRESENTE CON UN INDICADOR DE TEMPERATURA POR MEDIO DE $\Delta 180$ (PER MIL)</i>	8
FIGURA 5 <i>NUEVE FRONTERAS PLANETARIAS PROPUESTAS POR ROCKSTRÖM.</i>	9
FIGURA 6 <i>ESQUEMA DEL PROBLEMA SOCIOAMBIENTAL DEL AGUA.</i>	10
FIGURA 7. <i>ESQUEMA QUE RESUME LA METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.</i>	18
FIGURA 8 <i>DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE LA DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.</i>	21
FIGURA 9 <i>NUMERO DE PUBLICACIONES REGISTRADAS EN THE WEB OF SCIENCE Y SCOPUS DEL CONCEPTO DE METABOLISMO URBANO Y OTROS RELACIONADOS.</i>	48
FIGURA 10 <i>EVOLUCIÓN DE LAS PUBLICACIONES DE METABOLISMO URBANO EN SCOPUS 1981-2020.</i>	49
FIGURA 11. <i>EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE NEXO AGUA-ENERGÍA-CARBONO EN SCOPUS 2003 A 2021.</i>	50
FIGURA 12 <i>GRAFO DE RELACIÓN DE LOS CONCEPTOS DE METABOLISMO URBANO Y NEXO AGUA-ENERGÍA-CARBONO.</i>	51
FIGURA 13 <i>ANÁLISIS DE CO-CITACIÓN DE LAS PUBLICACIONES DE NEXO AGUA-ENERGÍA-CARBONO</i>	53
FIGURA 14. <i>CINCO PROCESOS DEL METABOLISMO SOCIAL.</i>	62
FIGURA 15 <i>ESQUEMATIZACIÓN DE LOS NEXOS URBANOS.</i>	70
FIGURA 16. <i>MACRO Y MICRO PERSPECTIVAS DEL NEXO AGUA-ENERGÍA</i>	72
FIGURA 17 <i>FLUJO ABSOLUTO Y FLUJO RELATIVO.</i>	78
FIGURA 18 <i>EL SISTEMA ECONOMÍA/AMBIENTE.</i>	80
FIGURA 19 <i>DIAGRAMA DE BALANCE DE ENTRADAS Y SALIDAS DE FLUJOS DE MATERIAL.</i>	83
FIGURA 20 <i>MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</i>	88
FIGURA 21 <i>VISTA DEL VOLCÁN DE LA MALINCHE DESDE LA CIUDAD DE PUEBLA</i>	91
FIGURA 22 <i>TEMPERATURAS ANUALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO.</i>	93
FIGURA 23 <i>PRECIPITACIÓN ANUAL EN EL ÁREA DE ESTUDIO.</i>	95

FIGURA 24. REGIÓN HIDROLÓGICA, CUENCA Y SUBCUENCAS EN DONDE SE ENCUENTRA LA CIUDAD DE PUEBLA.	96
FIGURA 25. ESCURRIMIENTOS Y CUERPOS DE AGUA QUE ATRAVIESAN LA CIUDAD DE PUEBLA.	100
FIGURA 26 ESCURRIMIENTOS PROMEDIO ANUALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO. EN MILÍMETROS.	101
FIGURA 27 LOCALIZACIÓN DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE PUEBLA	104
FIGURA 28 MODELO CONCEPTUAL DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE PUEBLA.	106
FIGURA 29 ESCUDO DE LA CIUDAD DE PUEBLA DE LOS ÁNGELES.	109
FIGURA 30 CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN URBANA Y RURAL PARA EL PERIODO DE 1960 A 2015. EL INCISO A SE REFIERE AL MUNDO Y EL B A MÉXICO.	113
FIGURA 31 UBICACIÓN DEL MUNICIPIO DE PUEBLA.	119
FIGURA 32. PIRÁMIDE POBLACIONAL EN PUEBLA EN 2020	120
FIGURA 33. ENTROPÍA DE SHANNON Y TERMODINÁMICA.	140
FIGURA 34 EJEMPLOS DE FRACTALES EL CONJUNTO DE MANDELBROT	143
FIGURA 35. LA CONCIENCIA UBICADA ENTRE LOS NIVELES DE ORGANIZACIÓN DE LA MATERIA.	148
FIGURA 36. EJEMPLOS DE PROTOTECONOLOGÍAS EN LOS ANIMALES	149
FIGURA 37 DIAGRAMA DE LA PERSPECTIVA PARTICULAR DE LA RELACIÓN SOCIEDAD NATURALEZA SIN SEPARACIÓN ONTOLÓGICA.	160
FIGURA 38 DETERMINACIÓN DEL MHU A PARTIR DE RECORTES DE LA REALIDAD.	161
FIGURA 39 MODELO GENERAL QUE RELACIONA LOS CONCEPTOS QUE CONCERNEN CON EL MHU.	162
FIGURA 40 ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA SOCIOAMBIENTAL	164
FIGURA 41 EL SISTEMA SOCIOAMBIENTAL DEL AGUA ESQUEMATIZADO EN FUNCIÓN DE LOS TRES NIVELES DE ANÁLISIS Y LAS CATEGORÍAS DE REALIDAD TANGIBLE E INTANGIBLE	165
FIGURA 42 ESQUEMA CON MAYOR DETALLE DEL PRIMER NIVEL DEL SISTEMA SOCIOAMBIENTAL.	166
FIGURA 43 ANEXIÓN DE MUNICIPIOS ANEXOS AL MUNICIPIO DE PUEBLA.	183
FIGURA 44. SUPERPOSICIÓN DE COLONIAS BENEFICIADAS CON OBRAS RELACIONADAS CON EL SUMINISTRO HÍDRICO DE 1951 A 1978. ..	185
FIGURA 45. LÍNEA DEL TIEMPO DE PROCESOS OCURRIDOS EN EL PERIODO DE 1950 A 1983.	187
FIGURA 46. METROS DE DRENAJE Y TUBERÍA INSTALADA, MÁS EL NÚMERO DE TOMAS DOMICILIARIAS INSTALADAS O REGULARIZADAS ENTRE 1950 Y 1982.	189

FIGURA 47. <i>LÍNEA DEL TIEMPO ACOPLADA CON LA SERIE DE DATOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA DEL ACUÍFERO, EN LA CIUDAD DE PUEBLA Y EN EL ACUÍFERO DEL VALLE DE PUEBLA.</i>	191
FIGURA 48 METABOLISMO HÍDRICO URBANO INSERTO EN EL CICLO HIDROLÓGICO DE LA ZONA DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE PUEBLA....	194
FIGURA 49 METABOLISMO HÍDRICO URBANO EN LAS AFUERAS DE LA CIUDAD CENTRAL DE PUEBLA	195
FIGURA 50 USOS DEL AGUA EN LA CIUDAD CENTRAL.....	204
FIGURA 51 DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA CAPACIDAD DE ACUMULACIÓN DEL AGUA EN LAS VIVIENDAS	205
FIGURA 52 TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EJECUTADO POR LA EMPRESA DE AGUA	207
FIGURA 53. CAUDALES Y SUS COTOS ANUALES EN LA CIUDAD DE PUEBLA.....	212
FIGURA 54 <i>NIVELES DE ANÁLISIS APLICADOS AL SUBSISTEMA DE CONSUMO DOMÉSTICO.</i>	245
FIGURA 55. <i>IMAGEN AL FINAL DE LA ENCUESTA COMO RECORDATORIO DE PRESIONAR EL BOTÓN ENVIAR.</i>	254
FIGURA 56. EJEMPLO DE PUBLICACIÓN DEL CUESTIONARIO EN GRUPOS DE FACEBOOK.....	257
FIGURA 57. EJEMPLO DE CUESTIONARIO APLICADO IN SITU EN UN NEGOCIO PEQUEÑO DE PURIFICACIÓN DE AGUA.....	259
FIGURA 58 <i>ESQUEMA GENERAL DEL REORDENAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE LA ENCUESTA</i>	263
FIGURA 59. <i>ESQUEMA GENERAL DEL PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA ENCUESTA</i>	263
FIGURA 60. <i>ENCUESTAS APLICADAS POR COLONIA EN LA CIUDAD DE PUEBLA.</i>	271
FIGURA 61 <i>DENSIDAD DE PROBABILIDAD DE LA CAPACIDAD DE ACUMULACIÓN DE AGUA EN LAS VIVIENDAS CON CISTERNA.</i>	273
FIGURA 62. <i>DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD QUE SIMILAR LA CAPACIDAD DE ACUMULACIÓN DE AGUA EN LAS VIVIENDAS CON CISTERNA.</i>	274
FIGURA 63. <i>DENSIDAD DE PROBABILIDAD DE LA ACUMULACIÓN DE AGUA EN LAS VIVIENDAS SIN CISTERNA, CON TINACO.</i>	275
FIGURA 64. <i>DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD BETA PERT PARA SIMILAR LA CAPACIDAD DE ACUMULACIÓN DE AGUA EN LAS VIVIENDAS SIN CISTERNA, CON TINACO.</i>	276
FIGURA 65. <i>DENSIDAD DE PROBABILIDAD DEL NÚMERO DE CAMIONES CISTERNA QUE SUMINISTRAN AGUA A LAS VIVIENDAS CON CISTERNA.</i>	277
FIGURA 66. <i>DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD BETA PERT QUE SIMULA EL NÚMERO DE CAMIONES CISTERNA QUE SUMINISTRAN AGUA A LAS VIVIENDAS CON TINACOS.</i>	278
FIGURA 67. <i>DENSIDAD DE PROBABILIDAD DEL NÚMERO DE CAMIONES CISTERNA QUE SUMINISTRAN AGUA A LAS VIVIENDAS CON TINACO.</i>	279

FIGURA 68. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD BETA PERT PROPUESTA PARA LA SIMULACIÓN DEL NÚMERO DE CAMIONES CISTERNA QUE SUMINISTRAN AGUA A VIVIENDAS CON TINACO.	280
FIGURA 69. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD "SI-NO" PROPUESTA PARA SIMILAR LA RAZÓN DE LAS VIVIENDAS QUE TIENEN UNA CISTERNA.	281
FIGURA 70. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD "SI-NO" PROPUESTA PARA SIMILAR LA RAZÓN DE VIVIENDAS QUE TIENEN TINACO.	282
FIGURA 71. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD "SI-NO" QUE SIMULA LA RAZÓN DE VIVIENDAS CON CISTERNA QUE RECIBEN EL SERVICIO DE AGUA DE CAMIONES CISTERNA.	283
FIGURA 72. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD "SI-NO" QUE SIMULA LA RAZÓN DE VIVIENDAS CON TINACOS QUE SE SUMINISTRAN DE AGUA CON CAMIONES CISTERNA.	284
FIGURA 73. GRAFICA DE LA PREDICCIÓN DEL CAUDAL TRANSPORTADO POR CAMIONES CISTERNA. (UNIDADES EN $MM^3/YEAR$)	286
FIGURA 74. GRÁFICO DE SENSIBILIDAD DE LA PREDICCIÓN DEL CAUDAL TRANSPORTADO EN CAMIONES CISTERNA.	288
FIGURA 75. GRÁFICO DE PREVISIÓN DE LA CAPACIDAD DE ACUMULACIÓN DE AGUA EN LAS VIVIENDAS DE LA CIUDAD. UNIDADES ($MM^3/YEAR$)	289
FIGURA 76. GRÁFICO DE SENSIBILIDAD DE LA PREVISIÓN DE LA CAPACIDAD DE ACUMULACIÓN DE AGUA EN LAS VIVIENDAS.	290
FIGURA 77. DENSIDAD DE PROBABILIDAD DEL CONSUME DIARIO DE AGUA EMBOTELLADA EN GARRAFONES DE 20 LITROS DE MARCA GRANDE.	292
FIGURA 78. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD BETA PERT PARA SIMILAR EL CONSUME DE AGUA EMBOTELLADA EN GARRAFONES DE 20 LITROS (MARCA GRANDE).	293
FIGURA 79. DENSIDAD DE PROBABILIDAD DE DEL CONSUME DIARIO DE AGUA EMBOTELLADA EN GARRAFAS DE 5 LITROS (MARCA GRANDE).	294
FIGURA 80. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD PROPUESTA PARA LA SIMULACIÓN DEL CAUDAL DE AGUA EMBOTELLADA EN BOTELLAS DE 1.5 LITROS (MARCA GRANDE).	295
FIGURA 81. DENSIDAD DE PROBABILIDAD DEL CONSUME DIARIO DE AGUA EMBOTELLADA EN BOTELLAS DE 1.5 LITROS (MARCA GRANDE).	296
FIGURA 82. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD BETA PERT PARA SIMILAR EL CONSUME DE AGUA EMBOTELLADA EN BOTELLAS DE 1.5 LITROS (MARCA GRANDE).	297

FIGURA 83. DENSIDAD DE PROBABILIDAD DEL CONSUME DIARIO DE AGUA EMBOTELLADA DE RELLENO EN GARRAFONES DE 20 LITROS ((LPWC's).....298

FIGURA 84. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD TRIANGULAR PARA LA SIMULACIÓN DEL CAUDAL DE AGUA EN GARRAFONES DE RELLENO DE 20 LITROS.....299

FIGURA 85. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD “SI-NO” PARA SIMULAR LA RAZÓN DE LAS VIVIENDAS DONDE SE CONSUME AGUA EMBOTELLADA.300

FIGURA 86. GRÁFICO DE PREVISIÓN DEL CAUDAL DE AGUA EMBOTELLADA EN GARRAFONES DE 20 LITROS (MARCA GRANDE), UNIDADES (MM³/YEAR)301

FIGURA 87. SENSITIVITY CHART OF THE FORECAST FLOW RATE OF BOTTLED WATER IN 20-LITER CARBOYS CONSUMED IN DWELLINGS (BIG BRAND).303

FIGURA 88. GRÁFICO DE PREVISIÓN DEL CAUDAL DE AGUA EMBOTELLADA EN GARRAFAS DE 5 LITROS (MARCA GRANDE). UNIDADES (MM³/YEAR)304

FIGURA 89. GRAFICA DE ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA LA PREVISIÓN DEL CAUDAL DE AGUA EMBOTELLADA EN GARRAFAS DE 5 LITROS (MARCA GRANDE).305

FIGURA 90. GRÁFICO DE PREVISIÓN DEL CAUDAL DE AGUA EMBOTELLADA DE 1.5 LITROS (MARCA GRANDE), UNIDADES (MM³/YEAR). ..306

FIGURA 91. GRÁFICO DE SENSIBILIDAD DE LA PREVISIÓN DEL CAUDAL DE AGUA EMBOTELLADA EN BOTELLAS DE 1.5 LITROS (MARCA GRANDE).308

FIGURA 92. GRÁFICA DE PREVISIÓN DEL CAUDAL DE AGUA EMBOTELLADA EN GARRAFONES DE 20 LITROS (RELLENO). UNIDADES (MM³/YEAR)308

FIGURA 93. GRÁFICA DE SENSIBILIDAD DE LA PREVISIÓN DEL CAUDAL DE AGUA EMBOTELLADA EN GARRAFONES DE 20 LITROS (RELLENO).310

FIGURA 94. GRÁFICO DE PREVISIÓN DE LA CANTIDAD DE HABITANTES POR VIVIENDA, UNIDADES (DWELLING INHABITANTS).....311

FIGURA 95. POBLACIÓN TOTAL EN LA CIUDAD CENTRAL (VIVIENDAS EN LA COBERTURA DE LA EMPRESA DE AGUA)313

FIGURA 96. DIAGRAMA GENERAL DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO DE LA CIUDAD DE PUEBLA Y SU ÁREA METROPOLITANA. NOTA: LAS LETRAS “I”Y “E” EN EL DIAGRAMA REPRESENTAN A LOS FLUJOS IMPORTADOS Y EXPORTADOS. GENERAL DIAGRAM OF THE UWM MODEL FOR THE CITY OF PUEBLA AND ITS METROPOLITAN AREA. NOTE: THE LETTERS “I” AND “E” , INDICATED IN THE DIAGRAM,

REPRESENT IMPORT AND EXPORT FLOWS. THESE TWO FLOWS CONNECT THE ENVIRONMENT OUTSIDE OF THE SYSTEM BOUNDARIES
WITH THE PROCESSES INSIDE.....315

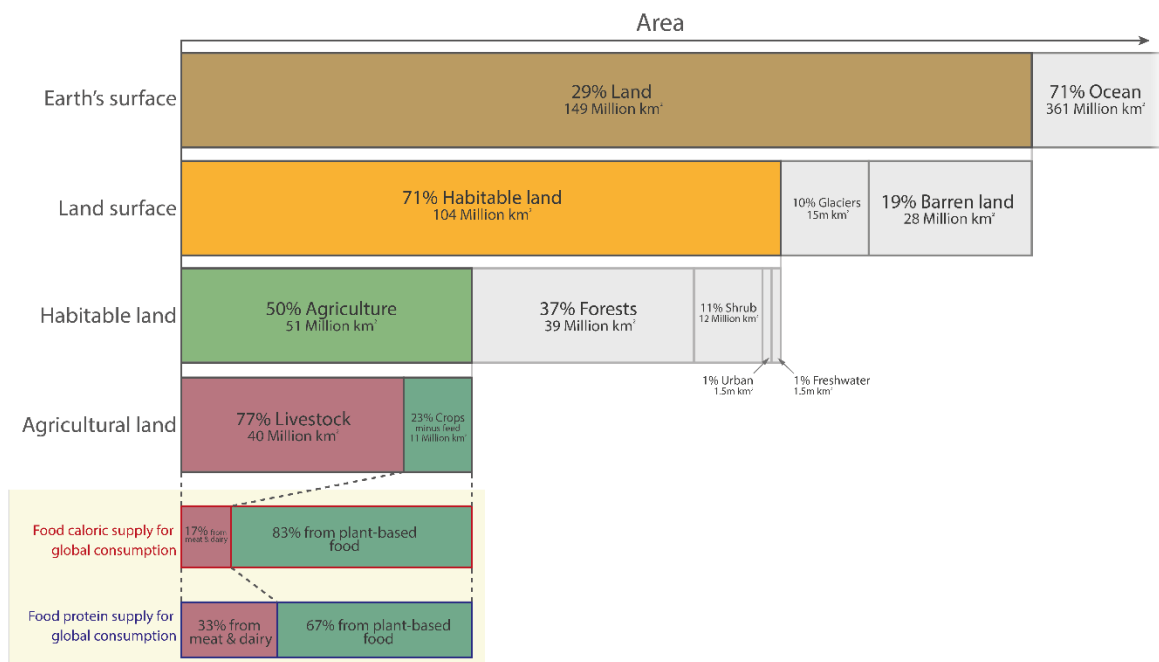
1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano a nivel global ocurrió en dos olas, la primera fue entre el siglo XVII y la primera mitad del siglo XX en las ciudades del norte global (Parnell & Oldfield, 2014), y la segunda aconteció en el periodo de la postguerra (después de 1945) en mayor medida en las ciudades del sur global. Actualmente la suma del espacio construido de las ciudades en todo el planeta ocupa entre el 1 y 2% de su superficie total (UNEP, 2013) (Figura 1). Si el ritmo del crecimiento urbano se mantiene, la superficie ocupada por las ciudades crecerá de 1 millón de km² a 2.5 millones de km² para 2050. Lo anterior repercutirá en la disminución de la tierra agrícola, problemas de sostenibilidad en la producción de alimentos, o en disminución en la recarga de mantos acuífero, que son la fuente de agua de algunas ciudades (Brinzeu, 2015), como en el caso de la ciudad de Puebla.

La población urbana mundial en comparación con la rural pasó del 2% en 1700, al 15% para 1900, y ya en la segunda ola el incremento fue del 30% en 1950 hasta superar el 50% en 2018 (Ferrao & Fernández, 2013). La población mundial pasó de 2,300 millones de personas en 1994 a 3,900 millones en 2014, y se prevé que alcance los 6,300 millones para 2050, la cual es 2.43 mil millones de habitantes más que en 2014, y representaría el 68% de la población total mundial (Clark, 1996; UN, 2014b, 2018b). En 2050 se espera que la población urbana en Latinoamérica y el Caribe alcance un 90% del total de la población (PNUMA, 2021). La migración de la población rural hacia las zonas urbanas es otro factor que abona al crecimiento urbano y que a su vez la población rural continúe contrayéndose (UN, 2014a). Bajo un escenario tendencial, el crecimiento poblacional se traducirá en mayores demandas de recursos, incluyendo el agua (C. Kennedy *et al.*, 2007a).

Se espera que el crecimiento poblacional ocurra en mayor medida en ciudades de tamaño medio¹ en comparación con las ciudades grandes, categoría donde está considerada la ciudad de Puebla. En 2018 las ciudades de tamaño medio albergaron el 12.1% de la población mundial, y se estima que para 2030 la proporción incrementará a 13.8%. Para las megaciudades con más de 10 millones de personas que en 2018 alcanzaron el 6.9% de la población mundial, se estimó que para 2030 solo aumentarán al 8.8% de la población total mundial (UN & DEPA, 2018), es decir, que el incremento será proporcionalmente menor en las megaciudades que en las ciudades medias.

Figura 1 Porcentajes de uso de suelo en el planeta Tierra.



Data source: WWF. 2016. Living Planet Report 2016. Risk and resilience in a new era. WWF, International, Gland, Switzerland. The data visualization is available at [OurWorldinData.org](https://ourworldindata.org). There you find research and more visualizations on this topic. Licensed under CC-BY-SA by the authors Hannah Ritchie and Max Roser.

Fuente: WWF. 2016. Living Planet Report 2016. Risk and resilience in a new era. WWF, International, Gland, Switzerland

Las ciudades son el espacio donde se concentra el consumo de materiales, en ella fluyen virtualmente todos los productos básicos derivados de mercados nacionales e internacionales, la mayor parte

¹ Las ciudades de tamaño medio son las que tienen poblaciones de entre 1 a 5 millones de habitantes. A su vez las ciudades grandes son las que superan los 5 millones a 10 millones de habitantes.

de recursos producidos por la industria, su crecimiento económico globalizado representa el 80% del producto interno bruto a nivel mundial. Lo anterior implica la ingente extracción de recursos materiales y energéticos, emisiones de gases de efecto invernadero, finalizando con la generación de grandes cantidades de desechos, todo ello contribuye a complejizar los problemas ambientales en las propias ciudades y también a nivel planetario.

Debido a que el estilo de vida urbano y su distancia con los elementos de la naturaleza se induce a la población en su conjunto pierda el sentido de límites del crecimiento económico, que se liga con la capacidad de los ecosistemas que lo sostienen y, por lo tanto, es otro factor que atenta contra la sostenibilidad urbana (Ferrao & Fernández, 2013). Para el periodo de 2010 a 2050 se estima que el Consumo Doméstico de Materiales² mundial crecerá de aproximadamente en un 116%, mientras el crecimiento poblacional sólo crecerá un 78%. Este dato que indica que los patrones de consumo incrementaran a una tasa mayor que el crecimiento poblacional (UNEP, 2018), y este dato se contradice con el hecho de que una proporción significativa de la población urbana aún viva con sus necesidades insatisfechas (Ferrao & Fernández, 2013).

El Siglo XXI será predominantemente urbano, y la sostenibilidad global recaerá en cómo se gestione el aprovechamiento de los recursos naturales para las ciudades (Ferrao & Fernández, 2013), el reto se enfocará en superar la creciente escasez de recursos a la par de brindar a sus residentes los insumos necesarios para una vida digna, y simultáneamente abonar con la mitigación del cambio climático (Ferrao & Fernández, 2013). Otros retos que enfrentarán las ciudades serán el incremento en la pobreza, el crecimiento de barrios marginales, la delincuencia, el inadecuado acceso a la educación, a los recursos de salud y servicios básicos, todos ellos problemas de desigualdad social que probablemente abrumarán los

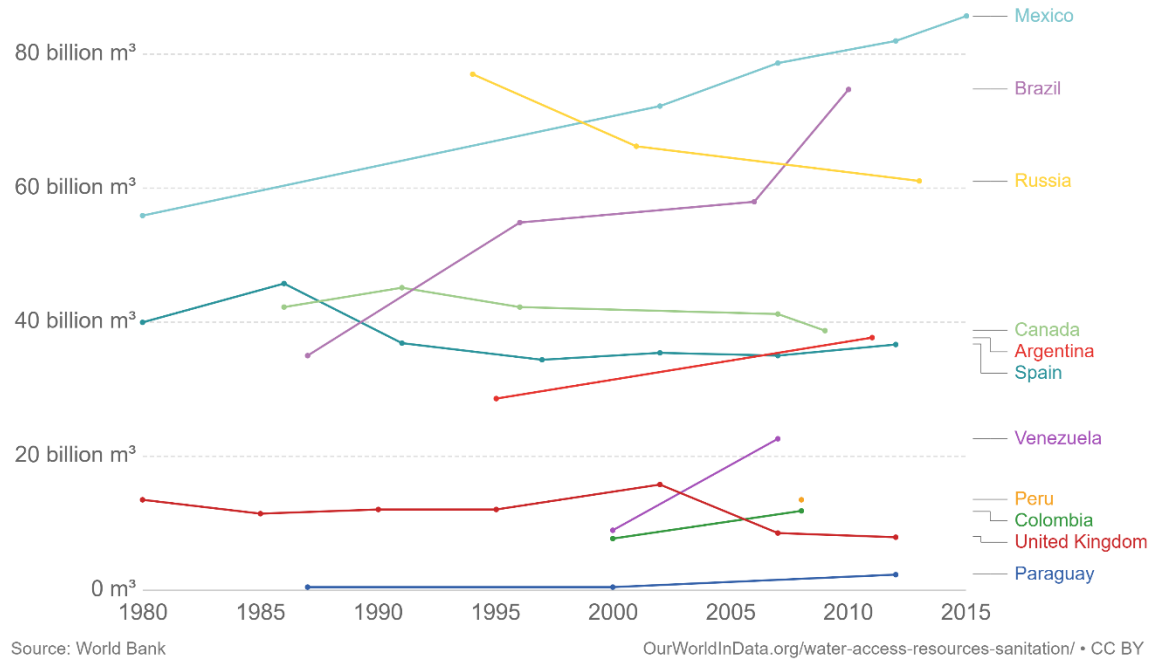
² Consumo Material Doméstico o DMC por sus siglas en inglés (Domestic Material Consumption). Es una magnitud utilizada para el cálculo del metabolismo urbano que ha propuesto Eurostat. Mide la cantidad total de material utilizado directamente en una economía, $DMC = DMI - \text{exportaciones}$ (Eurostat, 2001).

esfuerzos para abordar otros de carácter ambiental, como las emisiones de carbono o la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos naturales.

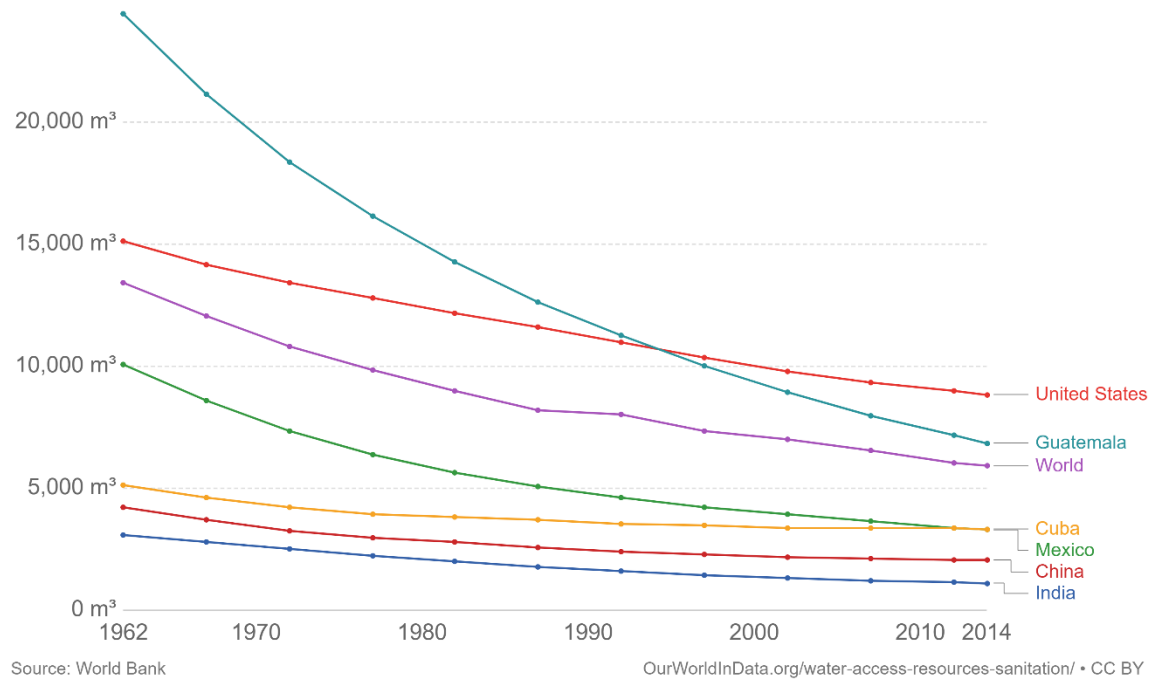
Ante la situación planteada el logro de avances significativos hacia la sostenibilidad urbana es y será un verdadero desafío, por lo que, la implementación de estrategias de mejora en la eficiencia de la gestión de los recursos utilizados en las ciudades, y el enfoque que interrelacione los flujos materiales provistos por el ambiente con los problemas sociales generará un progreso significativo hacia la sostenibilidad urbana. Para ello es necesario superar los enfoques sectorizados y cortoplacistas en el estudio de la problemática, así como de la planeación de estrategias de gestión por parte de las instituciones responsables. Para lo anterior, es necesaria la aplicación de estudios con enfoque holístico e integral del fenómeno urbano que tomen en cuenta la multi-escalaridad tanto espacial como temporal (Delgado-Ramos *et al.*, 2018).

En términos hídricos, la problemática planteada implica la disminución gradual de la disponibilidad del agua, fenómeno que ya es visible en México con el decrecimiento de la disponibilidad de agua *per cápita* a pesar de que la extracción sigue aumentada (Figura 2). El escenario anterior no es prometedor en términos de sostenibilidad, ya que el agua es un bien básico para la salud, la alimentación, la higiene, en general para la vida humana tanto individual como colectiva, la economía y el equilibrio en los ecosistemas que a su vez son la base de todo lo anterior.

Figura 2 Extracción de agua por país y la disponibilidad de agua por país



a)



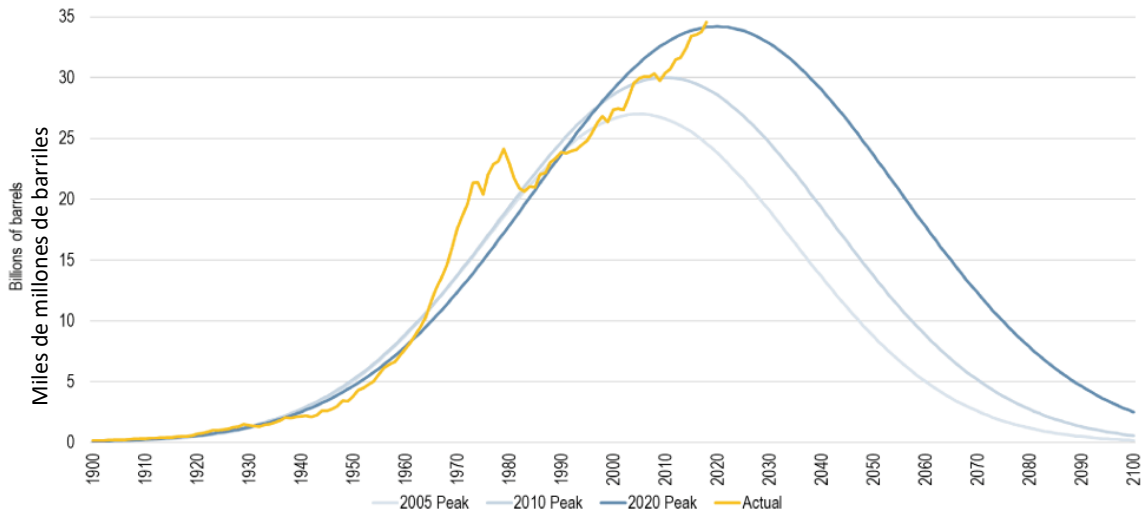
b)

Fuente: OurWorldInData.org/water-access-resources-sanitation/

Para el suministro de agua en ciudades como Puebla requiere de la perforación de pozos cada vez más profundos que se encuentran en lugares cada vez más lejanos. El proceso de suministro hídrico atraviesa los procesos de potabilización, almacenamiento, distribución, consumo, tratamiento (en caso de que se aplique) y su excreción hacia el ambiente procurando el menor impacto negativo hacia el ecosistema. La mayor parte de los procesos hídricos dependen de energía eléctrica o generada directamente de los hidrocarburos, dependencia que se condensa en el concepto denominado nexo agua-energía, desde el punto de vista de energía para suministrar agua (ya que, para los procesos de generación de energía la perspectiva es inversa, agua para generar energía). La dependencia energética los procesos hídricos también incrementa gradualmente conforme disminuye la disponibilidad del agua con calidad aceptable en los asentamientos urbanos. Algunos factores que influyen en la intensidad energética son la cantidad de agua procesada, la lejanía de la fuente, la calidad del agua en la fuente, la orografía entre fuente y consumidores y las características particulares de ciudad como sus edificaciones.

El nexo de la energía con el agua resalta la importancia de los problemas energéticos, y en este sentido, en 2015 el 79.68% de los procesos de producción de energía se vincularon a la quema de combustibles fósiles derivados del petróleo (Banco-Mundial, 2015), sin omitir, que los hidrocarburos fueron el motor del desarrollo económico en el siglo XX. El petróleo es un recurso no renovable ya que a que su regeneración ocurre en periodos de tiempo geológicos, y su disponibilidad mundial actual alcanzó un pico máximo, que decrecerá hasta agotarse (Gleick & Palaniappan, 2010). Existen modelos que prevén diversas fechas para cuando se alcance el pico de disponibilidad de petróleo, sin embargo, la escasez creciente será ineludible (Véase Figura 3). Los procesos de generación de energía eléctrica requieren de agua de altísima calidad, por lo que, la disponibilidad de agua repercute también con disponibilidad de la energía.

Figura 3 Escenarios de la producción anual de petróleo

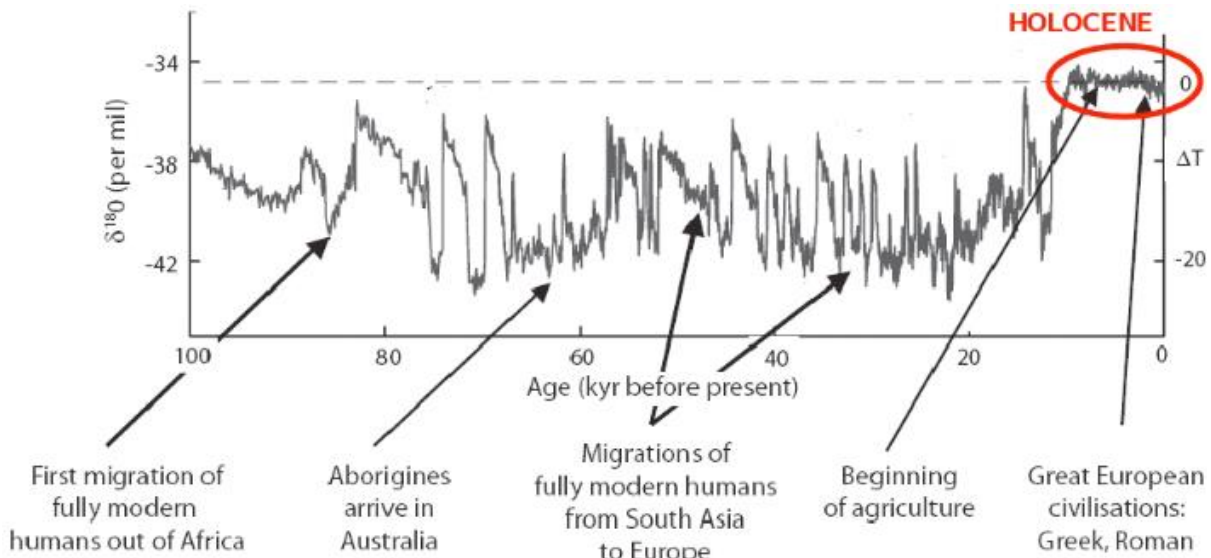


Fuente: Imagen tomada de la página web (https://transportgeography.org/?page_id=5944)

El cambio climático es un problema de repercusiones globales que amenaza la relativa estabilidad climática mantenida por aproximadamente de 11 mil años en la época geológica denominada como el holoceno³ (Steffen *et al.*, 2015a). Las variaciones climáticas afectan aspectos tan diversos como la composición en la atmósfera, la biodiversidad, la estabilidad de los ciclos biogeoquímicos y de entre ellos alteraciones en el ciclo del agua (Véase Figura 4).

³ Holoceno. Época geológica Es la segunda de la era cuaternaria o neozoica, o, según las escuelas, la penúltima del periodo cuaternario de la era cenozoica; sigue al pleistoceno y se extiende desde hace 11000 años hasta el Antropoceno, con el que coincidiría parcialmente en el tiempo casi la actualidad

Figura 4. Variaciones de temperatura a partir de hace 50,000 años al presente con un indicador de temperatura por medio de $\delta^{18}O$ (per mil)



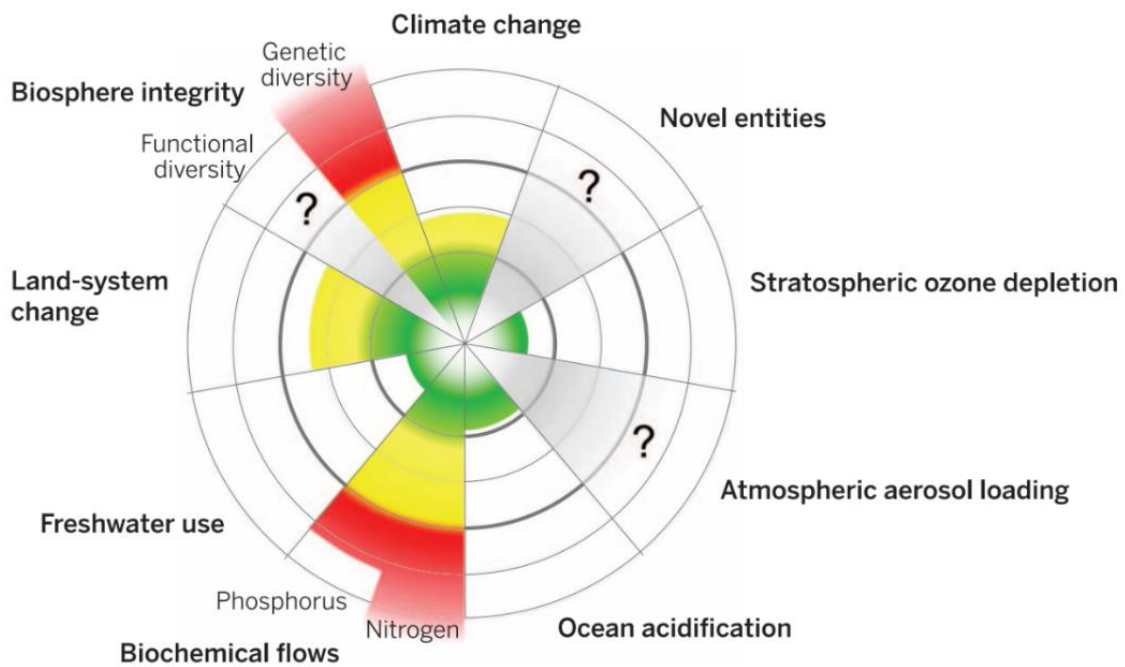
Fuente: Tomado de Planetary Boundaries: exploring the safe operating space for humanity por (Rockström *et al.*, 2009).

No es realista imaginar el futuro de las ciudades sin advertir las consecuencias que el Cambio Climático tendrá en la sociedad (Delgado-Ramos *et al.*, 2018), en el siglo XXI es y será un problema ineludible que afecta al ciclo hidrológico mundial, que en lo referido a las latitudes medias⁴ se prevé la disminución de las precipitaciones en un 15% (IPCC, 2022; Mankin *et al.*, 2019; Nelson *et al.*, 2010), y con ello una menor de la recarga de los acuíferos. Lo anterior para la ciudad de Puebla implica agravar su problemática hídrica, ya que el Acuífero del Valle de Puebla (AVP) es la principal fuente de agua de la ciudad. Por lo anterior es imprescindible estimar la energía y las emisiones de carbono relacionados con los procesos hídricos urbanos.

⁴ Se refiere a las latitudes entre los trópicos y los círculos polares ártico y antártico.

Las condiciones climáticas del holoceno han sido el seno del surgimiento de la civilización actual (Anderson *et al.*, 2007), por lo que, además de las afectaciones biofísicas del Cambio Climático, éste también impactará a la sociedad con sus elementos culturales, civilizatorios y los del entorno biofísico. Steffen *et al.*, (2015b) propusieron nueve fronteras planetarias que no deben ser superadas para mantener la estabilidad del holoceno, donde el Cambio Climático es de las nueve fronteras plantearías (Figura 5). Los estudios de los sistemas urbanos deben considerar los aspectos relacionados con la adaptación y mitigación del cambio climático, para el caso de los sistemas hídricos urbanos no es la excepción (Delgado-Ramos *et al.*, 2018).

Figura 5 Nueve fronteras planetarias propuestas por Rockström.

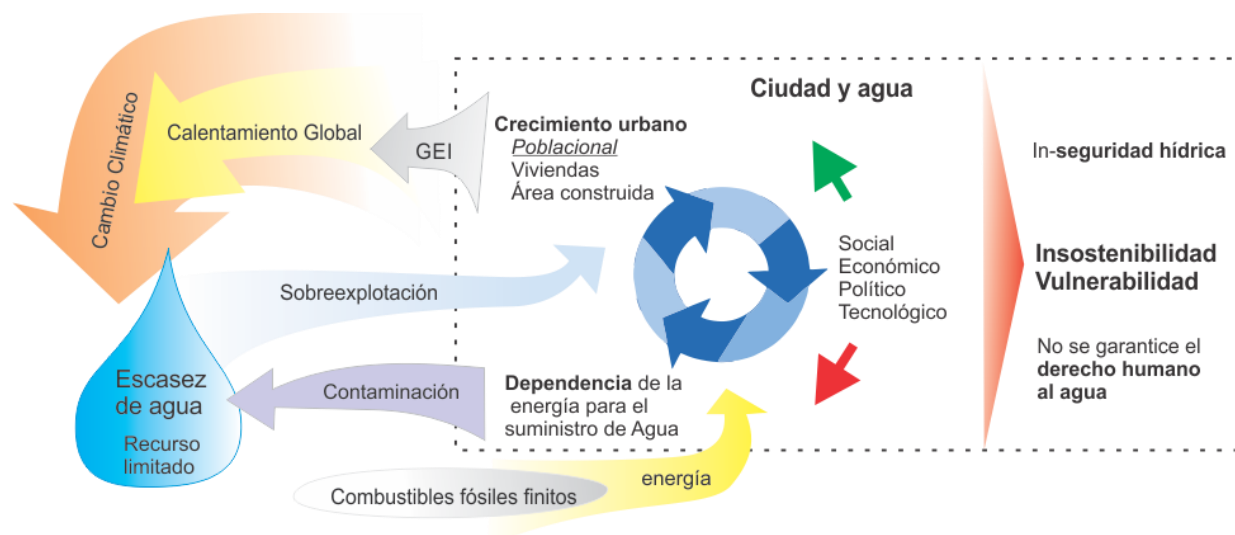


Fuente: tomado de Steffen *et al.*, (2015a)

La problemática hídrica en las ciudades abarca aspectos sociales relacionados con la calidad y cantidad del agua requerida para saciar las necesidades de la población urbana, y también con las asimetrías en la distribución del líquido en función del estatus socioeconómico de la población donde los menos aventajados económicamente son los más vulnerables. En resumen, la complejidad de la problemática

hídrica se manifiesta en problemas de Seguridad Hídrica y del Derecho Humano al Agua (Véase la Figura 6).

Figura 6 Esquema del problema socioambiental del agua.



Fuente: Elaboración propia.

La metáfora del Metabolismo Urbano (MU) busca observar a la ciudad de forma semejante a un organismo vivo, y este enfoque integrador lo hace potencialmente adecuado para el estudio de los problemas de los flujos materiales urbanos. Los orígenes del concepto de MU se ligan al concepto de “Metabolismo Social” (MS) de la teoría económica de Marx (S. J. Kenway, 2013; Zhang, 2013), que transcurrió con poca atención en la primera mitad del siglo XX pero que reganó relevancia aplicada a las ciudades desde el artículo de “The metabolism of cities” de Abel Wolman (1965).

La metáfora del MU implica entender a una ciudad de forma análoga a un organismo vivo que alimenta, acumula, y excreta energía y materia, lo anterior implica el uso de la información para la toma de decisiones (información escasa y pobre presupone limitaciones en la capacidad de toma de decisiones) y en algunos casos, considerando mecanismo para “cerrar ciclos” que están en la base de la circularidad urbana (Un-Habitat, 2021). Esta perspectiva holística de la contabilización del metabolismo urbano que ayuda a interconectar en un modelo central la entrada de flujos energéticos y de materia, su distribución,

y flujos de salida y su potencial circularidad, permitiendo entender mucho mejor las funciones que regulan y dan forma a tales procesos y la asociación multidimensional de los impactos, sinergias y las soluciones. De acuerdo con Kennedy *et al.*, el Metabolismo Urbano se define como “la suma de todos los procesos técnicos y socioeconómicos que ocurren en las ciudades, como resultado del crecimiento, producción de energía y eliminación de desecho” (C. Kennedy *et al.*, 2007a). De forma similar, El Metabolismo Hídrico Urbano (MHU) se refiere a la metáfora del MU aplicado únicamente a los flujos hídricos.

Los estudios del MU y del MHU se han asociado a nociones ingenieriles de la gestión del agua ligados a los enfoques de la ecología industrial, sin embargo, también hay investigaciones que se hibridan con otras disciplinas y campos de conocimiento inter y transdisciplinarios (Broto *et al.*, 2012; Delgado-Ramos, 2015a). Los estudios varían desde la evaluación de programas institucionales multiescala (Renouf *et al.*, 2017), la evaluación de la (in)eficiencia hídrica (C. L. Huang *et al.*, 2013; S. Kenway *et al.*, 2011; Paul *et al.*, 2018) o la integración del enfoque de nexos urbano a los estudios de MU o el MHU (ejemplo., Nexos Agua-Energía-Carbono) (Fan *et al.*, 2019; Lee *et al.*, 2017; Meng *et al.*, 2019; Venkatesh *et al.*, 2014), al análisis de las implicaciones del cambio climático, o los efectos en la salud de la contaminación (Kumar & Saroj, 2014; Landa-Cansigno *et al.*, 2020; Scott, 2011). Algunos estudios de MU y MHU también han analizado aspectos económicos, políticos y socioculturales que se han desencadenado injusticias y los conflictos en diferentes contextos históricos y espaciales (Ernstson & Swyngedouw, 2018; Gandy, 2004; López Zamora, 2013b, 2013a; López Zamora & El Colegio de Tlaxcala, 2022).

En Latinoamérica el número de estudios del MU es evidentemente menor comparado a Europa, Estados Unidos o Asia (Delgado-Ramos Gian Carlo, 2021), y únicamente una fracción de ellos trata el asunto del agua. Algunos trabajos aplican el concepto sin cuantificar los flujos o el stock (Delgado-Ramos, 2019; Luna-Nemecio, 2021; McCulligh & Fregoso, 2019; Napoletano *et al.*, 2019; Rojas-Ramírez, 2019), otros estudios incluyen parcialmente elementos cuantitativos (Delgado-Ramos & Blanco, 2018; Salazar *et*

al., 2012) o información de los subprocesos internos del sistema hídrico (Delgado-Ramos, 2021; García-Serna *et al.*, 2014; Landa-cansigno *et al.*, 2018; Townsend *et al.*, 2020), otros estudios realizaron un balance de entradas y salidas de todo el sistema urbano, incluyendo sus subprocesos (Delgado-Ramos, 2015b; Gutiérrez-Espinosa, 2016). Algunos de ellos incluyen flujos de retorno que trasladan al MU de una naturaleza linear a circular (Arora *et al.*, 2022; Baldassarre *et al.*, 2019; Chigeza, 2019; Hong & Park, 2023). La mayoría de los casos de MU y Metabolismo Hídrico Urbano (MHU) se enfocan a las grandes ciudades, dejando de lado el análisis de las ciudades pequeñas y medianas, a pesar de que éstas son las que se espera que crezcan más (Delgado-Ramos Gian Carlo, 2021). Menos de la mitad de los estudios anteriores incluyeron los flujos hídricos que corresponden al agua embotellada y el transportado por camión cisterna en su análisis.

La ciudad de Puebla como otras ciudades del sur global creció aceleradamente en la segunda ola de urbanización en la segunda mitad del siglo XX (Parnell & Oldfield, 2014), y actualmente forma parte de la Megalópolis Región Centro que se integra por los municipios conurbados en los estados de Morelos, Hidalgo, Querétaro, el Estado de México, Tlaxcala, Puebla y la Ciudad de México (INECC, 2016). Su población ha crecido consistentemente de 1.76 millones de habitantes en 1990, 2.27 millones en 2000, y 2.72 millones en 2010, y 2.94 millones de habitantes en 2018 (de los cuales 1.67 millones residen en la “ciudad central” o el municipio de Puebla) (SEDATU *et al.*, 2018). Es la cuarta metrópoli más grande del país solo superada por Monterrey, Guadalajara y el Valle de México (SEDATU *et al.*, 2018), y el municipio de Puebla ocupa el cuarto lugar de los municipios más poblados del país con 1.67 millones de habitantes, solo superado por Iztapalapa, Tijuana y Ecatepec de Morelos (Murrieta & Hernández, 2015).

Históricamente la población de la ciudad de Puebla ha padecido problemas de escasez hídrica y desigualdad en la distribución del agua, todo ello relacionado con sus procesos sociales, políticos, económicos y se ha hecho una contabilización histórica de la apropiación del agua bajo el marco del metabolismo social (Juárez Flores, 2015; Loreto-López, 2016). Actualmente La ciudad de Puebla es una ciudad

media mexicana de tamaño medio con problemas hídricos que incluyen la escasez de agua, sobreexplotación del Acuífero del Valle de Puebla (AVP) (Astudillo Ocampo, 2017; Flores-Márquez *et al.*, 2006; Martínez Morales *et al.*, 2015; Salcedo Sánchez *et al.*, 2017), la ineficiente e inequitativa distribución de agua (López Zamora, 2013a; Martínez-Austria & Vargas-Hidalgo, 2016), los cortes en el servicio que se ejercen so pretexto del no pago del servicio, cobros excesivos que hace la empresa de aguas (Vargas Castro *et al.*, 2021), contaminación hídrica debido a las descargas sin tratamiento y las enfermedades en la población que reside en lugares aledaños a los cuerpos de agua donde se descargan dichas aguas (Brenes *et al.*, 2011; Castresana *et al.*, 2018, 2019; Estrada-Rivera *et al.*, 2022; A. Mora *et al.*, 2021; Morales-García *et al.*, 2017), y los conflictos socioambientales que están relacionados con lo anterior (Vargas Castro, 2017), todo ello dentro de un contexto de luchas en torno a la desprivatización de los servicios de agua.

En el presente escrito se presenta la propuesta y cuantificación de un modelo de MHU para la ciudad de Puebla, basado desde el enfoque de Sistemas Complejos propuesto por R. García (2006). Se inició con el planteamiento del sistema socioambiental donde el MHI de la ciudad de Puebla emerge, se continuó con una cuantificación e la apropiación del agua en la ciudad de Puebla desde 1950 a 2018 y se finalizó con la cuantificación del MHU en la ciudad de Puebla. Estos tres objetivos se describen con mayor detalle más adelante.

1.1 Preguntas de investigación

En función del problema descrito, surge la siguiente pregunta:

- ¿Cómo es el Metabolismo Hídrico Urbano de la ciudad de Puebla si se observa desde la perspectiva de la Teoría de Sistemas Complejos?

1.1.1 Preguntas específicas

1. ¿Cómo es un modelo conceptual de Metabolismo Hídrico Urbano si se plantea desde la perspectiva de la Teoría de Sistemas Complejos?
2. ¿Cómo evolucionó la apropiación del Metabolismo Hídrico Urbano en la ciudad de Puebla desde 1950 a 2018?
3. ¿Qué estado actual tiene el Metabolismo Hídrico Urbano en la ciudad de Puebla desde la perspectiva holística?

1.2 Objetivo general

Derivado de las preguntas de investigación tanto la general como las específicas deriva el siguiente objetivo general y más adelante los específicos.

- Construir un modelo de Metabolismo Hídrico Urbano desde el enfoque de la Teoría de Sistemas Complejos que relacione elementos tangibles e intangibles de la problemática hídrica de la ciudad de Puebla.

1.2.1 Objetivos específicos

1. Plantear un modelo conceptual de Metabolismo Hídrico Urbano basado en la teoría de Sistemas Complejos.
2. Analizar la evolución de la apropiación del agua en la ciudad de Puebla desde 1950 a 2018 y su relación con procesos sociales o políticos relevante relevantes.
3. Construir el modelo de Metabolismo Hídrico Urbano cuantificado para la ciudad de Puebla que se vincule con la realidad socioambiental.

1.3 Justificación

La metáfora del Metabolismo Urbano es una herramienta heurística que ayuda a concebir la realidad socioambiental desde una perspectiva holística, característica que la hace pertinente para las ciencias ambientales. Esta perspectiva de análisis requiere de los enfoques interdisciplinarios y transdisciplinarios que ayudan a interrelacionar las ciencias sociales y las ciencias naturales, y este enfoque holístico integra elementos de diversas disciplinas y metodologías para el estudio de los problemas socioambientales.

Para abordar la complejidad de los problemas socioambientales es necesario implementar la interdisciplina y transdisciplina. En ese tema se aporta con la aplicación de la Teoría de Sistemas Complejos de Rolando García (2006) y su enfoque interdisciplinario con el que se aplicaron de forma conjunta elementos de las disciplinas híbridas como la historia socioambiental, la ecología política urbana y la ecología industrial. En el sentido de se aplica el pensamiento complejo con la relación del Metabolismo Hídrico Urbano junto con los conceptos del Nexo Agua-Energía-Carbono y el Derecho Humano al Agua.

Los productos de la investigación simplifican a la complejidad socioambiental estudiada, y eso le otorga el potencial de hacer entendible la complejidad socioambiental para los interesados no especializados en el tema, como por ejemplo los tomadores de decisiones, políticos, activistas, entre otros. La simplificación también brinda la posibilidad facilitar la divulgación de problemas complejos y con ello se aporta al objetivo de democratizar la ciencia.

Los resultados aportan con información útil para la generación de indicadores relacionados con la medición de variables relacionados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (1, 3, 6, 7, 11, 13 y 15), y con ello aportar a la sostenibilidad urbana.

1.4 Hipótesis

Es posible plantear un modelo de Metabolismo Hídrico Urbano desde la perspectiva de los Sistemas complejos y aplicarlo a la ciudad de Puebla para analizar la problemática hídrico-urbana con los problemas socioambientales de su contorno socioambiental.

1.5 Propuesta metodológica

La teoría de Sistemas Complejos de R. García propone las bases ontológicas, epistemológicas y metodológicas para plantear un sistema socioambiental. Para iniciar, esta teoría constructivista sugiere que los autores sean conscientes del marco epistémico a partir del cual construyen su realidad, por tal motivo, se redactó un ensayo que describiera el Marco Epistémico que fundamenta el entendimiento de la realidad y el Metabolismo, tanto Social como urbano y el hídrico urbano. Al final del ensayo, la idea general se sintetizó en un diagrama para facilitar la transmisión del mensaje. En el Marco Epistémico se criticó a la separación ontológica que subyace entre la sociedad y la naturaleza, y se construyó la idea de una realidad sin aquella separación ontológica, se aplicaron las categorías sistémicas de Materia, Energía e Información, y los niveles de organización de la Materia más las dimensiones ontológicas de la realidad material e inmaterial mencionada por V. Toledo & González de Molina (2007). A partir del esquema planteado en el Marco Epistémico se precisó el objeto de investigación mediante recortes sucesivos a la realidad para definir el sistema socioambiental del Metabolismo Hídrico Urbano de la ciudad de Puebla.

La definición de los procesos e indicadores propuesta para la posterior cuantificación del MHU se realizó a partir de identificar los principales flujos del ciclo hidrológico, que consideró información meteorológica, agua superficial en la cuenca y agua subterránea del acuífero. Los indicadores internos del Metabolismo Hídrico Urbano se obtuvieron desde los elementos que integran la operación del sistema operador de agua que suministra de agua a la ciudad. Finalmente, los indicadores se organizaron en una tabla

que sirvió como guía para la recolección de datos que ayudaron a cuantificar e interpretar al MHU. Se resalta que los indicadores es una herramienta corregible y que está en función de la información disponible.

Todo sistema complejo requiere de un análisis diacrónico que ayude a entender la evolución previa del sistema socioambiental, y estos elementos históricos también son parte del sistema. Para ello se recolectó información de la apropiación del agua en la ciudad de Puebla desde 1950 hasta el 2018, la recolección se realizó principalmente en fuentes documentales de los informes municipales anuales del Archivo Histórico Municipal de 1950 a 1983, de información del SOAPAP desde 1994 hasta 2018. Con esta información se esbozaron las relaciones entre el desarrollo de la ciudad y los incrementos en la apropiación del agua.

1.5.1 Cuantificación del Metabolismo Hídrico Urbano

Se aplicó el método de Contabilidad de Flujos Materiales (MFA por sus siglas en inglés) para estimar el Metabolismo Hídrico Urbano en la ciudad de Puebla, México (Brunner & Helmut, 2005), y se utilizó el programa STofflussANalyse (STAN) versión 2.6 desarrollado por la Universidad Tecnológica de Viena (<https://www.stan2web.net/>). La pérdida de agua por electrólisis se considera despreciable. Los flujos energéticos y las emisiones de CO₂e, el peso en las redes de distribución de agua y drenaje más el material relacionado con los tratamientos de agua potable y residual se estimaron únicamente para los procesos de la empresa de agua. No se estimó el consumo de agua virtual y de energía indirecta del UWM.

1.5.1.1 Estimación del Ciclo Hidrológico en la región del Acuífero del Valle de Puebla

La estimación del uso de agua subterránea se recolectó de CONAGUA (2020), y se balanceó con los flujos de precipitación y escurrimientos superficiales que se calcularon de acuerdo con la Norma Oficial

Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, con la información de precipitación tomada de 14 estaciones meteorológicas (21065, 21248, 21120, 21163, 29170, 21101, 21247, 21034, 21249, 21016, 21046, 21167, 21223, 21214) del Servicio Meteorológico Nacional, más la información del tipo de suelo, todo lo anterior procesado con los Sistemas de Información Geográfica. En la región del Acuífero del Valle de Puebla, los escurrimientos superficiales que ingresan de las regiones aledañas no se integraron debido a la falta de información.

1.5.1.2 Estimación del Metabolismo Hídrico Urbano en los asentamientos dentro de la región del Acuífero del Valle de Puebla.

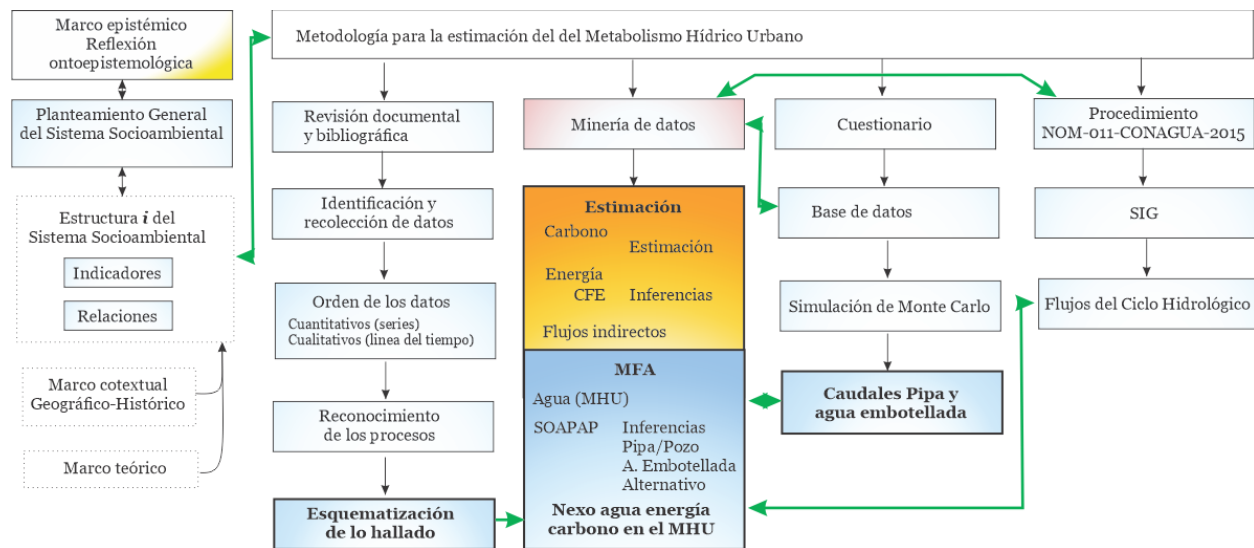
El balance de las entradas y salidas de agua se realizó con la información de aprovechamientos y descargas en 2019 obtenido del Registro Público de Derechos del Agua (REPDA) de la CONAGUA, disponible en la liga: [//app.conagua.gob.mx/ConsultaRepda.aspx](http://app.conagua.gob.mx/ConsultaRepda.aspx). Se tiene presente que los datos de las concesiones no es información empírica, por lo que, se consideraron como un proxy aproximarse a los caudales de aprovechamiento y descarga de los flujos en la zona Metropolitana, excepto la ciudad central de Puebla.

1.5.1.3 Estimación del Metabolismo Hídrico Urbano en la ciudad central de Puebla

El balance de entradas y salidas de agua se realizó con la información obtenida de SOAPAP, tanto en la página de transparencia⁵ como con el contacto directo con el personal de la institución. Por otro lado, debido a la ausencia de datos para estimar los caudales de agua embotellada y distribuida en camiones cisterna, esta se estimó mediante una simulación de Monte Carlo que se alimentó con información recabada en una encuesta aplicada a 256 usuarios (véase Figura 7). El procedimiento detallado se expuso en el anexo metodológico al final del documento.

Figura 7. *Esquema que resume la metodología de investigación*

⁵ La página de transparencia es (<https://www.plataformadetransparencia.org.mx/>)



Fuente: Elaboración propia.

1.5.2 Delimitación espacial.

Un sistema socioambiental carece de límites precisos tanto en su extensión física como en su problemática (R. García, 2006). En el caso de las ciudades, estas pueden ser delimitadas por su espacio construido, los límites administrativos, la densidad poblacional, o a partir de características del desarrollo económico, entre otros.

Para el caso de la ciudad de Puebla la investigación se enfocó en la ciudad central de la Metrópoli de Puebla, es decir a la zona urbana que se encuentra en su mayoría en el Municipio de Puebla, y que es aproximadamente la cobertura del SOAPAP. Sin embargo, los flujos hídricos que abastecen a la ciudad central no se extraen todos desde dentro de su espacio geográfico, esto requiere tomar en cuenta la contabilidad de los flujos de fuera de la ciudad central. En este orden de ideas, hago referencia a la disponibilidad de los datos, los cuales, se han estimado para delimitaciones que no necesariamente correspon-

den a la ciudad central. Por tal motivo, se consideró útil que en el modelo se integraran diferentes delimitaciones, y de esta forma construir el modelo que se enfocara en la ciudad central, pero integrara su hinterland hídrico.

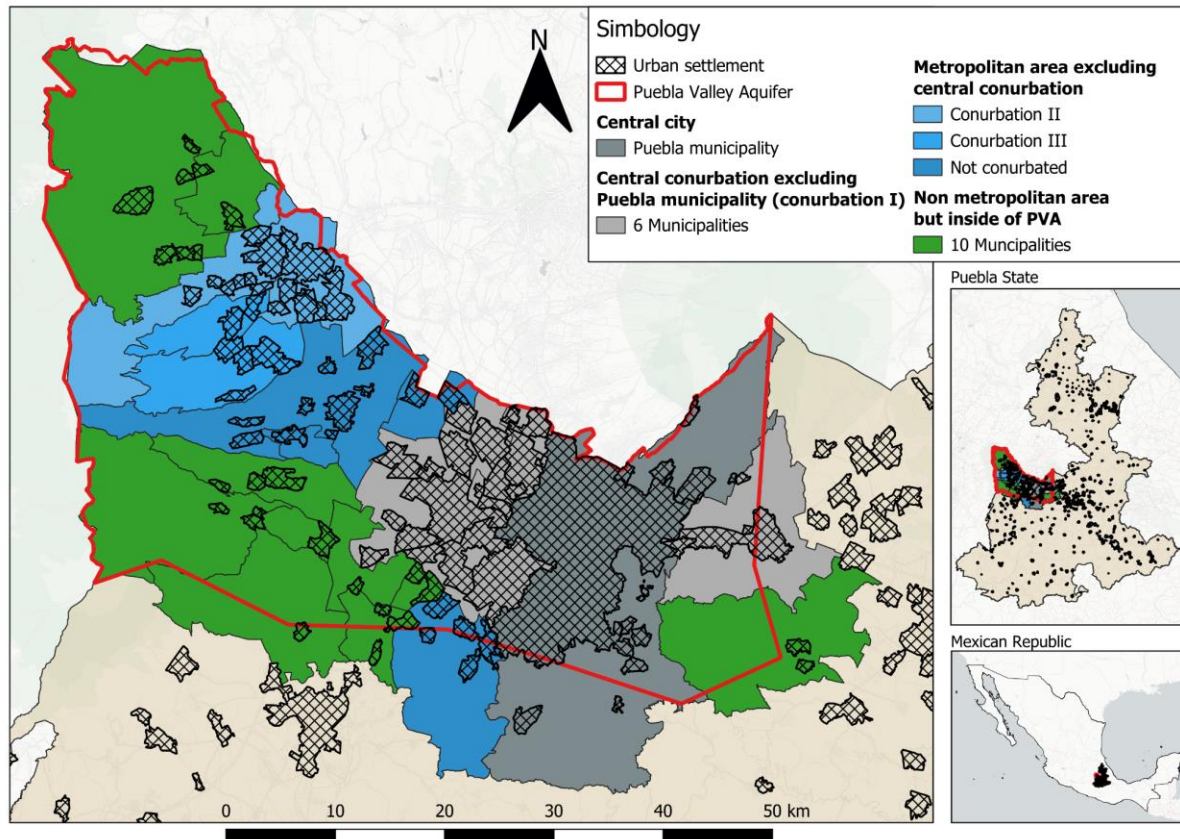
Como delimitación mayor se tomó a la zona geográfica correspondiente al Acuífero del Valle de Puebla, debido a que a este nivel existen datos del agua concesionada para diferentes usos y subdividida Municipios. Y como delimitación menor se definió a la cobertura del SOAPAP, la cual, se aproxima a la mancha urbana dentro del Municipio de Puebla más pequeñas fracciones de los municipios aledaños. A continuación, se describirán los 26 municipios que conforman las cuatro delimitaciones.

- Municipios fuera de la Metrópoli (10 municipios)
 - Calpan, Cuautinchan, Nealtican, San Gregorio Atzompa, San Jerónimo Tecuapipan, San Matías Tlalancaneca, San Nicolás de los Ranchos, Santa Isabel Cholula, Tianguismanalco, Tlahuapan.
- Dentro de la Metrópoli, pero fuera de la Conurbación Central (9 municipios)
 - Conurbación 2 (2 municipios)
 - San Martín Texmelucan, San Salvador el Verde
 - Conurbación 3 (2 municipios)
 - San Martín Texmelucan, San Salvador el Verde
 - No conurbado (5 municipios)
 - Domingo Arenas, Huejotzingo, Ocoyucan, San Miguel Xoxtla, Tlaltenango
- Conurbación central
 - Conurbación central excepto Puebla (6 municipios)
 - Amozoc, Coronango, Cuautlancingo, Juan C. Bonilla, San Andrés Cholula, San Pedro Cholula
- Municipio de Puebla, ciudad central.

- Cobertura del SOAPAP
 - Se aproxima a la mancha urbana dentro del municipio, pero suministra agua a fracciones de los municipios de Cuautlancingo, Juan C. Bonilla, San Andrés Cholula, San Pedro Cholula, Santa Clara Ocoyucan.
- Fuera de la cobertura del SOAPAP

Para el caso del segundo objetivo la delimitación se centró únicamente en la ciudad central, debido a que el crecimiento urbano se detonó principalmente en esta zona. En 1962 se adhirieron al municipio de Puebla los municipios de Resurrección, San Miguel Canoa, San Felipe Hueyotlipan, San Jerónimo Caleras, San Francisco Totimehuacan y Fracciones de los Municipios de Amozoc y San Pedro Cholula, para conformar la actual delimitación del Municipio de Puebla (Figura 8).

Figura 8 *Descripción gráfica de la delimitación del área de estudio.*



1.5.3 Delimitación temporal

El segundo objetivo es longitudinal en el sentido del tiempo, con límite inferior en 1950, año en que inició la aceleración del crecimiento urbano tanto en Puebla, en el país y gran parte del mundo, y como límite superior el 2018, año cuando se inició esta investigación. Para el tercer objetivo el periodo de tiempo es transversal, y se hizo un análisis sincrónico mas detallado del MHU en la ciudad de Puebla (2018).

1.6 Estructura del documento

El primer capítulo corresponde al Marco Teórico de la investigación, donde se expuso la evolución de las ideas relevantes de pensadores y filósofos del pensamiento occidental que derivaron en la percepción recortada entre la sociedad y la naturaleza. Mas adelante se expuso la Teoría de los Sistemas Complejos de Rolando García, para fundamentar onto-epistemológicamente la concepción del concepto de Metabolismo Social y Urbano. Se describieron los fundamentos de la metodología de Contabilidad de Flujos Materiales (Material Flow Accounting en inglés), y finalmente se describieron los conceptos del Nexo Agua-Energía-Carbono, el Derecho Humano al Agua y la Seguridad Hídrica.

El segundo corresponde al Marco Contextual de la investigación, donde se exponen características multidimensionales de la Ciudad de Puebla que son relevantes para un estudio de metabolismo urbano, como las características geográficas, orográficas, hidrológicas, los aspectos climáticos de su entorno biofísico, pero también las fronteras administrativas, la infraestructura urbana, los actores relacionados con el agua, y su contexto histórico de la ciudad relacionado con el recurso hídrico.

Los resultados de la investigación se exponen desde el tercer capítulo, que se centran en el resultado del objetivo 1. Se inicia con la reflexión que define el Marco Epistémico⁶ de la investigación, donde se exponen los aspectos ontoepistemológicos que proponen la no separación entre la sociedad y la naturaleza. Posteriormente se planteó el Sistema Socioambiental y el modelo conceptual del Metabolismo Hídrico Urbano con sus subsistemas, estructura y elementos, para finalmente plasmarlo en una tabla de indicadores.

⁶ El marco epistémico refiere a una cosmovisión del mundo, una concepción o visión de la naturaleza y de la sociedad. Se trata en todos los casos de sistemas de ideas de carácter muy general que, por rara vez explicitadas y forma parte del sustento ideológico de su época, escapan a críticas detalladas. Se define con más detalle en el Capítulo 2.

El cuarto capítulo contiene los resultados de los objetivos dos y tres. Se inició con la descripción del análisis diacrónico de los procesos relacionados con la evolución del metabolismo hídrico urbano, que se describió con la serie de datos de su extracción desde 1950 hasta 2018. Mas adelante se expuso la cuantificación del MHU en la ciudad de Puebla, su Nexo con la energía y el carbono, y además la información cuantitativa se relacionó con información cualitativa de la problemática socioambiental que contornea el sistema socioambiental del agua en la ciudad de Puebla.

2 MARCO TEÓRICO. RELACIÓN SOCIEDAD-NATURALEZA, SISTEMAS COMPLEJOS Y EL METABOLISMO HÍDRICO URBANO

“No somos estudiantes de alguna materia, sino estudiantes de problemas. Y los problemas pueden traspasar los límites de cualquier tema o disciplina”

Karl Popper (2014)

La sociedad y la naturaleza desde el enfoque de la ciencia tradicional occidentalizada se han percibido como resultado de entes ontológicamente separados, sin embargo, la problemática ambiental actual debe ser estudiada tomando en cuenta su complejidad, lo que implica enfrentarse al obstáculo epistemológico de la separación entre las ciencias naturales y sociales. En este sentido, se coincide con Rolando García en la necesidad de que el investigador sea consciente del tipo de realidad que pretende estudiar (R. García, 2006), para ello se expusieron cronológicamente algunos elementos de pensamiento occidental que se relacionan con la escisión ontológica, para más adelante exponer las teorías que fundamentan la investigación como la Teoría de los Sistemas Complejos y el Metabolismo Hídrico Urbano.

Debido a que el Metabolismo Urbano (MU) es una metáfora que conlleva sumergirse en la complejidad socioambiental, es necesario tomar en cuenta los factores a partir de donde esta emerge, tomar en cuenta integralmente los factores sociales y ambientales. Aunque el MU se centra en la cuantificación de flujos materiales y a partir de ello vislumbrar soluciones enfocadas a la eficiencia de los recursos, no debe desapercibir a las dinámicas sociales propias del asentamiento humano estudiado, y ello implica la aplicación de interdisciplina y transdisciplina, para abordar la diversidad teórica, conceptual y metodológica requerida.

En lo referente a las metodologías se expuso al método de Contabilidad de Flujos Materiales como método para estimar el Metabolismo Hídrico Urbano en la ciudad de Puebla, así como elementos del método de Ciclo de Vida con el que se estimó el Nexo con la Energía y el Carbono. Además, de lo anterior y en relación con la complejidad de la investigación, se describirán brevemente otras metodologías utilizadas en la investigación para complejizar. En relación se realizó una reflexión en términos ontoepistemológicos (ontología—epistemología) que se incluyó al inicio el Capítulo III.

2.1 Elementos ontológicos de la relación entre la Sociedad y la Naturaleza

En la cultura occidental⁷ heredamos una percepción de la realidad dualista que separa lo humano de lo natural, ya que lo natural es externo a los humanos como un árbol, un animal, una roca, el aire, el agua, etc., en cambio nuestros pensamientos, lenguaje, religión, el arte, la tecnología, y cualquier creación humana no es considerado naturaleza. Aquella herencia, derivó del pensamiento atomista griego y evolucionó a partir del proceso filosófico renacentista que se denomina la modernidad, que tiene como su fundador a René Descartes (R. García, 2000).

2.1.1 Descartes y el dualismo ontológico

Descartes (1596 – 1659) consideró a la razón como el único medio para concebir la verdad, para ello diseñó y ejecutó un método que constó de cuatro pasos, iniciando por la evidencia, análisis, la síntesis, y la enumeración. La evidencia la basó en lo que consideró una verdad totalmente evidente que no pudiese ser negada incluso por los más escépticos. Tal verdad indubitable se enunció como; “*cogito, ergo sum*”, (Pienso, luego soy). Es decir que es indubitable el hecho de que se piensa, y por medio de ese proceso es como el ser es consciente de su propia conciencia.

⁷ México es un país occidentalizado debido a que en el Europa occidental estableció su hegemonía, heredó sus lenguas, sistema de ordenamiento sociopolítico, religión, sistema de derecho, modelo educativo, valores y costumbres.

La realidad para Descartes surge de la expresión de dos sustancias⁸ con diferente esencia que denominó “*res cogitans*” y “*res extensa*”. La primera refiere a lo que conforma a los pensamientos, el alma y Dios, y a este último lo denominó *res cogitans infinita*. A la segunda se refiere a la realidad tangible o material. La relación entre estas dos sustancias es análoga a un conductor que maneja su automóvil a su albedrío, donde la *res cogitans* conduce, guía e impone su voluntad sobre la *res extensa* que se concibe como materia inerte. Es decir, la *res extensa* es un objeto sin conciencia, sin sensaciones, ni sentimientos, no es, solo es una extensión de la “*res cogitans*” que si es. Y es aquí donde la verdad indubitable de Descartes da forma a la escisión que en el futuro se percibirá entre la sociedad y la naturaleza.

El pensamiento de Descartes representó un avance para el pensamiento occidental en el periodo renacentista⁹, que transitó del teocentrismo¹⁰ hacia el antropocentrismo¹¹. Otros aportes de Descartes se dieron en la geometría analítica¹² que abstrae la geometría euclidiana (realidad sensible) en ecuaciones algebraicas (ideas), y a partir del procesamiento de las ecuaciones es posible entender la geometría, el mundo de la razón capturara la realidad la modifica y tiene el potencial de generar una nueva realidad sensible. Es manifiesto el racionalismo de Descartes.

Brauch Spinoza (1632 – 1677) a diferencia de Descartes concibió la realidad desde una perspectiva monista, donde la *res cogitans infinita* o dios conforma todo lo existente mediante sus manifestaciones con infinitas formas y atributos diferentes. Esta es una perspectiva panteísta de la realidad donde la naturaleza y Dios son lo mismo. Spinoza también consideró a los textos bíblicos como documentos históricos, esta desacralización le costaría al joven Spinoza de 24 años el exilio de la comunidad judía a la que

⁸ La sustancia es el sujeto inmediato de cualquier atributo del que tengamos una idea real.

⁹ El Renacimiento es un movimiento cultural y artístico que surgió en Italia entre los siglos XIV y XVI.

¹⁰ Forma de pensamiento que considera a la divinidad como creadora y responsable de todos los fenómenos del universo.

¹¹ Doctrina filosófica que concibe al ser humano y sus intereses como el centro de todo el universo.

¹² Rama de la geometría que representa curvas y figuras geométricas mediante expresiones algebraicas en un sistema de coordenadas.

pertenecía, sin embargo, mantuvo su postura crítica hacia la iglesia durante el resto de su vida. La perspectiva panteísta de Spinoza le da un sesgo de sacralidad a la naturaleza que sería útil hoy en día, ante una realidad de inconciencia y descuido hacia la misma.

El pensador y polímata Gottfried Leibniz (1646 – 1716) concibió la realidad desde elementos in- materiales que denominó mónadas, similares un átomo¹³ pero inmateriales, eternas, indivisibles, indivi- duales, sujetas a sus propias leyes que no interactúan entre sí, pero que reflejan en su comportamiento la armonía preestablecida por el orden divino del universo. La propuesta de Leibniz al igual que la de Spinoza tampoco trascendió con la fuerza de la de Descartes, sin embargo, se oponía al dualismo, incli- nándose hacia el organicismo (R. García, 2000). Leibniz al igual que Descartes aportó en el campo de las matemáticas con el desarrollo del cálculo infinitesimal que se convertiría en una poderosísima herra- mienta utilizada en las ciencias hasta el día de hoy. En aquella herramienta matemática las monadas se expresan matemáticamente en los infinitesimales.

De los pensadores racionalistas Spinoza, Leibniz y Descartes, el último fue el más influyente, su pensamiento se debatió posteriormente por los empiristas Lock, Berkeley y Hume. El filósofo inglés John Locke (1632 – 1704), consideró a las sensaciones como la única puerta al conocimiento, sin embargo, también consideró que con esta vía no era posible conocer a la sustancia en sí que es la esencia de la realidad. George Berkeley (1685 – 1753), basado en las ideas de Locke consideró que era ilógico pensar en la existencia de la *res extensa*, ya que, si no era posible conocerla mediante los sentidos, entonces la *res extensa* no era necesaria para describir la realidad. Berkeley también consideró que la experiencia, los sentidos, la percepción, medición y cuantificación ayudan a obtener el “Dato Puro”, sin teorías que induz- can al error, aproximándose a la realidad para describirla, es decir, la realidad solo existe si es percibida

¹³ El atomismo es una teoría filosófica según el cual el universo está constituido por combinaciones de pequeñas partículas indivisibles denominadas átomos.

por la *res cogitans*, y la realidad externa a la percepción humana existe porque es percibida por la conciencia infinita, la *res cogitans infinita*, es decir Dios. El empirista David Hume (1711 – 1776) a diferencia de los dos anteriores, negó la existencia de las tres sustancias propuestas por Descartes y propuso que el conocimiento verdadero provenía de las impresiones surgidas directamente de la experiencia (idea opuesta al racionalismo), y lo que no surja por esta vía sería ficción, consecuencia de ello deriva en que la *res cogitans* y la *res cogitans infinita* que no pueden ser comprobadas empíricamente no son reales, por lo tanto, el alma o Dios no existen. Hume de forma similar a Berkeley pensó que no tenía sustento afirma la existencia de la *res extensa*, ya que no podía conocerse su verdadera esencia. Las críticas a las ideas de Descartes realizadas por los pensadores empiristas citados se basaron en la propia dualidad ontológica de Descartes, por lo que no existió una crítica al fundamento de la dualidad.

2.1.2 El Mecanicismo Newtoniano

Issac Newton (1643 – 1727) en su obra “Principios matemáticos de la filosofía natural” de 1687 formuló las tres leyes fundamentales del movimiento que vincularon la mecánica terrestre con la celeste, donde la mecánica terrestre se pensaba explicable por los hombres y la celeste por los preceptos religiosos¹⁴. Este hecho aceleró la transición del paradigma teocéntrico¹⁵ al antropocéntrico¹⁶. De la disolución de esta dualidad surgió el mecanicismo como un nuevo paradigma que observa a la realidad de forma semejante a una máquina. La mecánica Newtoniana condujo a la creencia de que todo conocimiento debería de aspirar a tener el mismo grado de precisión en su predictibilidad, lo que implica que la realidad debería

¹⁴ En el contexto temporal de Newton se pensaba que la mecánica celeste y la terrestre como separadas, esta dualidad se disolvió cuando Newton explicó que era el mismo fenómeno el movimiento de la Luna y la caída de los objetos en la tierra.

¹⁵ Teocentrismo es una forma de pensamiento que considera a la divinidad como creadora y responsable de todos los fenómenos del universo.

¹⁶ Antropocentrismo es una doctrina filosófica que concibe al ser humano y sus intereses como el centro de todo el universo.

funcionar como una máquina, refiriéndome así a la ontología mecanicista, donde la realidad es similar a una máquina y el hombre era capaz de entender y predecir sus fenómenos (sin recurrir a la iglesia), por lo que el determinismo se relaciona con el mecanicismo. Laplace (1749 – 1827) llevo al extremo esta premisa y concibió al denominado Demonio de Laplace, un ente que conoce todas las posiciones iniciales de todas las partículas del universo, y que, a partir de ese conocimiento tiene la posibilidad de determinar el pasado y futuro de todo el universo.

La influencia de la mecánica newtoniana llegó al grado de que personajes como Lord Kelvin y Von Helmholtz (siglo XIX) declararan que ninguna teoría debía ser aceptada como científica a menos de que sea formulada en términos de la teoría de Newton (R. García, 2000). El mecanicismo se centra en los fenómenos físicos cuantificables y excluye lo no cuantificable como los pensamientos o ideas tanto individuales como colectivos. El mecanicismo junto con el determinismo manifiesta la dualidad ontológica donde la realidad material (*res extensa*) está a expensas de la voluntad del ente pensante (*res cogitans*).

2.1.3 Elementos del pensamiento decimonónico

Immanuel Kant (1724 – 1804) en su obra “La crítica de la razón pura” de 1781 consideró que el origen del conocimiento ocurre en primera instancia con la experiencia pero que posteriormente necesita de la razón para su coherente estructuración. Kant propuso la dualidad sujeto y objeto en el proceso del conocimiento, donde el sujeto es quien conoce, y el objeto es la cosa que se desea conocer. El sistema filosófico de Kant complementa el racionalismo con el empirismo, y excluyó a la metafísica como conocimiento válido. Lo anterior no supera la separación ontológica propuesta por Descartes, puesto que la separación entre objeto y sujeto implica una separación e independencia entre el ente cognoscente y el ente a conocer, separación semejante a la propuesta entre la *res cogitans* y la *res extensa*.

Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770 – 1831) en su obra “La fenomenología del espíritu” publicada en 1807, pensó que los secretos de lo que se desea conocer no se revelan inmediatamente y tampoco

permanecen inmutables en el tiempo, sino que evoluciona mediante un proceso que denominó dialéctica, donde un concepto previo (tesis) se antepone con un concepto contrario (antítesis), y su resolución produce un nuevo concepto (síntesis) que supera a los dos anteriores. La síntesis será una nueva tesis que se enfrentará a otro concepto opuesto, provocando el mismo proceso y deviniendo en su evolución.

El proceso dialéctico otorga relevancia al tiempo en la generación de conocimiento, por tal motivo, la historia del objeto cognoscible es un elemento imprescindible para conocer dicho objeto, sin omitir la atención en el proceso cognoscitivo del cual surgió el conocimiento. Las ideas de Hegel son complejas, sin embargo, tejió puentes entre sujeto y objeto de conocimiento, al considerarlos interdependientes mediante el proceso dialéctico. Además, las ideas de Hegel influenciaron a Darwin y Marx en sus teorías de la evolución de las especies y de los sistemas económicos respectivamente, ideas que revolucionaron la ciencia del siglo XIX.

Auguste Comte (1798 – 1857) en su libro “curso de filosofía positiva” publicado en 1830, contribuyó con su postura epistemológica denominada Positivismo, cuya premisa es considerar al conocimiento científico como el único conocimiento válido y al método científico como la única vía para llegar a él, es decir, decretó un monismo metodológico que excluye otro tipo de conocimientos como el conocimiento tradicional que poseen los pueblos originarios. Ante los significativos avances en Física, Química, Biología, Comte propuso a la Sociología como una nueva ciencia natural, que estudiaba las sociedades bajo los preceptos deterministas de su época. El objetivo de la sociología fue generar el conocimiento necesario para guiar a las sociedades hacia su orden y progreso. A partir de la sociología, Comte buscó hallar las leyes universales de la sociedad, de forma semejante a las ciencias naturales, sin embargo, no ocurriría así debido a que la sociedad es un fenómeno que surge de procesos de mayor complejidad en comparación con las otras ciencias naturales.

La integración de las sociedades como un ente a estudiar allanó el camino hacia la concepción de los niveles de organización de la materia, donde las sociedades emergen como un nivel superior en complejidad que los anteriores.

En el siglo XIX se realizaron importantes avances en el conocimiento que revolucionaron los paradigmas científicos (hablando en términos de Kuhn). Por ejemplo, la evolución de las especies propuesta por Charles Darwin (1809 – 1882) rompió con la verdad religiosa cristiana escrita en el Génesis y propuso la relación entre elementos biológicos incluyendo a los factores biofísicos de su entorno, y que los cambios surgidos entre esta relación a través del tiempo devendrían en la evolución de las especies. Ideas como la de Darwin construyeron lazos entre los diferentes tipos de vida conocida y su entorno biofísico que forma parte de la *res extensa*.

Herbert Spencer (1820 – 1903) asimiló a la sociedad como un organismo vivo, y lo observó desde una perspectiva naturalista, aplicando ideas de las ciencias naturales a la sociedad. Ello le llevó a dejar de lado atributos como la cultura que posteriormente sería criticado por las ciencias sociales.

La incipiente especialización de las ciencias del siglo XIX repercutió en el perreo de ideas entre ciencias, y el concepto de Metabolismo Social es un ejemplo de ello. Surgido en 1887 por Marx y Engels quien adoptó el concepto biológico del holandés Jacob Moleschott (1822) a la realidad social. Marx y Engels aplicaron el concepto de metabolismo social a las bases materiales de los fenómenos socioeconómicos. Esta relación entre la sociedad y sus bases materiales es un paso para diluir el dualismo ontológico de Descartes.

2.1.3 Camino hacia la sutura de las ciencias

A partir de los revolucionarios descubrimientos en el campo de la física del siglo XX los paradigmas científicos del pasado entraron en conflicto, por ejemplo, con el desarrollo de la física moderna el mecanicismo newtoniano y sus implicaciones deterministas se pusieron en duda. Otro ejemplo ocurre en la

primera mitad del siglo XX con Erwin Schrödinger (1887 – 1961) quien en su libro “¿Que es la vida?” publicado en 1944, imaginó a la vida como un fenómeno que se determina a partir de la información codificada en una molécula cristalina y por ende con estructura estática. Tan solo 20 años después Watson y Creek determinaron la forma de la molécula de la vida (el ADN), una molécula no cristalina, sin estructura estática surgida por el orden dinámico, que se acopla a las ideas Ilya Prigogine (1917 – 2003) con las estructuras disipativas. Prigogine interpretó a la vida como estructuras disipativas de energía que se encuentran en estado de equilibrio dinámico, en otras palabras, la vida solo existe gracias a los procesos de disipación constante de energía que provocan flujos constantes de materia.

El tema de la vida es relevante en la concepción de la relación sociedad-naturaleza, ya que, si los humanos (seres vivos) emergen de los procesos naturales, ¿Dónde está la escisión entre lo humano y lo que no lo es?, el ser humano también es naturaleza y los procesos que emergen del individuo y de la sociedad también lo son. Procesos como las ideas o la cultura también lo son, aunque estos no se expliquen con las mismas reglas que explican los fenómenos naturales más simples. En este sentido, incluso Prigogine fue crítico con la idea de concebir a las ciencias y a la filosofía de forma separada.

En 1968 se publica el libro de la Teoría General de Sistemas (TGS) de Ludwig Von Bertalanffy (1901 – 1972). Esta Teoría surge a partir de la síntesis de ideas como: la de Talcott Parsons, que en 1937 propuso los conceptos como de estructura, función, tensión y sistema, presentes en su libro “La estructura de la acción social”; el término de ecosistema acuñado por el botánico inglés Arthur Stanley en 1935; y desde la psicología, con la teoría de la Gestalt que aportó con elementos clave para la comprensión y construcción de la visión sistémica de Bertalanffy. La TGS según interpreta Flórez & Thomas (1987) pretende romper con la escisión ontológica, en cambio, considera que la realidad es integral, unificada, totalizante, y sin divisiones. Esta teoría busca formular principios válidos para todos los sistemas (antes llamados objetos),

independientemente de cual fuere la naturaleza de sus componentes y las fuerzas interactivas o de organización presentes en los mismos (Flórez & Thomas, 1987). En este sentido Bertalanffy (1976) mencionó lo siguiente:

No solo se parecen en aspectos y puntos de vista generales en diferentes ciencias, con frecuencia hallamos leyes formalmente idénticas o isomorfas en diferentes campos. En muchos casos, leyes isomorfas valen para determinadas clases o subclases de <<sistemas>>, sin importar la naturaleza de las entidades envueltas. Parece que existen leyes generales de sistemas aplicables a cualquier sistema de determinado tipo, sin importar las propiedades particulares del sistema ni elementos participantes. (p.37)

La integración de conocimiento académico, técnico y científico se originó con anterioridad a la TGS con la necesidad de articular procesos productivos en el capitalismo, sin embargo, lo innovador de la TGS es su búsqueda por un puente metodológico entre ciencias que permita su integración. (Bertalanffy, 1976, p.32 citado por Flórez & Thomas, 1987).

Jean Piaget (1896 – 1980) constructivista y fundador de la epistemología genética, concibió al conocimiento como una construcción continua y secuencial que se origina desde la biología. Se resalta que, si el conocimiento emerge como un continuo desde la biología, se diluye automáticamente la dualidad heredada desde Descartes, dado que se asume una transición gradual entre lo que se entiende como una expresión de la *res extensa* que sería lo biológico y de la *res cogitans* que sería el conocimiento como producto del pensamiento. García (2000) alude a este punto en su primera de siete tesis de la construcción del conocimiento (véase Cuadro 1):

Cuadro 1 *Las siete tesis de la construcción del conocimiento*

Tesis	Descripción
1	El desarrollo del conocimiento es un proceso continuo que se sumerge en sus raíces en el organismo biológico, prosigue a través de la niñez y de la adolescencia y se prolonga en el sujeto adulto hasta los niveles de la actividad científica.
2	El conocimiento surge en un proceso de organización de las interacciones entre un sujeto (“el sujeto de conocimiento”) y esa parte de la realidad constituida por los objetos (“el objeto de conocimiento”)
3	La génesis de las relaciones y las estructuras lógicas y lógico-matemáticas está en las interacciones sujeto-objeto. No proviene del objeto, como abstracciones y generalizaciones de percepciones empíricas, ni del sujeto, como intuiciones puras o ideas platónicas. Su raíz primera está en las coordinaciones de las acciones del sujeto sobre el objeto.
4	Organizar los objetos, situaciones, fenómenos de la realidad empírica (en tanto son objetos de conocimiento) significa establecer relaciones entre ellos. Pero las relaciones causales no son observables: son siempre inferencias. Causalidad y lógica nacen mancomunadas. En un comienzo, las observaciones (que involucran constataciones) y las anticipaciones (que son formas elementales de inferencias) son indiscernibles y se desarrollan en correspondencia. Finalmente adquieren autonomía. Las explicaciones causales (es decir, la búsqueda de razones en las relaciones causales inferidas) consisten en atribuir a la realidad empírica una contraparte ontológica de las relaciones lógicas establecidas en la teoría con la cual explicamos esa realidad.
5	El desarrollo del conocimiento no procede de manera uniforme, por simple expansión, ni por acumulación aditiva de elementos. No es el desarrollo de algo que estaba preformado, ni proviene de la agregación y elaboración de elementos recibidos por la experiencia. El desarrollo tiene lugar por reorganizaciones sucesivas. Esto significa que la elaboración de los instrumentos cognoscitivos del sujeto procede por etapas.
6	En todo dominio de la realidad (físico, biológico, social) las interacciones del sujeto con los objetos de conocimiento dan lugar a procesos cognoscitivos que se construyen con los mismos mecanismos, independientemente del dominio. Por consiguiente, en tanto se trate de la asimilación de objetos de conocimiento, no hay dicotomía, en el psicogenético, entre los fenómenos del mundo físico y los fenómenos del mundo social.
7	El sujeto de conocimiento se desarrolla desde el inicio en un contexto social. La influencia del medio social (que comienza con la relación familiar) se incrementa con la adquisición del lenguaje y luego a través de múltiples instituciones sociales, incluida la misma ciencia. Su acción se ejerce condicionando y modulando los instrumentos y mecanismos de asimilación de los objetos de conocimiento, así como el aprendizaje.

Fuente: (R. García, 2000)

Las ideas de Bertalanffy, Prigogine y Piaget influenciaron a Rolando García (1919 – 2012) quien sintetizó aquellas teorías y desarrolló el fundamento epistemológico de su propia Teoría de los Sistemas Complejos en la obra denominada “El conocimiento en construcción: De las formulaciones de Jean Piaget

a la teoría de sistemas complejos” publicada en el año 2000, posteriormente publicó su obra “Sistemas Complejos” en el 2006.

La hipótesis de Gaia concebida por James Lovelock (1919 – 2022), publicada en 1979 entendió al planeta Tierra como un enorme sistema autorregulado, homeostático¹⁷, donde dicha autorregulación ocurre a partir de la relación entre factores bióticos y abióticos que crean condiciones favorables para mantener la vida en la tierra, que en palabras simples La Tierra es similar a un ser vivo conformado por todos los sistemas que contiene. La sociedad humana es sólo un sistema más dentro del sistema Gaia, por lo que solo seríamos un elemento de ella y no algo diferente, por lo tanto, no hay separación entre sociedad y naturaleza.

En el presente trabajo de investigación se coincide con la postura constructivista de Rolando García, que fundamenta su visión del trabajo interdisciplinario, la transdisciplina y el abordaje de los sistemas complejos. De igual manera se coincide con que no solo la realidad estudiada es un sistema complejo, sino el conocimiento generado también lo es.

2.2 Los Sistemas Complejos desde la perspectiva de Rolando García

“La vida en sociedad está organizada alrededor de sistemas complejos en los cuales, y por los cuales, el hombre trata de proporcionar alguna apariencia de orden a su universo”.

John P. Gigch (1987)

Desde el enfoque ingenieril un sistema habitualmente se define con una caja negra sujeta a entradas y salidas de flujos (Gigch, 1987). Sin embargo, desde la Teoría de Sistemas complejos de Rolando García (2006) el concepto de sistema se enuncia como a todo conjunto organizado que tiene propiedades como totalidad, mismas que no resultan aditivamente de las propiedades de los elementos constituyentes

¹⁷ Homeostasis es el conjunto de fenómenos de autorregulación, conducentes al mantenimiento de una relativa constancia en la composición y las propiedades del medio interno de un organismo.

(R. García, 2006). La organización del sistema deriva del conjunto de relaciones entre sus elementos, y ahí se incluyen las relaciones entre las relaciones (R. García, 2006).

Para el planteamiento o construcción de un sistema se inicia a partir de la concepción de que un “sistema es una representación de un recorte de la realidad “y se compone de elementos o subsistemas que son abstracciones, interpretaciones y conceptualizaciones del material empírico¹⁸ del dominio de los fenómenos o situaciones constituyentes del objeto de la investigación (R. García, 2006). La organización del material empírico se realiza a partir de inferencias que vinculan a los procesos que concurren con el tipo de actividades que caracterizan el funcionamiento¹⁹ del sistema (García, 2006, p.144 y p.182).

Para pasar de la definición de sistema a la de sistema complejo es necesario incluir las características de heterogeneidad e interdefinibilidad para sus elementos y subsistemas. Bajo esta premisa (R. García, 2006) define un sistema complejo como “Un sistema en el cual los procesos que determinan su funcionamiento son el resultado de la confluencia de múltiples factores que interactúan de tal manera que el sistema no es descomponible sino sólo semidescomponible” ... “Por lo tanto, ningún sistema complejo puede ser descrito por la simple adición de estudios independientes sobre cada uno de sus componentes” (p.182).

2.2.1 El marco epistémico como punto de partida

Para plantear a un sistema complejo Rolando García precisa que “el punto de partida se da por el marco epistémico” (García, 2006, p. 47) , y desde este se establece el tipo de interrogantes que el investigador se plantea respecto al dominio de la realidad que se ha propuesto estudiar. Dicho marco representa cierta concepción del mundo y en muchas ocasiones expresa la jerarquía de valores del investigador.

¹⁸Material empírico se refiere a observaciones, hechos, procesos relacionados con la investigación.

¹⁹ La función está siempre ligada a una actividad particular que, junto con otras funciones y otros órganos (subsistemas), participa en la actividad general del sistema, es decir, en el funcionamiento del sistema (García, 2006, p.144).

Las categorías sociales bajo las que se formula una pregunta inicial de investigación no constituyen un hecho empírico observable sino una construcción condicionada por el marco epistémico (García, 2006, p.35-36).

El Marco Epistémico también se puede entender como una “condición de contorno” del subsistema social sobre el subsistema psicológico-cognitivo, y eventualmente sobre el subsistema biológico (Castorina, 2019). Bajo los mismos conceptos de García también se podría decir que si el conocimiento científico es un sistema complejo, el marco epistémico es el contorno de aquel conocimiento. Becerra & Castorina (2016) sintetizan el concepto de marco epistémico en los siguientes tres puntos:

1. El marco epistémico se origina en una cultura situada, es decir, es un producto de factores históricos de naturaleza sociopolítica y filosófico-religiosa de un lugar y un tiempo específicos. Sin embargo, como sucede con la noción de cultura, sus límites son difusos.

2. El marco epistémico refiere a una cosmovisión del mundo, una concepción o visión de la naturaleza y de la sociedad. Se trata en todos los casos de sistemas de ideas de carácter muy general que, por rara vez explicitadas y forma parte del sustento ideológico de su época, escapan a críticas detalladas. Por ejemplo, el taoísmo de la edad clásica china o el naturalismo mecanicista del siglo XVIII-XIX en occidente.

3. En relación con la ciencia, el marco epistémico condiciona el “recorte” que se hace de la realidad, indicando ciertos problemas y dominios de aplicación de la teoría, así como promoviendo ciertos tipos de explicaciones y constituyendo “obstáculos epistemológicos” (Bachelard, 2000) para enfocar ciertos problemas. Sin embargo, es importante remarcar que no se trata de un estímulo o rechazo de ciertos “temas”, sino de cómo la concepción del mundo vuelve a ciertas problemáticas y enfoques naturalmente científicas o no (Piaget y García, 1982: 231). Así, por

ejemplo, la interpretación dialéctica del taoísmo en los términos de un mundo como un organismo en constante fluir pudo haber constituido un “obstáculo epistemológico” a la matematización de la física en el mundo oriental, a diferencia de Occidente.

El marco epistémico influye como el investigador define y construye el sistema complejo, es decir, la concepción de la realidad del investigador se relaciona con el sistema complejo que define, y que representará a los actores principales y actividades más significativas del complejo empírico (González, 2018). El marco epistémico guiará las preguntas de investigación, que a su vez determinarán los objetivos de la investigación (R. García, 2006).

2.2.2 Sistemas Complejos

García (2006) expresa que en ningún caso el investigador o equipo de investigadores se ve en presencia de un “sistema” ya dado, sino que una parte fundamental de la investigación es el esfuerzo por construir (conceptualizar) dicho sistema, que como ya se había mencionado es un recorte más o menos arbitrario de la realidad sin límites ni definiciones precisas. Esta construcción de sucesivos modelos es un proceso que García (2006) denomina aproximaciones sucesivas. Para la construcción del sistema complejo es importante que sean definidos sus elementos más significativos y sus límites, que dependerán de los objetivos de la investigación. Dichos elementos son abstraídos del complejo empírico²⁰ (García, 2006, p.181) y corresponden a unidades complejas (subsistemas) que cumplen una función dentro del sistema

²⁰ Al conjunto de datos empíricos que entran en el recorte lo que he designado complejo empírico (García, 2006, p.181).

total. Después se infiere el conjunto de relaciones entre los elementos que constituyen la estructura²¹ del sistema (García, 2006, p.181 y p.152).

El análisis de los elementos requiere su análisis, por lo que es necesario tomar en cuenta las relaciones e interacciones entre ellos y con sus condiciones de contorno²² o condiciones en sus límites. El conjunto de las funciones de los subsistemas definirá el funcionamiento total del sistema (R. García, 2006).

En el mismo orden de ideas García (2006) y Castañares Maddox (2009) indican que un sistema complejo se conforma por los siguientes componentes básicos.

- Límites y condiciones de contorno
- Elementos y subsistemas
- Funciones y estructura
- Niveles de Procesos y escalas espaciales y temporales
- Estructura y funcionamiento del sistema
- Análisis diacrónico-desestructuración y reestructuración que explica las propiedades estructurales del sistema complejo.

García (2006) considera que el concepto de sistema complejo es fundamental en el análisis, representación y definición de fenómenos o problemas complejos, como la base esencial sobre la que se relaciona el funcionamiento del sistema y su estructura, la organización de las situaciones o fenómenos

²¹ Los elementos del sistema suelen constituir “unidades” también complejas (subsistemas) que interactúan entre sí. Las relaciones entre los subsistemas adquieren importancia fundamental no solamente porque, como ya se ha dicho, ellas determinan la estructura del sistema (que -conviene insistir- está dada por el conjunto de relaciones, no por los elementos) (García, 2006, p.181). Las estructuras no son consideradas como “formas” rígidas en condiciones de equilibrio estático, sino como el conjunto de relaciones dentro de un sistema organizado que mantiene en condiciones estacionarias (para ciertas escalas de fenómenos y escalas de tiempo), mediante procesos dinámicos de regulación (García, 2006, p.152).

²² Las condiciones en los límites o condiciones de contorno se refieren al conjunto de interacciones o flujos que trascienden los límites del sistema construido (límites geográficos o conceptuales) (R. García, 2006).

que tienen múltiples determinaciones y están integrados por elementos heterogéneos²³ e interdefinibles²⁴, los cuales son una variedad de procesos²⁵ que constituyen una totalidad organizada. Y a partir de lo anterior la interdefinibilidad y mutua dependencia de las funciones que desempeñan dentro de una totalidad la que determina la complejidad (González, 2018).

(Castañares Maddox, 2009) expresa lo siguiente en relación con la construcción del sistema:

Una vez que se establece la pregunta conductora se inicia el proceso mediante el cual se definen los componentes analíticos del sistema complejo; límites, condiciones de contorno y elementos. Todo proceso cognitivo occidental supone abstraer de la realidad algunos de sus componentes. El problema no reside en abstraer fragmentos de la realidad sino en saber cómo hacerlo. En la perspectiva sistémica esa abstracción se inicia con la revisión minuciosa de todos los estudios precedentes de los que se puede disponer y se hace una primera propuesta provisional de los espacios, tiempos y actores considerados como indispensables para estudiar el desarrollo de la problemática socioambiental (p. 18)

La evolución de un sistema complejo no ocurre mediante procesos continuos y lineales, sino que los cambios ocurren con reorganizaciones sucesivas generadas a partir de desequilibrios del sistema (R. García, 2006). Estas reestructuraciones ocurren en periodos de tiempo donde existe equilibrio dinámico relativo, es decir, son periodos donde el sistema mantiene su estructura fluctuando entre ciertos límites

²³ Al referirse a elementos heterogéneos en interacción significa que sus subsistemas pertenecen a los dominios materiales de muy diversas disciplinas (R. García, 2006).

²⁴ La no-descomponibilidad de un sistema complejo se debe a lo que hemos llamado interdefinibilidad e sus componentes. La investigación del sistema se realiza por un equipo multidisciplinario, con una metodología de trabajo que debe lograr una integración interdisciplinaria (García, 2006, p.182).

²⁵ Un proceso es un cambio, o una serie de cambios, que constituyen el curso de acción de relaciones que consideramos como relaciones causales entre hechos, Ninguna relación, al igual que ningún observable es resultado de la experiencia directa (García, 2006, p.182).

(R. García, 2006). En relación con esta fluctuación, García (2006) menciona que “las variables sobre las cuales definimos el sistema, con su estructura característica durante un periodo dado, no tienen valores estáticos: *fluctúan* permanentemente del mismo modo en que las interacciones del sistema fluctúan con lo que hemos dejado <<fuera de sus límites>>” (p.78).

Las fluctuaciones en el sistema pueden ser de dos tipos: fluctuaciones a pequeña escala que no alteran las relaciones fundamentales y, por lo tanto, mantienen la estructura del sistema; y fluctuaciones con mayor amplitud, que al exceder cierto límite producen la disrupción en la estructura del sistema (R. García, 2006). La disrupción de la estructura es consecuencia de la inestabilidad del sistema, por lo que, la estabilidad (o la inestabilidad) es propiedad de la estructura del sistema, y es relativa al tipo de fluctuación (o perturbación) que éste sufra. Bajo el mismo orden de ideas, conceptos como el de vulnerabilidad, resiliencia y elasticidad se definen en términos de estabilidad, por lo tanto, son propiedades estructurales del sistema (R. García, 2006).

La Teoría de Sistema Complejos no tiene como propósito el estudio del sistema únicamente en un momento determinado, más bien se propone un estudio histórico (diacrónico) del sistema para analizar y conocer las causas de porqué el sistema alcanzó su estado actual. En este punto García (2006, p.150) menciona que “no es cuestión de reconstruir la historia de la región estudiada, sino de reconstruir la evolución de los procesos principales que determinan el funcionamiento del sistema. La relación entre función y estructura (paralela a la relación procesos y estados) es la clave para entender el fenómeno”. En el sentido de lo mencionado se resalta la frase de Piaget que dice que “no hay estructura sin historia, ni historia sin estructura” (R. García, 2006).

2.2.3 Construcción del sistema complejo

Para el estudio de un Sistema Complejo, (R. García, 2006) propone que este sea definido a partir de tres niveles de procesos con sus correspondientes tres niveles de análisis entre los que existe cierto

grado de autonomía. La identificación de aquellos procesos en una investigación determinada depende, fundamentalmente, del marco epistémico que oriente la investigación, así como de la delimitación de su dominio empírico (R. García, 2006). Los procesos que con escalas espaciales y temporales mayores a la de la problemática estudiada que influyen de manera determinante en el sistema se estudian como contorno del sistema, y se denominan metaprocesos, o procesos de segundo nivel (Castañares Maddox, 2009). Castañares a su vez menciona que la definición de los límites geográficos para un sistema ambiental es irrelevante, el problema reside en que varios de sus procesos ocurren a diversas escalas espaciales y temporales, un ejemplo de ello es el cambio climático, que es un proceso de tercer nivel que influye en la problemática ambiental mundial. En el Cuadro 2 se describen los tres niveles de procesos mencionados.

Cuadro 2 *Tres niveles de análisis para estudiar un sistema complejo*

Procesos	Descripción
Primer nivel	Corresponden al nivel fenomenológico ²⁶ más inmediato. Se incluyen observaciones, mediciones, encuestas, entrevistas, etc., dependiendo de las áreas de trabajo y metodologías de las diferentes disciplinas que intervienen en el estudio (Zahavi, 2003). Ejemplo: Son cambios que afectan el entorno físico, las relaciones socioeconómicas de la población en el área y sus condiciones de vida. En general están asociados con modificaciones e introducidas dentro del sistema productivo de la región.
Segundo nivel o metaprocesos	Son procesos más generales que determinan a los procesos de primer nivel. Ejemplo: Son cambios introducidos dentro del sistema productivo (tales como la introducción de cultivos comerciales, la industrialización o la emergencia de polos de desarrollo) y que genera cambios significativos en los procesos de primer nivel.
Tercer nivel o contorno	Son procesos que determinan a los de segundo nivel. Ejemplo: Son cambios en las políticas de desarrollo nacional, en el comercio internacional, los flujos de capital, etc., que generan cambios en los procesos de segundo nivel.

Fuente: Elaborada a partir de (R. García, 2006).

Castañares Maddox (2009) indica que a partir de las interrelaciones entre los procesos de cada nivel y entre los tres niveles se obtiene la primera aproximación a la estructura del sistema complejo y

²⁶ La fenomenología es el estudio filosófico del mundo en tanto se manifiesta directamente en la conciencia, es decir, el estudio de las estructuras de la experiencia subjetiva (Zahavi, 2003).

una vez que se cuenta con la primera definición de la estructura de sistema ambiental y de los procesos en los tres niveles, se continua con la descripción del funcionamiento del sistema ambiental. Los cambios en la estructura del sistema pueden generarse debido a procesos de niveles más altos también denominados factores externos, o bien por procesos internos del primer nivel. Sin embargo, los cambios estructurales significativos se reconocerán a partir de los cambios en los flujos de contorno (R. García, 2006).

El funcionamiento del sistema no se produce como resultado de una relación lineal de causa-efecto. Los cambios en la actividad del sistema total determinan reacomodos en los elementos o subsistemas que conducen a cambios en la estructura resultante. Los principios de organización y evolución del sistema expuestos por García (2006) se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3 *Principios de organización y evolución del sistema complejo.*

Principios de Organización

Estratificación

Los factores que directa o indirectamente determinan el funcionamiento de un sistema complejo pueden ser distribuidos en niveles estructuralmente diferenciados, con sus dinámicas propias. Los niveles no son interdefinibles, pero las interacciones entre niveles son tales que cada nivel condiciona las dinámicas de los niveles adyacentes.

Articulación interna

El estudio de un sistema complejo comienza generalmente con una situación particular o con un conjunto de fenómenos que tienen lugar en cierto nivel de organización que he designado como un nivel base. Los factores que actúan en dicho nivel corresponden a cierto tipo de procesos y a ciertas escalas de fenómenos agrupables en subsistemas constituidos por elementos entre los cuales hay un mayor grado de interconexión con respecto a otros elementos del mismo nivel. Estos subsistemas funcionan como totalidades, las cuales están articuladas por relaciones que, en su conjunto, constituyen la estructura de este nivel particular del sistema.

Condiciones de contorno

Las interacciones entre niveles tienen lugar por medio de distintos tipos de influencias, no siempre materiales, que he designado, en forma genérica, bajo el término de flujos. Los flujos pueden ser de materia, de energía, de información, de políticas, etc. Al conjunto de tales interacciones que ejercen influencia sobre el nivel dado lo he designado como condiciones de contorno o condiciones límite (o “en los límites”) de dicho nivel.

Principios de Evolución

Desequilibrio y reequilibrarían

Los sistemas complejos sufren transformaciones en su desarrollo temporal. Esta evolución peculiar de los sistemas abiertos no sólo tiene lugar por procesos que modifican el sistema de forma gradual y continua, sino que procede por una serie de desequilibrios y reequilibraciones que conducen a sucesivas reorganizaciones.

Equilibrio dinámico

Después de cada organización, el sistema puede permanecer con una estructura en relativo equilibrio dinámico con fluctuaciones que se mantienen dentro de ciertos límites, hasta que una perturbación, que exceda dichos límites, desencadene un nuevo desequilibrio.

Fuente: Elaborado a partir de (R. García, 2006)

Referente al proceso de evolución procesos de evolución del sistema, se sobrescribe la importancia del estudio diacrónico a partir de lo mencionado por Castañares Maddox (2009):

Quando las perturbaciones generan una reorganización de las relaciones funcionales entre los subsistemas, estamos ante un proceso de génesis de otra estructura. Las perturbaciones generan una transformación por desestructuración y estructuración mediante la cual el sistema ambiental adquiere, por tanto, otro funcionamiento convirtiéndose en otro sistema. Por ello, si

queremos explicar el funcionamiento del sistema ambiental es necesario el estudio diacrónico (histórico) de aquellos procesos que generaron la nueva estructura que hacen posible este funcionamiento. (p.19)

La Teoría de Sistemas Complejos que propone Rolando García ayuda a plantear y analizar de forma general un sistema socioambiental, tal como si se tuviera un lienzo en el cual se trabajará con teorías y conceptos específicos. En el caso de la presente investigación es el Metabolismo Hídrico Urbano, que se refiere a un sistema complejo centrado en los flujos hídricos de una ciudad, y por tal motivo se procede a su descripción.

2.3 Los conceptos de Metabolismo Social, Metabolismo Urbano y Metabolismo Hídrico Urbano

El Metabolismo Hídrico Urbano se centra en el estudio de los flujos hídricos de una ciudad, y es un subsistema del Metabolismo Urbano, el cual, comprende el total de flujos materiales, energéticos y de información que fluyen en dicha ciudad. El Metabolismo Social es un concepto más amplio que engloba a todos al Metabolismo (no solo de la ciudad) de todos los tipos de asentamiento, que se incluyen los rurales o industriales (González de Molina & Toledo, 2014). Basado en lo anterior, primero se describió el concepto de Metabolismo Social, después el de Metabolismo Urbano y finalmente el Metabolismo Hídrico Urbano.

2.3.1 Información bibliométrica de los conceptos centrales

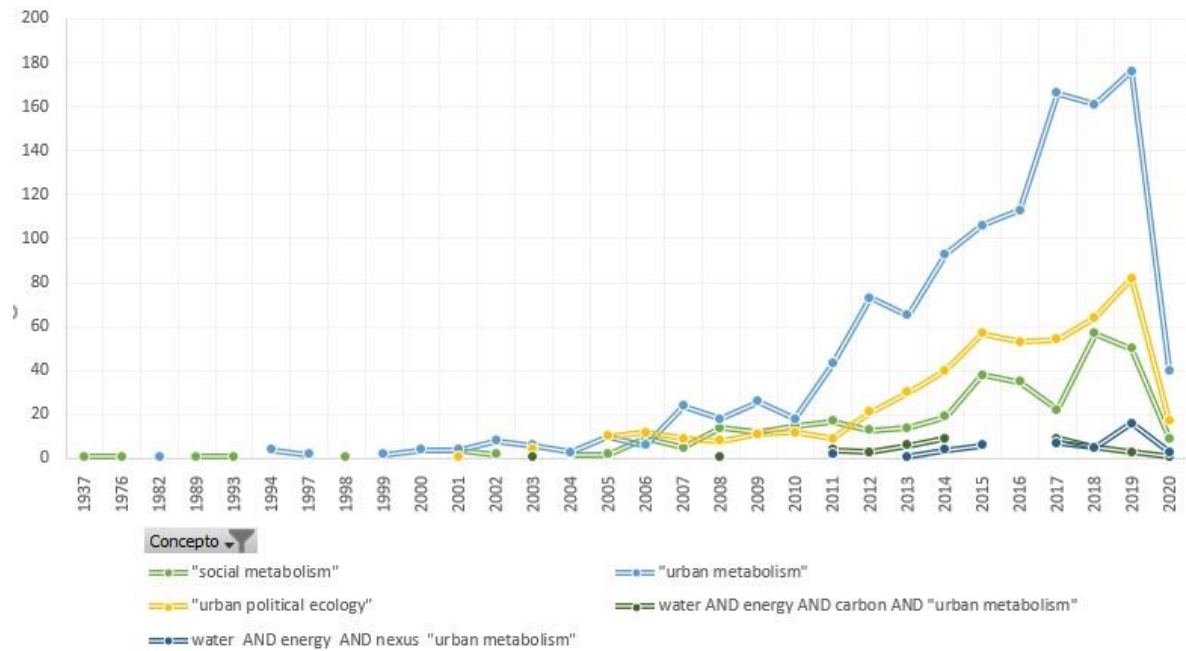
La primera mención del concepto de Metabolismo Urbano ocurrió en el reconocido artículo de Abel Wolman (1965) donde describió una simulación de los flujos más importantes de una ciudad hipoté-

tica de un millón de habitantes, a la par que describió el consumo de agua de algunas ciudades estadounidenses, señalando al flujo hídrico como el de mayor magnitud en la ciudad en comparación al resto de materiales consumidos. A partir de aquella primera mención, el concepto de Metabolismo Urbano se utilizó con poca frecuencia en la literatura hasta pasado el año 2000.

Basado en los registros de Scopus y The Web of Science se realizó la gráfica de la Figura 9, donde se muestra el desarrollo en el tiempo de la frecuencia de las menciones del concepto de Metabolismo Urbano y otros conceptos relacionados como el Metabolismo Social o los nexos urbanos. Las fuentes de información son los registros de Scopus y Web of Science. Se observa como el concepto desde 1937 se menciona por primera vez el concepto de “social metabolism”. El concepto de “urban metabolism” se mencionó por primera vez hasta 1982, el concepto de “urban political ecology” aparece hasta 2001, el concepto de “wáter AND energy AND nexus” más el concepto de “urban metabolim” hasta 2003, y los conceptos “wáter AND energy AND carbon” más el concepto de “urban metabolism” aparecen hasta 2013. Es notorio como el concepto de metabolismo social es anterior al resto conceptos y conforme transcurre el tiempo las investigaciones se complejizan al integrar la relación entre conceptos relacionados con la energía o la política.

En la serie además se observan dos incrementos en la frecuencia de menciones del concepto de Metabolismo Urbano, el primer incremento inicia entre 2005 a 2007 y el segundo inicia en 2010 donde su crecimiento es mucho mayor hasta alcanzar casi dos centenas de menciones por año en 2019. El segundo crecimiento se sincroniza con el crecimiento en las menciones de otros conceptos como el de la Ecología Política Urbana, aunque lo hace en menor grado en comparación con el concepto del Metabolismo Urbano. El concepto de Metabolismo Social, a pesar de ser el más antiguo también presenta un leve crecimiento, pero es menor al de los dos anteriores.

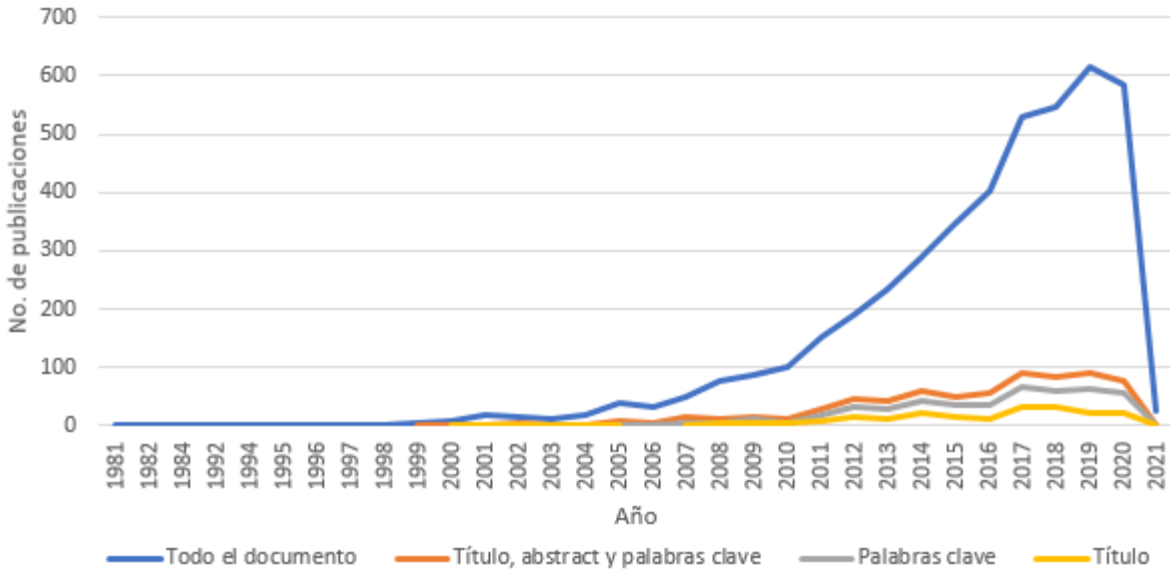
Figura 9 Numero de publicaciones registradas en The Web of Science y Scopus del concepto de Metabolismo Urbano y otros relacionados.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Scopus y The Web of Science en 2020.

En los registros de Scopus el concepto de Metabolismo Urbano se mencionó por primera vez en 1981. Si la búsqueda del concepto se aplicó a todo el documento resultó en la coincidencia de 4400 publicaciones durante el periodo de 1981 a 2021, de estos documentos 3,173 fueron sido artículos científicos. Si se acota la búsqueda al título coincidieron 220 publicaciones donde 149 corresponden son artículos. Al acotar la búsqueda con las palabras clave se encontraron 473 publicaciones de las cuales 363 son artículos. Y cuando la búsqueda se acotó simultáneamente con el título o palabras clave o el abstract se obtuvieron 720 publicaciones de las cuales 526 son artículos (Véase Figura 10).

Figura 10 Evolución de las publicaciones de metabolismo urbano en Scopus 1981-2020.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Scopus.

De acuerdo con Scopus, el concepto de Nexo agua-energía-carbono es más reciente que el de metabolismo urbano. Al aplicar la ecuación de búsqueda ((((" water-energy-greenhouse gas ") OR (water-energy-carbon) OR (water-energy-GHG) OR (WEC)) AND nexus)) en Scopus, se obtuvo que un total de 405 publicaciones coincidentes dentro de las cuales 285 son artículos científicos en el periodo de 2003 a 2021. Al acotar la búsqueda al "título", y simultáneamente "título, abstract y palabras clave", se obtuvo que hay 14, 13 y 26 publicaciones de las cuales 12, 12 y 23 son artículos científicos respectivamente en los que se ha existido alguna mención alrededor del concepto. El análisis de la evolución en el tiempo de estos datos muestra como es a partir de 2014 que se realizaron las publicaciones que se centraban en el concepto de NAEC, lo mencionado se muestra en la Tabla 1 y la Figura 11.

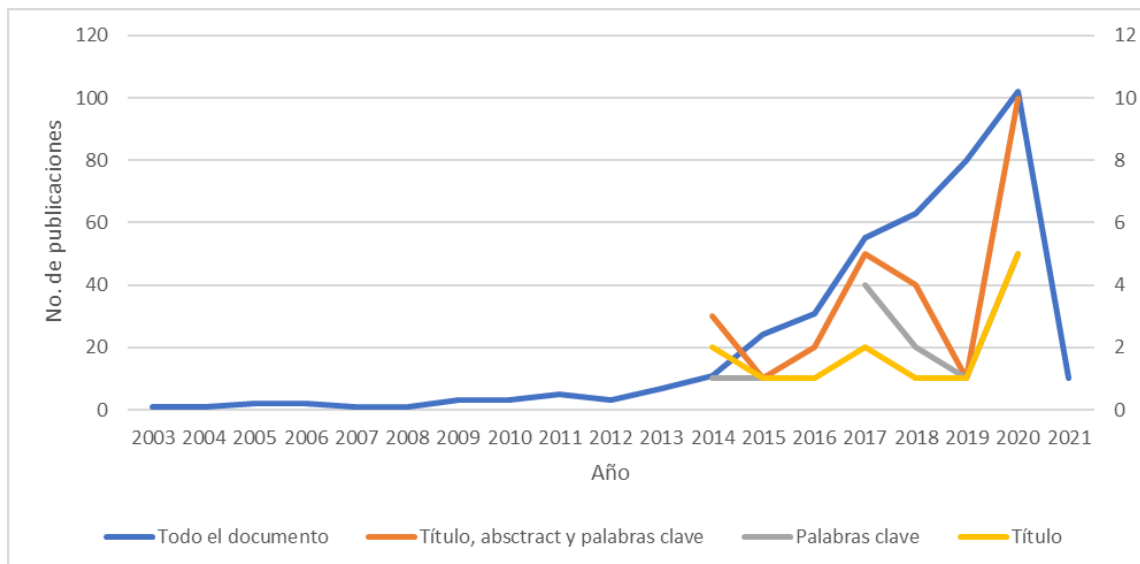
Tabla 1. Número de publicaciones de Nexo agua-energía-carbono en Scopus.

Etiquetas de fila	Todo el documento	Título, abstract y palabras clave	Palabras clave	Título
2003	1			
2004	1			
2005	2			
2006	2			
2007	1			
2008	1			
2009	3			
2010	3			
2011	5			
2012	3			
2013	7			
2014	11	3	1	2
2015	24	1	1	1
2016	31	2	4	1
2017	55	5	2	2
2018	63	4	1	1
2019	80	10	5	5
2020	102			
2021	10			

Fuente: Búsqueda en Scopus

Los datos de la tabla anterior se grafican en la Figura 11.

Figura 11. Evolución del concepto de nexo agua-energía-carbono en Scopus 2003 a 2021.

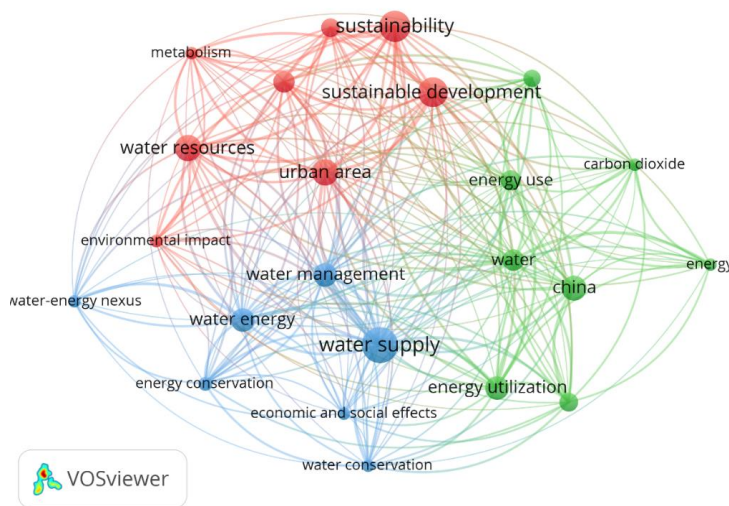


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Scopus.

Nota: El eje primario corresponde a la línea denominada “todo el documento”, las otras tres líneas se relacionan con el eje secundario.

El origen del concepto de Nexo agua-energía-carbono no tiene relación forzosa con el metabolismo urbano, ya que, se enfoca principalmente en la eficiencia hídrica y energética de los sistemas que proveen agua (Duan & Chen, 2016). Sin embargo, al realizar una investigación que observe el Nexo Agua Energía Carbono desde el enfoque del Metabolismo Urbano, se hace obligada e incluso obvia su relación. Para hacer evidente esta relación se aplicó la siguiente ecuación de búsqueda en Scopus (ALL(((((" water-energy-greenhouse gas ") OR (water-energy-carbon) OR (water-energy-GHG) OR (WEC)) AND nexus AND ("urban metabolism" OR metabolism)))) AND DOCTYPE(ar)). Es decir, se buscó la intersección entre las publicaciones que hicieran mención simultánea de ambos conceptos en todo el documento y acotado solo a artículos científicos. Se obtuvo un resultado de 71 artículos. La base de datos se analizó en VOSviewer²⁷ (Véase la Figura 12 y la Tabla 2).

Figura 12 Grafo de relación de los conceptos de Metabolismo Urbano y Nexo Agua-Energía-Carbono.



²⁷ VOSviewer es un software para construir y visualizar redes a partir de análisis bibliométricos (<https://www.vosviewer.com/>)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Scopus.

En el grafo se observa que la palabra clave que más se repite en la literatura es la del suministro de agua (Water Supply). En segundo y tercer lugar se encuentran las palabras Sustentabilidad (Sustainability) y Desarrollo Sustentable (Sustainable Development), lo cual se interpreta como que una importante parte de los artículos se enfocan a partir de la sustentabilidad en el sistema de dotación de agua de las ciudades. La mayoría de las palabras claves se relacionan con los recursos naturales como el agua y energía o hacen relación al carbono, mismo que se vincula con el cambio climático. Sin embargo, se considera importante resaltar que en las 24 palabras clave con mayor relevancia en los artículos, solo las palabras “toma de decisiones” (Decision Making) y “económico y efectos sociales” (Economic And Social Effects), palabras que hacen referencia a la parte social del problema. Es decir, no solo se enfocan a la sección biofísica del problema sino también se presta atención a los efectos socioeconómicos. El hecho de que existan relativamente pocas menciones de factores socioeconómicos en torno al tema del nexo agua-energía-carbono, se considera como un nicho de oportunidad para la investigación desde las ciencias ambientales.

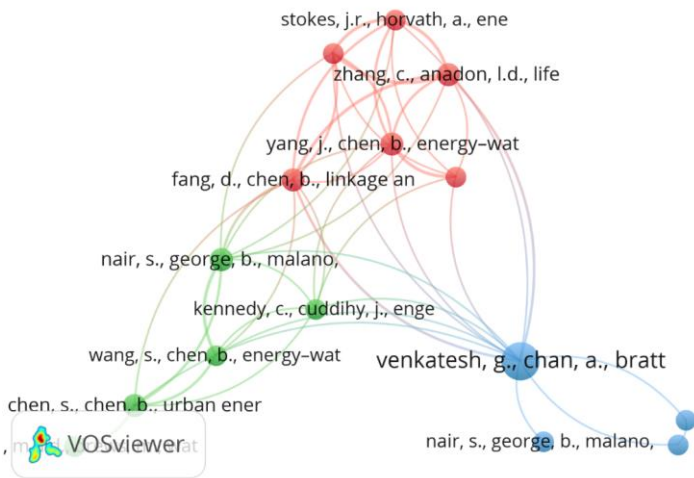
Tabla 2. Número de ocurrencias derivado del análisis bibliométrico de la literatura científica indexada en Scopus sobre metabolismo urbano y Nexa agua-energía-carbono

KEYWORD	Ocurrencia	KEYWORD	Ocurrencia
Water Supply	23	Energy Use	13
Sustainability	20	Decision Making	12
Sustainable Development	19	Water Use	12
Article	17	Water Resource	11
Urban Area	17	Energy Conservation	9
Water Resources	17	Carbon Dioxide	8
China	16	Economic And Social Effects	8
Energy Utilization	15	Energy	8
Water Energy	15	Environmental Impact	8
Water Management	15	Metabolism	8
Climate Change	14	Water Conservation	8
Water	14	Water-energy Nexus	8

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Scopus.

con los datos del registro de Scopus, al realizar un grafo enfocado en la co-citación de las publicaciones de Nexo Agua-Energía-Carbono Respecto a los artículos con mayor relevancia en la literatura se encuentran el de Venkatesh *et al.*, (2014), quien resume el MHU de cuatro ciudades, estima su nexos con la energía y el carbono y evalúa su relación con algunas características propias de la ciudad, véase la Figura 13.

Figura 13 Análisis de co-citación de las publicaciones de Nexo Agua-Energía-Carbono



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Scopus.

2.3.2 Desarrollo histórico del concepto de Metabolismo Social o Socioeconómico

La palabra metabolismo es un neologismo decimonónico creado por el naturalista prusiano Theodor Schuan (1810-1882), quien se basó en las palabras griegas *metabole* que significa cambio, transformación o variación, y el sufijo *ismo* que significa proceso, estado, cualidad, actividad, doctrina, sistema, para conceptualizar la cualidad de los seres vivos de transformar químicamente la naturaleza de ciertas sustancias. Los textos franceses en la década de 1860 utilizaron el término *le métabolisme*. El término fue introducido al inglés por Michael Foster en su obra *Textbook of Physiology* en 1878. En la actualidad al

metabolismo se le conoce como al conjunto de transformaciones químicas, físicas y biológica que se realizan en los seres vivos con el fin de producir la energía necesaria para el desarrollo de sus funciones vitales y la síntesis de los componentes de la materia viva²⁸.

El concepto de Metabolismo Social germinó a partir de las nuevas ideas y avances científicos del siglo XIX, como: el concepto de metabolismo biológico surgió en 1851 en la obra del naturalista holandés Moleschott (1822-1893) denominada *Physiologie des Stoffwechsels in Pflanzen und Thieren* (Moleschott, 2012), sobre la fisiología del metabolismo en las plantas y los animales y otro estudio como el de *Der Kreislauf des Lebens* (el círculo o el circuito de la vida) publicado por Moleschott años después (Moleschott, 1852); estudios en el campo de la agricultura como el realizado por el químico alemán Justus Von Liebig (1803-1873); los avances científicos como la formulación de la primera y Segunda Ley de la Termodinámica propuesta por los físicos y fisiólogos J. Rll Mayer (1814- 1878), J. P. Joule (1918-1989), R. Clausius (1822-1888), W. Thomson, alias Lord Kelvin (1824-1907) alrededor de 1950; y la teoría de la evolución propuesta por Charles Darwin.

Estas nuevas ideas decimonónicas influenciaron el pensamiento de Karl Marx (1818-1883) y Engel (1820-1895) quienes adoptaron la palabra metabolismo (*Stoffwechsel*) en distintos pasajes de su obra *El Capital* y otros escritos (Martínez-Alier, 2003). Fue en 1867 cuando Marx y Engles mencionaron por primera vez el concepto de Metabolismo Social, y se definió como la transformación de la naturaleza con el fin de producir valores de uso a partir del “proceso de trabajo” (Fischer-Kowalski, 1998a). No existió seguimiento para este nuevo concepto de Marx, más bien, surgieron ideas de forma independiente desde diferentes campos del conocimiento que se aproximaron a dicho concepto. Fischer-Kowalski (1997b, 1998a, 1998b) a finales del siglo XX resumió en un capítulo del libro “Handbook of Environmental Socio-

²⁸ Basado en información de <https://deconceptos.com/ciencias-naturales/metabolismo>

logy” los procesos de desarrollo del concepto metabolismo social, presentándolo como un concepto estelar para analizar los flujos materiales, y la trayectoria histórica del método de contabilidad de flujos materiales (MFA por sus siglas en inglés).

La importancia de la Energía y su relación con la sociedad surgen importantes ideas como la de Herber Spencer (1820-1903) en 1862, quien consideró que los excedentes de energía logrados por ciertas sociedades definían el progreso social, debido a que permite el crecimiento y la diferenciación social, así mismo, los excedentes energéticos brindan la oportunidad de que la población cuente con mayor tiempo para realizar actividades culturales además de las actividades vitales básicas. En 1909 Wilhelm Ostwald (1853 - 1932), pensó que el desarrollo cultural se basaba en la reducción pérdidas de energía libre, es decir, que basó su idea del desarrollo de la sociedad en la eficiencia de los procesos de transformación de energía bruta a energía útil. Mas adelante Max Weber (1864 - 1920) contradijo el postulado de Oswald con el argumento de que la producción manual en realidad es más eficiente que la producción industrial, por lo que, falseó aquel postulado (Fischer-Kowalski, 1998a).

Sir. Patrick Geddes (1854 - 1932) en 1902 fue el primer científico que se aproximó empíricamente al metabolismo socioeconómico, quien propuso que la economía debía transformarse a una economía basada en la energía y los recursos. Para ello propuso una tabla ecológica donde se registraban las entradas y salidas de materia y energía en tres etapas, que son: la extracción de combustibles y materias primas, la fabricación y finalmente el transporte e intercambio. Geddes halló en términos materiales que el producto final de todo el proceso es muy pequeño en comparación con los insumos materiales y energéticos invertidos en su producción, es decir, este método antecede a las huellas ecológicas utilizadas hoy en día.

El químico Frederick Soddy (1877 - 1956) propuso que la energía es un factor limitante para el desarrollo de las sociedades, ello vinculaba al desarrollo social con los principios de la termodinámica. En 1902 el economista y sociólogo Werner Sombart (1863 – 1941) reconoció que la energía tiene relevancia

social, y que de alguna forma son codependientes entre sí. En 1956 Frederick Cottrel (1877 – 1948) retomó la idea de las limitantes energéticas en las actividades humanas y agregó que los cambios políticos, sociales, económicos y psicológicos en la población también influyen en su desarrollo, y esta influencia se suscita cuando una sociedad transita de baja energía a alta energía (Fischer-Kowalski, 1998a).

La disciplina denominada Ecología Humana se propuso por la Escuela de Chicago y concibió a los fenómenos sociales fuera a la influencia de las condiciones y procesos naturales en las sociedades humanas, por lo que en ella se manifestaba aun la escisión entre la sociedad y la naturaleza. En 1959 Otis Dudley Duncan (1921 - 2004) utilizó el término de complejo ecológico en el modelo POET para referirse a la interdependencia entre la Población, la Organización, el Ambiente y la Tecnología, sin embargo, para la categoría del ambiente se redujo a una variable social y no aludió a las características físicas que actualmente se consideran en el concepto ambiente (Fischer-Kowalski, 1998a). Es evidente como el recorte entre sociedad y naturaleza se manifestó en algunas de las propuestas anteriores y por lo tanto, son percepciones ontológicamente incompletas de la realidad socioambiental.

En las ciencias sociales algunos ejemplos de ideas cercanas a la metáfora del Metabolismo Social son como la de Henry Morgan (1818 – 1881) quien, en 1877 con influencias del evolucionismo Darwiniano y desde la antropología-ecología concibió que el progreso histórico universal como una sucesión de las condiciones sociales más naturales denominadas bárbaras hacia las más avanzadas y denominadas como civilizadas. En 1949 Leslie White propuso que la evolución cultural ocurre conforme incrementa la cantidad de energía aprovechada per cápita anual, o aumenta la eficacia de los medios instrumentales que ponen la energía en funcionamiento, es decir, su idea es una teoría metabólica de la evolución cultural (Fischer-Kowalski, 1998b).

En 1955 Murphy y Steward, notaron que en la interacción de las grandes economías con las pequeñas existe una mayor influencia de las primeras sobre las segundas donde se transforman los procesos económicos y con ello generan dependencia de las economías más pequeñas hacia las más grandes, y ello

incluye la transformación de su metabolismo. Ben Orlove en 1980 observó que la organización social y cultural de las poblaciones y sus adaptaciones funcionales les permitían explotar su entorno natural con éxito, sin exceder su capacidad de carga (Fischer-Kowalski, 1998a). Con esta última idea se vincula a la cultura con el metabolismo social de una población. Desde la Geografía Social y Geología, Perkins y Marsh en 1864 consideraron al hombre como una importante fuerza dinámica que actúa sobre la naturaleza, que a menudo es irracional al destruir la base de su propia subsistencia, convirtiéndolo en un peligro para sí mismo (Fischer-Kowalski, 1998b).

Ordway en 1956 con la teoría de los límites del crecimiento relacionó a los crecientes niveles de vida humana con el incremento en la explotación de los recursos naturales, es decir que conforme la población se procura mayores comodidades se afectan al ambiente de forma proporcional. Además, Ordway observó que el ritmo de consumo de recursos anuales es superior al ritmo de regeneración anual (a pesar de los desarrollos tecnológicos y su eficiencia), por lo que, si se continúa con esta tendencia los recursos básicos tendrán una oferta tan escasa que los costos para su producción serán crecientes y menos rentables. Ordway advirtió que, al llegar a este punto crítico, la expansión industrial cesará, y se habrá alcanzado así los límites del crecimiento. Con ello no solo se observa como los aspectos sociales están condicionados por los biofísicos en su entorno. En relación con lo anterior Boulding en 1966 propuso un cambio en la cosmovisión del crecimiento, que pasó del crecimiento eterno al crecimiento económico industrial finito, y que si no se respetan los límites del crecimiento se implica la destrucción de la vida humana como consecuencia máxima. También concibió a la Econósfera²⁹ (Fischer-Kowalski, 1998b).

El primer ejercicio de Metabolismo Urbano cuantitativo fue hecho por Abel Wolman (1965), quien estudió los requisitos metabólicos de una ciudad y definió como; los materiales y productos necesarios

²⁹ Boulding concibió a la tierra como una nave espacial donde los recursos son finitos, y que la economía solo era un subsistema de lo que se conoce como Biósfera. Pretendió señalar que el crecimiento económico no puede ser ilimitado y solo es una esfera cerrada de la actividad humana.

para sostener las actividades de los habitantes de la ciudad en el hogar, en el trabajo y lúdicas. Wolman precisó que el ciclo metabólico se completa hasta que los desechos y los residuos de la vida diaria de la población urbana se eliminan con un mínimo de molestia y riesgo.

En 1969 Eugenie Ayres y Kneese presentan el programa del análisis de flujos materiales de las economías nacionales, y advirtieron que la economía en gran medida se basa en el consumo desmesurado de bienes comunes libres, y afirmaron que el fracaso de la economía derivó de olvidar que los procesos de producción y consumo que se rigen bajo la primera Ley de la Termodinámica. También realizaron el primer ejercicio el método de contabilidad de flujos materiales (MFA) en Estados Unidos, que a grandes rasgos es la aplicación de la 1ra ley de la termodinámica a un país como sistema social (Fischer-Kowalski, 1998b).

A partir de 1970 se realizaron diversos tipos de investigaciones de Metabolismo Social a nivel global, nacional, regional e incluso a nivel de unidad económica y diversas escalas. En cada tipo de investigación y sistema socioambiental se observaron diferentes particularidades: los límites del sistema son claros en investigaciones de metabolismo a nivel global, debido a que el sistema social es la antroposfera y su contorno es la geo-biosfera; Los estudios a nivel nacional requieren una gran cantidad de datos obtenidos en las instituciones de contabilidad económica propias de cada país. En estos estudios no es posible hacer coincidir los límites del ecosistema con los del país, el cual considera como un subsistema incrustado de la geo-biosfera. Ante esto surgen dificultades como en los sistemas atmosféricos, hídricos entre otros flujos que no se delimitan con las fronteras de cada país, a excepción de la biomasa que se acumula gradualmente en el territorio (Fischer-Kowalski, 1998b); en las investigaciones a nivel regional las delimitaciones de los sistemas biofísicos coinciden con la de los sistemas políticos y económicos. En las investigaciones a nivel de unidad económica se analizan los flujos materiales por cada tipo de actividad social, como por ejemplo la alimentación, el transporte, la limpieza, entre otros (Fischer-Kowalski, 1998b).

2.3.2.1 ¿A qué se refiere el concepto de Metabolismo Social?

El Metabolismo Social es una característica propia de toda sociedad, ya sea desde las más arcaicas tribus hasta las más modernas megaciudades. González de Molina & Toledo (2014) clasificaron tres tipos de metabolismos sociales en función del desarrollo histórico de la humanidad: el primero es el metabolismo orgánico que predomina en una sociedad nómada recolectora; el segundo es el agrario e inició desde el neolítico con la invención de la agricultura y los asentamientos humanos sedentarios; y finalmente el metabolismo industrial con la transformación de los productos con tecnologías que utilizan energías fósiles y es el metabolismo donde estamos inmersos. Con el desarrollo de las sociedades la intensidad energética incrementó al grado de que actualmente los consumos energéticos son mucho mayores que los que antecedieron.

Otra clasificación del metabolismo social está en función del tipo del asentamiento, por ejemplo, el industrial, el urbano y el agrario rural, de los cuales, existen investigaciones para cada tipo: los primeros trabajos de metabolismo industrial corresponden a la ecología industrial (Ayres & Kneese, 1969); los estudios de metabolismo rural se han realizado a nivel local o microrregional, y en ellos se analizan a detalle las relaciones entre las comunidades humanas y el ambiente natural más otros sectores relacionados con el comercio de sus productos; finalmente, el metabolismo urbano se acota a estudiar los flujos de materia, energía e información que atraviesan las ciudades (González de Molina & Toledo, 2014).

El metabolismo social se define como la forma particular en que las sociedades establecen, organizan y mantienen sus intercambios de materia y energía con su entorno natural. El metabolismo social también se ha considerado como una teoría que explica el cambio socioambiental (Fischer-Kowalski, 1997a; Fischer-Kowalski *et al.*, 2014; Fischer-Kowalski & Haberl, 1997; Giampietro & Mayumi, 2000; González de Molina & Toledo, 2014; Sieferle, 2001, 2011), o se ha utilizado como un conjunto de herramientas metodológicas útiles para analizar el comportamiento biofísico de las economías (Haberl, 2001a, 2001b;

Matthews *et al.*, 2000; Weisz, 2007). En todas sus acepciones, el metabolismo social es un enfoque del estudio de las relaciones entre la sociedad y la naturaleza desde sus bases materiales, pero con el potencial de trascender la perspectiva material hacia elementos sociales e inmateriales como los políticos, económicos, culturales, etc.

González de Molina & Toledo (2014) señalan que con un análisis de la literatura del Metabolismo Social poco exhaustivo se observan dos hechos interesantes y problemáticos que deben ser resueltos: el primero es que, en la literatura dominan los análisis centrados en las interacciones materiales de las sociedades con la naturaleza, y el concepto de metabolismo social es aplicado solo como una novedosa herramienta metodológica para hacer contabilidad ambiental, donde la mayoría de estos trabajos carecen de reflexiones teóricas o metodológicas; el segundo problema radica en que en los estudios se desaparece la dimensión social, misma que radica en intercambios de información entre agentes institucionales, las reglas, los valores, el conocimiento, las cosmovisiones, entre otros elementos de carácter inmaterial (González de Molina & Toledo, 2014). La carencia de la perspectiva holística en los estudios de metabolismo tiene como consecuencia los dos puntos siguientes: el primero es que se ignoran los procesos ocurridos dentro de la caja negra de sistema socioambiental, por lo que, se desconoce con claridad lo ocurrido al interior del fenómeno metabólico; y el segundo es que se ignoran los procesos inmateriales que interactúan de forma invisible pero efectiva con los procesos materiales del metabolismo (González de Molina & Toledo, 2014).

En el presente trabajo se adoptan las dimensiones de la realidad tangible e intangible mencionadas por González de Molina & Toledo (2014). Donde la realidad tangible se refiere a la realidad material compuesta por los flujos de materia y energía y la dimensión inmaterial se refiere a los flujos de información en el sistema social que dan forma a los primeros. González de Molina & Toledo (2014) hacen una analogía de esto con una computadora, donde el software (realidad intangible) guía el comportamiento

del hardware (realidad tangible) que es el Metabolismo Social. Ambas dimensiones son complejas y tocan aspectos de diversas disciplinas, se interdeterminan a través del tiempo.

2.3.2.2 Los cinco procesos que componen al Metabolismo Social

El metabolismo social se descompone en tres flujos materiales y energéticos que son: los flujos de entrada, los flujos internos y los flujos de salida, y estos se desglosan en cinco procesos: apropiación, transformación, circulación, consumo y excreción, descritos en el Cuadro 4.

Cuadro 4. *Resumen de los procesos del metabolismo social*

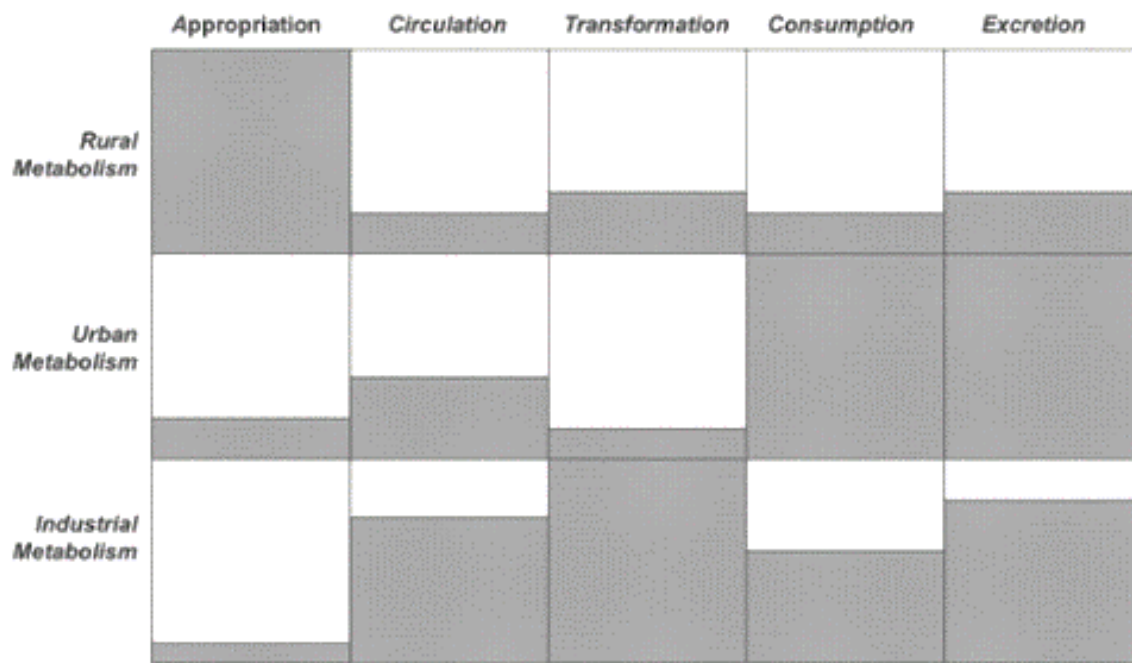
Proceso	Explicación
Apropiación	Es el modo primario de intercambio material entre la sociedad y la naturaleza. Realizado por una unidad de apropiación que puede ser una empresa, cooperativa, comunidad, familia o un individuo, etc.
Transformación	Implica todos los cambios que se han inducido al producto extraído de la naturaleza, el cual, al ser modificado implica que no será consumido en su forma original.
Circulación	Es inaugurado el fenómeno de intercambio económico. Incluye los intercambios monetarios y no monetarios, ya sea con materiales transformados y no transformados. Se liga con los medios de comunicación y transporte.
Consumo	Involucra a toda la sociedad y se relaciona con las necesidades humanas social e históricamente determinadas. Están provistas por los tres procesos anteriores. Este proceso tiene el potencial de incentivar y hasta subordinar al resto de procesos metabólicos. Se divide en dos clases de consumo, el endosomático y el exosomático. El primero relacionado con el consumo del biometabólico del ser humano y el segundo al sociometabólico perteneciente a los artefactos tecnológicos creados por el humano.
Excreción	Acciones mediante las sociedades eliminan materiales y energía hacia la naturaleza, involucra a todos los procesos metabólicos.

Fuente: de (González de Molina & Toledo, 2014)

En la Figura 14 se ejemplifica gráficamente la magnitud de los procesos metabólicos descritos diferenciados por el tipo de asentamiento. En términos generales la extracción de recursos se realiza en el subsistema rural. Parte de estos recursos se procesan en el subsistema industrial para la manufactura de los productos que más adelante se consumirán en los asentamientos humanos, como las ciudades, y

finalmente los desechos son excretados sistema urbano hacia el ambiente. El consumo es el motor que impulsa a los otros procesos del metabolismo, de ahí la importancia de este proceso en la problemática ambiental urbana.

Figura 14. Cinco procesos del metabolismo social.



Fuente: Tomado de (González de Molina & Toledo, 2014).

2.3.2.3 Las dimensiones tangible e intangible del Metabolismo Social

González de Molina & Toledo (2014), retoman dos dimensiones ontológicas que denominan la realidad tangible e intangible. Está claro que la realidad tangible se refiere a los flujos materiales propios del Metabolismo Social, sin embargo, para los flujos de información que corresponden a las creencias, cosmovisión, valores, cultura, conocimientos, etc., corresponden a la dimensión intangible. La dimensión intangible también alude al metapoder de la información que se describe en la ecología política Toledo, (2015). Zhang (2023) también alude a la dimensión intangible cuando se refiere al sistema de conocimientos, el sistema cultural que conforman la memoria urbana y determina la transformación urbana mediante

políticas, regulaciones, organizaciones que denomina (desde un lenguaje tradicional chino) el espíritu de la ciudad. Por lo anterior, no se debe entender al Metabolismo Urbano como un fenómeno puramente material sin relación con su dimensión inmaterial.

2.3.3 El Metabolismo Urbano

El Metabolismo Urbano es la aplicación de la metáfora del Metabolismo Social en los asentamientos urbanos, por lo que, se percibe a una ciudad de forma semejante a un ser vivo que se alimenta, acumula, y excreta materia, energía e información (Gandy, 2004; Rosado *et al.*, 2014). Desde esta perspectiva también se ha interpretado a la ciudad como un super organismo (Girardet, 2004; Julián & Álvarez, 2014) o un ecosistema (Bristow & Kennedy, 2013; Grimm *et al.*, 2008; Newman, 1999). Sin embargo, se coincide con Zhang (2023) en que la metáfora no se asume de forma ortodoxa, ya que, aunque existan similitudes entre las ciudades y un organismo vivo, no son del todo similares, las primeras son un ente que emerge de las actividades sociales y ello le otorga características que no se comparten con los organismos vivos conocidos. De acuerdo con UNEP (2013) la metáfora del MU busca comprender las dinámicas de los flujos materiales y energía requeridos para la existencia y subsistencia de una ciudad, los procesos de interacción entre dichos flujos, y como su interacción moldea al ambiente urbano (Broto *et al.*, 2012), donde la metáfora ayuda a entender los procesos de acceso y consumo de los recursos, desde su hinterland local y global, relacionado con su consumo para la realización de sus funciones y hasta sus desechos que se depositan en el hinterland (C. Kennedy *et al.*, 2007b; Musango *et al.*, 2016).

De acuerdo con Zhang (2023) las investigaciones de Metabolismo Urbano han transitado por tres etapas: la primera comprendida entre 1965 y 1980 que denominó periodo temprano, la segunda de nombre periodo de lento crecimiento entre 1981 al 2000 y la tercera denominado periodo de ascenso 2001 hasta hoy en día. El periodo temprano inició con el primer estudio cuantitativo de Metabolismo Urbano

en 1965, cuando Abel Wolman cuantificó la primera ciudad hipotética de un millón de habitantes en un modelo Input-output estilo caja negra, algunos casos de estudio de este periodo son en Miami (Zucchetto, 1975), Bruselas (Duvigneaud & Denayeyer-De Smet, 1977), Hong Kong (Newcombe *et al.*, 1978). En este periodo los análisis de metabolismo se enfocaron en los materiales y energía expresados en masa y Joules. Se propuso el termino de “energía” (energía incorporada), que representa una forma de hacer equivalentes flujos de materiales, energía e incluso dinero, que no serían comparables, utilizando la unidad de emjoules Zhang (2023).

El periodo lento de crecimiento de investigaciones del Metabolismo urbano se caracterizó por no tener uniformidad en las metodologías de investigación y centrarse teóricamente en la idea de que la ciudad adopta un comportamiento parasitario hacia el ambiente, sin tomar en cuenta que este podría también aportar beneficios al mismo. La mayor parte de los estudios de este periodo se realizaron en la última década del siglo XX, y algunos de ellos fueron en Viena (Baccini, 1997; Hendriks *et al.*, 2000), Taipei (S.-L. Huang, 1998), Sydney (Newman, 1999), Brisbane (Mullins *et al.*, 1999), 25 ciudades (Decker *et al.*, 2000), y 5 ciudades costeras (Timmerman & White, 1997). Debido a que cada una de estas investigaciones se desarrolló con diferentes metas y resultados se dificultó la comparación de las condiciones metabólicas en diferentes ciudades, al continuar la aplicación de tales métodos conceptuales. Se resalta que Brunner (2000) enfatizó la necesidad de contabilizar materiales como nutrientes, sales, materiales y agua en el ciclo hidrológico urbano.

Alguno de los principales proyectos del periodo de ascenso incluyen el Metabolismo Urbano Sustentable de Europa (Schremmer & Stead, 2009), el proyecto BRIDGE (sustainable uRban plannIng Decision support accountinG for urban mEtabolsim) por la Unión Europea (Chrysoulakis, 2008), la evolución del Área Metropolitana de Lisboa (MEMO por sus siglas en inglés) (Niza *et al.*, 2009; Rosado *et al.*, 2014), el proyecto de metabolismo Urbano en Bangalore (BUMP por sus siglas en inglés) (Reddy, 2013), la investigación energética de interés público (PIER) por el departamento de energía de California (Pincetl *et al.*, 2014), el

análisis metabólico del antiguo Caral en Perú (Fernández, 2010), y un estudio metabólico de las megaciudades (C. A. Kennedy *et al.*, 2015). En esta etapa se ha promovido la integración de las metas de interesados e investigadores, resaltando el valor de las investigaciones de Metabolismo Urbano.

2.3.3.1 El Metabolismo Urbano y las disciplinas híbridas

La metáfora del Metabolismo Urbano se ha adoptado desde diferentes enfoques en diferentes disciplinas, por ejemplo: bajo el enfoque de la **Ecología Humana** de la Escuela de Chicago el concepto del metabolismo se aplicó para estudiar los cambios sociales dentro de la ciudad, sin embargo, el problema con este enfoque es el ambiente se mantuvo externo al sistema urbano, y en el mejor de los casos se tomó como un telón de fondo para los asuntos sociales urbanos (Wachsmuth, 2012). Por otro lado, el enfoque de la **Ecología Industrial** es el más popular, se centra en la estimación y análisis los patrones materiales de los flujos materiales y de energía, así como su acumulación, que involucra los problemas de eficiencia en la utilización del sustrato biofísico de las actividades humanas. Sin embargo, desde esta perspectiva se concibe a la naturaleza como una fuente externa de recursos y sumidero de desechos para los productos finales de la ciudad (Bai, 2007; Erkman, 1997). También desde el enfoque de la **Ecología Urbana** se entiende a la ciudad como un sistema socio ecológico complejo, y se enfoca en los efectos que surgen de las interrelaciones entre la infraestructura urbana con el ecosistema en donde se ubica la ciudad, todo bajo el contexto de los imperativos de la sostenibilidad global (du Plessis, 2008; Grimm *et al.*, 2008). La ecología urbana también se entiende como el estudio de la interrelación entre los organismos biológicos, los flujos de materia energía que integran también a las estructuras construidas, y el entorno biofísico donde se ubica a la ciudad (Forman, 2014). Por último, la **Ecología Política Urbana** busca explicar la complejidad de los procesos socioambientales como productos de la historia, geografía y política de la ciudad (Swyngedouw & Heynen, 2003; Wachsmuth, 2012), enfocándose en “como las condiciones materiales del

ambiente urbano se controlan y sirven para los intereses de las élites a expensas de la población marginalizada” (Broto *et al.*, 2012).

La complejidad de la realidad urbana conlleva la interrelación entre los diversos flujos metabólicos urbanos, por tal motivo, el concepto de **Nexos Urbanos** es relevante para el **Metabolismo Urbano**. De esta forma se estudia la interrelación de la multiplicidad de elementos en términos de flujos materiales acoplados entre sí a la par de sus flujos energéticos. Interrelaciones que ocurren en cadenas entrelazadas a diferentes escalas (Chen & Lu, 2015). En el Cuadro 5 se resumen cuatro perspectivas que tienen las diferentes disciplinas hacia el Metabolismo Urbano.

Cuadro 5. *Temas del Metabolismo Urbano*

Tema	Pregunta clave	Énfasis
La ciudad como un ecosistema	¿Qué lecciones del funcionamiento del ecosistema puede ser aplicado para diseñar y planear mejores ciudades?	Modelos de desarrollo en planeación urbana y diseño inspirados en la naturaleza
Flujos de Materia y energía en las ciudades	¿Qué métodos puede contabilizar los flujos de materia y energía a través de la ciudad y estos pueden proveer sugerencias para su optimización?	Análisis comparativos de ciudades y modelos de planificación urbana en relación con su eficiencia en la asignación de materiales y energía
La base material de la economía	¿Qué medidas en políticas pueden romper la relación entre urbanización, crecimiento económico y consumo de recursos?	Los límites materiales de la economía y modelos macroeconómicos para lograr la estabilidad económica y material
Impulsores económicos de la relación urbano-rural	¿Cómo estas relaciones económicas moldean la distribución de flujos entre las regiones urbanas y sus alrededores?	Formas de organización territorial en relación con los diferentes modos de circulación económica.
La reproducción de la inequidad urbana	¿Cómo los flujos urbanos distribuyen recursos a través de la ciudad y quienes controlan esos procesos?	Patrones de acceso desigual a los recursos y el control de estos patrones por las elites urbanas.
Resignificando las relaciones socio-ecológicas	¿Qué prácticas socio ecológicas tienen el potencial de Re imaginar y reconfigurar los flujos socio ecológicos existentes?	Visiones alternativas y modelización de los flujos socio ecológicos en la producción cultural, practicas cotidianas, e innovaciones en políticas.

Fuente: Basado en (Broto *et al.*, 2012)

La presente investigación se centra en el enfoque de la Ecología Industrial para realizar la estimación cuantitativa del Metabolismo Hídrico de la ciudad de Puebla y su Nexo Agua Energía Carbono y para

la interpretación del modelo se complejiza al tomar en cuenta elementos sociales que sesgan el enfoque hacia la Ecología Urbana y de la Ecología Política Urbana.

La metáfora del Metabolismo Urbano es adecuada para interrelacionar las tres perspectivas anteriores. Se refiere a una perspectiva de análisis de las relaciones de la sociedad con la naturaleza a partir de sus bases materiales, basado en una metáfora que observa a una ciudad como si fuera un organismo biológico que metaboliza flujos de materia y energía para su subsistencia y reproducción (Brunner & Helmut, 2005; González de Molina & Toledo, 2014). Por otro lado, disciplinas híbridas como la ecología urbana, ecología política, ecología industrial, economía ecológica, historia socioambiental entre otras, coinciden en la adopción del enfoque del metabolismo urbano como una herramienta válida para el estudio de la relación entre la sociedad y la naturaleza (Delgado-Ramos, 2015a).

2.3.4 El Metabolismo Hídrico Urbano

El Metabolismo Hídrico Urbano (UWM) se centra solamente al flujo hídrico del Metabolismo Urbano, y se estudia desde enfoques heterogéneos que son interdisciplinarios o como se vio anteriormente con las disciplinas híbridas como la ecología industrial, la ecología urbana, la ecología política urbana, la historia socioambiental (Broto *et al.*, 2012; Delgado-Ramos, 2015a; Wachsmuth, 2012). Los estudios de MHU varían desde la evaluación a multiescalar de programas institucionales (Renouf *et al.*, 2017), la evaluación de la eficiencia hídrica en la ciudad (C. L. Huang *et al.*, 2013; S. Kenway *et al.*, 2011; Paul *et al.*, 2018), otros integran el MHU con el concepto del Nexo Agua-Energía-Carbono (Fan *et al.*, 2019; Lee *et al.*, 2017; Meng *et al.*, 2019; Venkatesh *et al.*, 2014), o el nexo con la contaminación y el Cambio Climático (Kumar & Saroj, 2014; Landa-Cansigno *et al.*, 2020; Scott, 2011). El MHU también es estudiado desde una perspectiva crítica que relaciona el MHU con la economía, política, y los intereses sociales que causan

conflictos socioambientales en diferentes contextos socioespaciales (Ernstson & Swyngedouw, 2018; Gandy, 2004; López Zamora, 2013b, 2013a; López Zamora & El Colegio de Tlaxcala, 2022).

En Latinoamérica el número de estudios de Metabolismo Urbano es evidentemente menor comparado a Europa, los Estados Unidos, o Asia (Delgado-Ramos Gian Carlo, 2021), y únicamente una fracción de estos tratan el asunto del agua. Algunos trabajos aplican el concepto desde un enfoque crítico sin cuantificar sus flujos, tal como el caso de la planeación periurbana del área metropolitana de Guadalajara y Ocotlán (Gandy, 2004), y el análisis de las relaciones de poder asociadas con la distribución del agua en Cuautla (Luna Nemecio, 2015; Luna-Nemecio, 2021), el caso de estudio de la ruptura metabólica en Morelia (Napoletano *et al.*, 2019), el estudio de las disputas relacionadas con la contaminación del Río de Santiago en Guadalajara (McCulligh & Fregoso, 2019), y el caso que trata de los impulsores socioeconómicos y las implicaciones del complejo crecimiento urbano en la Ciudad de México (Napoletano *et al.*, 2019). Otros estudios, tales como el estudio del uso de la energía para el suministro de agua en la ciudad de México (Salazar *et al.*, 2012) que incluyó algunos elementos cuantitativos del MHU. Otros estudios, tales como el análisis de MHU de las Áreas metropolitanas Centrales y Oeste en Colombia (García-Serna *et al.*, 2014), el nexo entre el agua la energía y la contaminación en el estudio de la Purísima del Rincón en Guanajuato (Landa-cansigno *et al.*, 2018), y los estudios de la vulnerabilidad climática en el espacio geográfico de la ciudad de México (Delgado-Ramos, 2021) y Kingston (Townsend *et al.*, 2020) proveen información más detallada de los procesos internos de sus sistemas. Algunos otros estudios presentan un balance material de todo el sistema y sus subprocesos; por ejemplo, este estudio se enfoca la gestión del agua residual en Tepic Nayarit (Gutiérrez-Espinosa, 2016) y el estudio de MHU de dos megaciudades como la Ciudad de México y Los Ángeles California (Delgado-Ramos & Blanco, 2018).

Para el caso de la ciudad de Puebla, la evolución histórica de la apropiación del agua y su relación con las luchas de poder, guerras, y la transformación socioeconómica analizada desde el marco del Meta-

bolismo Social (Juárez Flores, 2015; Loreto-López, 2016). Del lado de los estudios de disponibilidad y calidad del agua (Castresana *et al.*, 2018, 2019; Estrada *et al.*, 2022; Estrada-Rivera *et al.*, 2022; Flores-Márquez *et al.*, 2006; Gárfias *et al.*, 2010; Hernández, 2021; Ibarán *et al.*, 2021; Martínez Morales *et al.*, 2015; Rodríguez-Espinoza *et al.*, 2011; Salcedo Sánchez *et al.*, 2017; Salcedo-Sánchez *et al.*, 2013, 2020; Shruti *et al.*, 2019), un estudio que evalúa el potencial de la cosecha de agua en los estacionamientos de la ciudad que utilizó un modelo de dinámica de sistemas, es la cuantificación más cercana a un estudio de metabolismo urbano, sin embargo, solo atiende a una fracción de los flujos urbanos de la ciudad de Puebla (Martínez-Austria & Vargas-Hidalgo, 2016).

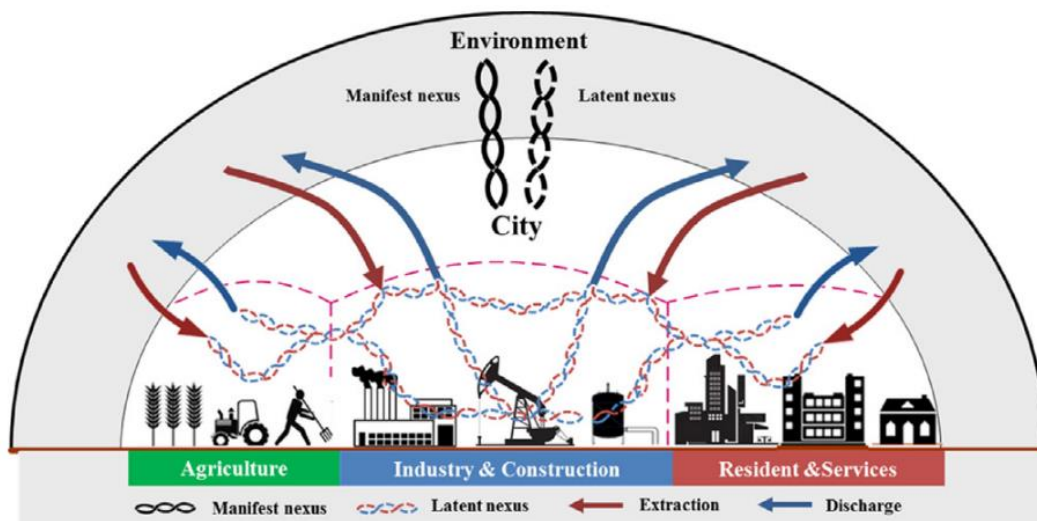
Muchos estudios de MHU realizados en ciudades latinoamericanas tienen un sesgo socialmente crítico debido a la predominante informalidad urbana y las desigualdades persistentes en sus poblaciones, estas dos características no son consideradas comúnmente en los estudios de UWM. Además, la común ausencia de información pública y los problemas con la consistencia de la información existente también contribuye al número limitado de estudios cuantitativos de MU y MHU. Además, la mayoría de los estudios de caso de MU y MHU han se han enfocado en las ciudades grandes, dejando de lado el análisis de las ciudades pequeñas y medianas, a pesar de que se prevé que estas últimas sean las que más crezcan en las próximas décadas (Delgado-Ramos Gian Carlo, 2021). Menos de la mitad de los estudios mencionados incorporan a su análisis el agua embotellada y la transportada en camiones cisterna, y ninguno analiza los elementos del DHAS con un modelo cuantificado de MHU. Ningún estudio de MHU se indentificó para el caso de la ciudad de Puebla y su área metropolitana en Scopus, Web of Science, o Google Scholar.

2.3.5 El Nexo Agua-Energía-Carbono

Los nexos urbanos se refieren a las relaciones entre los diversos flujos materiales urbanos, por lo que su relación con el Metabolismo Urbano es evidente. Chen & Chen, (2015) expresa que la metáfora

del metabolismo urbano hace referencia al realismo material en sí, es decir al “Ser” y los nexos urbanos hacen referencia al realismo relacional, centrado en el “Devenir”, reiterando que se refiere a las relaciones e interacciones dentro de la ciudad, tomando en cuenta su hinterland. El conocimiento de estas relaciones provee información útil para el estudio de los problemas ambientales (Villaruel Walker *et al.*, 2014). (Véase la Figura 15)

Figura 15 Esquematización de los nexos urbanos.



Fuente: Tomado de (Chen & Lu, 2015)

Referente al agua y la energía son dos flujos que están inexorablemente entrelazados. Por ejemplo, si en una ciudad fallara el sistema energético, inmediatamente se desplomaría el servicio de agua, implicando una amenaza para la salud pública de una ciudad (Retamal *et al.*, 2009; Schnoor, 2011). Se requiere de energía para transportar y transformar la calidad del agua, y se necesita de agua para muchos procesos de generación de energía eléctrica. La generación eléctrica se liga con la abundancia de agua de calidad, y además de que la sociedad requiere obligatoriamente de estos flujos (Schnoor, 2011).

La energía se utiliza para suministrar el agua, tarea que utiliza aproximadamente un 7% del total de la energía mundial, lo cual, resalta la importancia y el impacto del consumo de la energía. Desde la perspectiva energética, el agua es integral para la generación de energía en el mundo industrializado.

Las preocupaciones actuales acerca de la población incrementan la demanda de agua y energía asociada a los impactos ambientales de la ejecución de las extracciones de agua, descargas de agua residual y emisiones de gases de efecto invernadero que está catalizando las investigaciones hacia una mejor integración de los servicios hídricos y energéticos.

Perspectivas en el Nexo Agua Energía

Hay diferentes perspectivas desde los cuales el nexo agua-energía es considerado, el cual saca a relucir diferentes oportunidades para mejorar la eficiencia y reducir los impactos ambientales. La relación puede ser vista a través de las siguientes perspectivas.

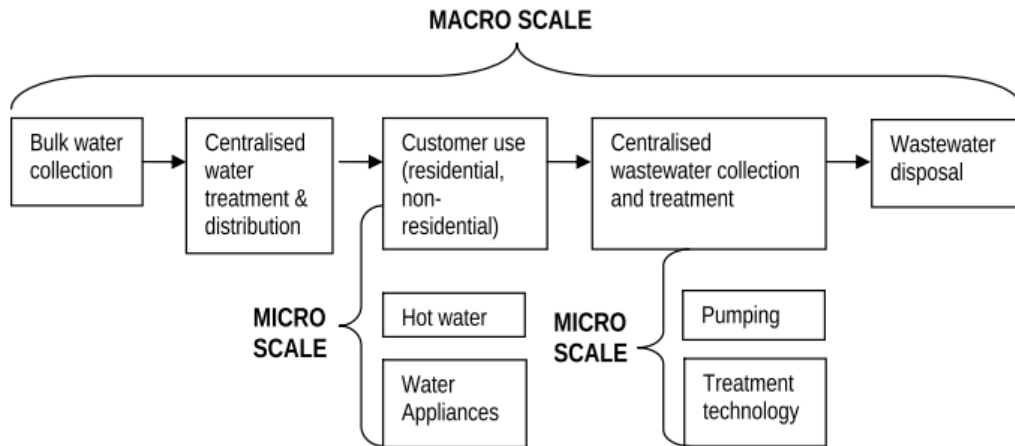
- El uso de la energía de la infraestructura hídrica (enfocada en la provisión del servicio).
- El uso del agua en la infraestructura energética (enfocada en la generación de energía).
- La energía y el agua como parte de un sistema urbano (análisis de los impactos totales del sistema o cambios hacia la energía o consumo de agua y provisión).

La relación entre el agua y la energía también puede ser vista desde diferentes escalas, algunos estudios se enfocan en el uso del agua y la energía para una tecnología específica y otros estudios han estudiado al agua y la energía en todo un estado o un país (Retamal *et al.*, 2009).

El estudio presente está enfocado a la perspectiva de la energía utilizada para el funcionamiento de la infraestructura hídrica que provee el suministro de agua. Retamal *et al.* (2009) ilustra la categorización de los procesos en dos escalas. Los estudios de Macro escala se enfocan en el agua y la energía que consideran el sistema hídrico de un desarrollo, empresa, ciudad, región, estado o país. Los estudios a

microescala incluyen análisis de ciclo de vida de enfocados en los usos de agua y energía en las viviendas u otro uso final (Figura 16).

Figura 16. Macro y Micro perspectivas del nexo agua-energía



Fuente: Tomado de (Retamal *et al.*, 2009)

2.4 Dos conceptos para una gestión del agua socialmente justa

Tanto la Seguridad Hídrica como el Derecho Humano al Agua corresponde a una configuración deseable del Metabolismo Hídrico Urbano. En estos conceptos se da prioridad al uso del agua para ciertos fines.

2.4.1 Seguridad Hídrica

De acuerdo con la UNESCO “la Seguridad Hídrica es la capacidad de las poblaciones para garantizar a nivel de cuenca, el acceso sostenible al agua en cantidades adecuadas y con la calidad apropiada para sostener la salud de las personas y de los ecosistemas, e impulsar a los medios de vida, el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico, así como asegurar la protección eficaz de vidas y bienes durante los desastres hídricos” (UN-Water, 2013). Los cuatro elementos fundamentales de la Seguridad Hídrica

son en primer lugar el acceso al agua que debe darse en cantidad, calidad y asequibilidad aceptables para garantizar el bienestar de los usuarios. En segundo lugar, integra la garantía del agua para el desarrollo socioeconómico que se compone por el nexo entre el agua, la energía y los alimentos. En tercer lugar, la preservación de la salud en los ecosistemas que implica el manejo de cuencas hidrológica, la protección de los humedales y la gestión de la contaminación del agua para cuidar su calidad. Y en cuarto lugar se encuentra la protección de la población ante los riesgos como lo son las sequías e inundaciones, que incluye la alerta temprana y la utilización de herramientas para el ordenamiento territorial.

Los retos que enfrenta la Seguridad Hídrica son principalmente cuatro: el primero es el Estrés Hídrico que se refiere que la demanda de agua es más alta que la capacidad disponible o que su calidad es insuficiente, en segundo es la cobertura del servicio de agua potable y alcantarillado. El tercero es la calidad del servicio de agua potable la cual llega a ser deficiente. Y el cuarto se relaciona con la equidad en la distribución del agua.

Las acciones y herramientas para lograr la seguridad hídrica se basan en grupo de medidas a tomar en cuenta, donde es en primer lugar un grupo de medidas se centra en el uso eficiente del agua, mismo que tiene que ser observado a tres niveles, el más general la gestión del agua en las cuencas, el segundo es la asignación del agua para los usos, y el tercero son las medidas del uso eficiente que hagan los usuarios particulares del agua. El segundo grupo de medidas se centra en la Infraestructura Hídrica como pozos, plantas de tratamiento, presas, redes de distribución. Toda esta infraestructura tiene problemas de obsolescencia y requiere mantenimiento o renovación de la infraestructura gris hacia la infraestructura verde³⁰. Las capacidades para atender los problemas del agua, que comprenden capacidades administrativas, técnicas y de la población en general para hacer uso eficiente del agua. Otro de los retos

³⁰ Infraestructura verde son los sistemas naturales o seminaturales que proveen servicios útiles para la gestión de los recursos hídricos con beneficios equivalentes o similares a los de la infraestructura hídrica gris, que es la convencional o construida.

es el desarrollo de los instrumentos financieros conservación de la infraestructura hidráulica, su administración y los servicios de agua potable en general. Finalmente, la gobernanza hídrica conjuntando la participación de todos los actores de la sociedad como los gobiernos (federal, estatal, municipal), instituciones educativas, las empresas, las Organizaciones de la Sociedad Civil y la población en general. Lo anterior incluye esfuerzos interdisciplinarios en las ciencias.

2.4.2 Derecho Humano al Agua

El derecho humano al agua (DHA) indica que para una vida digna es indispensable asegurar la disposición de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico (El Derecho al Agua, 2008). La primera vez que se hizo mención del derecho humano al agua para su uso doméstico en un texto internacional fue en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua, celebrada en Mar del Plata. La cual, posicionó el derecho de tener acceso al agua potable en cantidad y calidad acordes con sus necesidades básicas, para todos los pueblos, cualesquiera que sean su etapa de desarrollo (UNESCO, 1977). Dos años después de en 1979 En la convención de la eliminación de todas las formas de discriminación en contra de las mujeres se hizo referencia en el derecho al agua para las mujeres (UN, 1979).

En la convención de los derechos de la niñez de 1989 infancia se dejó en claro la relación entre el agua y el alto nivel de vida (UN, 1986) en (Ahmad, 2020). La Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció el derecho humano al agua y saneamiento el 28 de julio de 2010 por medio de la Resolución 64/292. Ahí se reafirma que el agua potable salubre y el saneamiento son esenciales para el pleno disfrute de la vida y todos los derechos humanos (UN, 2010). El derecho humano al agua consta del derecho de todos a “disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico”.

El Artículo 4o. Constitucional establece que “Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines”. El Artículo 12 fracción VI de la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Puebla, consagra el derecho humano al agua y saneamiento en los términos que establece la Constitución Política y los Estados Unidos Mexicanos.

El suministro de agua para cada persona debe ser continuado y suficiente para cubrir los usos personales y domésticos.

Esta dimensión del derecho humano al agua comprende el consumo, el lavado de ropa, preparación de alimentos y la higiene personal y doméstica. Otros usos como el agua para las piscinas o la jardinería no están incluidos en el derecho al agua. Según la OMS, se requieren entre 50 y 100 litros de agua por persona al día para cubrir la mayoría de las necesidades básicas y evitar la mayor parte de los problemas de salud. El mínimo se encuentra considerado entre los 20-25 litros por persona al día, pero esta cantidad implica preocupaciones sanitarias. Sin embargo, estas cantidades dependen del contexto particular y pueden diferir del grupo a otro en función del estado de salud, el trabajo, las condiciones climáticas y otros factores. Las mujeres embarazadas, madres lactantes, y personas con enfermedades que comprometen el sistema inmune necesitarán más de 50-100 litros de agua al día (El Derecho al Agua, 2008).

El agua para el uso personal y doméstico debe ser salubre y aceptable

El agua debe estar exenta de microbios y parásitos, así como de sustancia químicas y radiológicas, que puedan construir una amenaza para la salud de las personas. El agua debe tener también un color,

olor y sabor aceptables, a fin de que las personas no recurran a otras fuentes que puedan estar contaminadas. Aplica para todas las fuentes de abastecimiento, como el agua corriente, el agua de cisternas, el agua comprada a un proveedor y los pozos protegidos (El Derecho al Agua, 2008).

Los servicios de abastecimiento de agua y de saneamiento deben ser físicamente accesibles

Es necesario que estén al alcance de todos los sectores de la población, especialmente a los grupos como las personas con discapacidad, las mujeres, los niños y los ancianos. No significa que todos deban tener acceso a agua dentro del hogar, pero sí supone que estos servicios se encuentren a una distancia razonable de la vivienda. Según la OMS, el acceso básico a 20 litros por día por persona se debe considerar que la fuente estaría a no más de 1000 m del hogar y el tiempo necesario no debe exceder 30 minutos (El Derecho al Agua, 2008).

Los cortes de agua impiden que se cumpla el DHA en accesibilidad y suficiencia, que a su vez se viola el artículo 14 de la Constitución Política Mexicana donde se menciona que nadie podrá ser privado de sus derechos, y del Artículo 16 que dice que nadie puede ser molestado en su persona, familia, domicilio sino en virtud de mandamiento escrito de la autoridad competente que funde y motive la causa legal del procedimiento.

Los servicios de agua deben ser asequibles para todos.

Ningún individuo o grupo debería verse privado del acceso agua potable por no poder pagar. La recuperación de los costos no debe erigirse en un obstáculo al acceso al agua potable y saneamiento, especialmente para los pobres. El PNUD propone como punto de referencia un umbral del 3 % anual del ingreso familiar. Lo anterior no significa que los servicios de agua debieran ser gratuito, solo en la excepción de que la persona no pueda pagar. El derecho humano al agua tiene un nexo fundamental con los otros derechos humanos como lo son el de educación, vivienda, salud, vida, trabajo, protección contra tratos o penas crueles, inhumanos o degradantes. Y de igual forma es un elemento crucial para lograr la igualdad de género y erradicar la discriminación (El Derecho al Agua, 2008).

2.5 Descripción general de dos metodologías.

En el presente apartado se describe de manera general dos metodologías que se utilizaron en la presente investigación, que son el método de contabilidad de flujos materiales (MFA) y la simulación de Monte Carlo.

2.5.1 El método de contabilidad de flujo de materiales (MFA)

El análisis de flujos de materiales (MFA) es una evaluación sistemática de los flujos y la acumulación de materiales dentro de un sistema definido en el espacio y el tiempo. Es una herramienta poderosa para analizar los flujos materiales y la sostenibilidad debido a que conecta las fuentes, los caminos, y los sumideros intermedios y finales de un material. Lo anterior en función a la primera Ley de la Termodinámica, por lo que, a partir del balance material se comparen todas las entradas acumulaciones y salidas de los procesos estudiados (Brunner & Helmut, 2005).

2.5.1.1 Objetivos del método de MFA

El análisis de flujos de materiales es útil para investigar los flujos y acumulación de cualquier material dentro del sistema, además de que Proporciona información del comportamiento del sistema (Brunner & Helmut, 2005). Sus objetivos se enumeran a continuación.

- Delinear un sistema de flujos materiales y acumulaciones por términos uniformes y bien definidos.
- Reducir la complejidad del sistema en la medida de lo posible y, al mismo tiempo, garantizar una base para una toma de decisiones sensata.
- Evaluar los flujos y acumulaciones relevantes en términos cuantitativos, aplicando así el principio de equilibrio y revelando sensibilidades e incertidumbres.
- Presentar los resultados sobre los flujos y las existencias de un sistema de forma reproducible, comprensible y transparente.
- Usar los resultados como una base para administrar los recursos, el ambiente, y residuos, en particular para

- Un temprano reconocimiento de daños potenciales o acumulaciones y agotamientos de existencias potencialmente dañinas y beneficiosas, así como para la producción oportuna de cargas ambientales futuras.
- El establecimiento de prioridades con respecto a las medidas de protección ambiental, conservación de recursos y gestión de residuos.
- El diseño de bienes, procesos y sistemas que promuevan la protección ambiental, conservación de los recursos y la gestión de residuos.

2.5.1.2 Componentes del método MFA

El método del MFA analiza el flujo de sustancias, que es un término definido por la química como es cualquier elemento químico o componente compuesto por unidades uniformes. Todas las sustancias están caracterizadas por una única e idéntica constitución y por lo tanto son homogéneos. El término “bien” describe las mercancías y artículos que se intercambian dentro del sistema. Son definidos como las entidades económicas materiales con valor económico positivo o negativo, que a su vez se componen de varias sustancias. Los materiales es un nombre genérico para las sustancias y los bienes. Un proceso, es definido por la transformación, transporte, o almacenamiento de materiales. Los flujos absolutos (flows) se refieren a la cantidad de materia que se transporta de un punto a otro, por unidad de tiempo dentro del sistema, y a su vez los flujos relativos (fluxes) se refieren a los flujos absolutos referidos a algún valor de referencia para hacer comparaciones con otros sistemas, como lo puede ser superficies, personas, viviendas, etc. (Brunner & Helmut, 2005). En la Figura 17 se esquematizan los flujos absolutos y relativos.

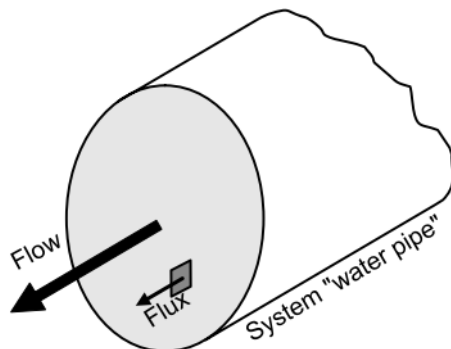


Figura 17 Flujo absoluto y flujo relativo.

Fuente: (Brunner & Helmut, 2005)

El coeficiente de transferencia (TC) describe las particiones de una sustancia en un proceso. Es definido por cada una de las salidas de un proceso, y da el porcentaje del caudal total de una sustancia que es transferida hacia una específica salida. Pueden depender de diversas variables que están en función al tipo de proceso, por lo que no son necesariamente constantes. Son útiles para realizar análisis de sensibilidad del sistema estudiado y análisis de escenarios (Brunner & Helmut, 2005).

El sistema es el objeto de la investigación del MFA, y se define por un grupo de elementos, la interacción entre estos elementos y las fronteras entre estos y otros elementos en el espacio y el tiempo. Las relaciones entre estos componentes físicos es de tal manera que en conjunto actúan como una unidad. Como un sistema abierto interactúa con su entorno, e importa y exporta materiales y energía. En el MFA los componentes físicos son procesos, y las conexiones/relaciones está dada por los flujos que ligan aquellos procesos. Uno de estos procesos o una combinación de varios puede representar un sistema. La frontera temporal depende del tipo de sistema que se investigue y del problema a abordar. La frontera espacial es usualmente ajustada por el área geográfica donde los procesos están ubicados, en el cual puede ser una empresa, un pueblo una ciudad, una región, una cuenca, un país, un continente, o incluso el planeta entero. Una actividad es definida como la que comprende todos los procesos, flujos y acumulación relevantes de bienes y sustancias que son necesarias para solventar y mantener una determinada necesidad humana (Brunner & Helmut, 2005).

La ecuación de balance del sistema estudiado se resume como sigue.

La suma de las entradas de energía de los materiales en un sistema = La suma de las salidas + los cambios en stock

La ecuación que toma en cuenta los compartimientos del sistema

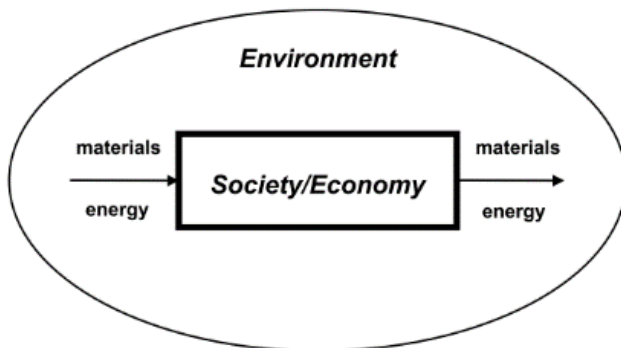
El metabolismo del Sistema = la suma de los metabolismos de sus subsistemas OT compartimentos + transferencias internas

EL método de MFA ha sido implementado y estandarizado en las estadísticas europeas y es utilizado en una amplia gama de investigaciones de metabolismo urbano, por tal motivo su terminología es ampliamente utilizada para describir los procesos del Metabolismo Urbano en diversas investigaciones alrededor del mundo. Por tal motivo, se cree conveniente describir esta terminología.

2.5.1.3 Ejemplo de indicadores estandarizados del MFA en Eurostat

El propósito del método de Eurostat, (2001) es la estimación de balances de los flujos materiales regionales, nacionales o continentales basados en la información estadística de la economía europea. La guía se basó en la experiencia del Instituto Wuppertal y varias instituciones nacionales de estadística de los Estados miembros de la Unión Europea. En la Figura 18 se esquematizan las entradas, salidas y acumulación de materiales general.

Figura 18 *El sistema economía/ambiente.*



Fuente: (Eurostat, 2001).

El método es particularmente útil para derivar indicadores relevantes que son críticos en la caracterización del metabolismo en la economía, ya que examina las fuerzas impulsoras de la economía regional por medio de los flujos inducidos por ella y que incorporan la mayoría de los materiales metabolizados por el sistema.

A continuación, se enlistan los indicadores que ofrece el método propuesto por Eurostat, en el orden sugerido para su cálculo y en el Cuadro 6 se muestran sus ecuaciones.

1. Entrada de material directo. Direct Material Input (DMI)
2. Consumo material domestico (CMD). Domestic Material Consumption (DMC)
3. Balance físico. Physical Trade Balance (PTB)
4. Salida procesada hacia la naturaleza. Direct Processed Output to nature (DPO)
5. Adiciones netas al Stock. Net Additions to Stock (NAS)
6. Existencias físicas. Physical Stock (PS)
7. Balance de flujos materiales directos. Direct Material Flows Balance
8. Extracción no utilizada. Unused Domestic Extraction
9. Flujos indirectos. Indirect Flows
10. Requisito total de materiales. Total Material Requirement (TMR)
11. Consumo total de materiales. Total Material consumption (TMC)
12. Descarga total hacia la naturaleza. Total Domestic Output to nature (TDO)

Cuadro 6 Descripción general de los indicadores de MFA según el método propuesto por Eurostat

Categoría del Indicador	Acrónimo del Indicador	Cálculo
Input	DMI	DMI = Domestic raw materials + imports
	TMR	TMR = DMI + HF
	HF	HF = Unused domestic extraction + indirect flows from imports
Output	DPO	DPO = Emissions + Waste
	DMO	DMO = DPO + Exports
	TDO	TDO = DPO + unused domestic extraction
	TMO	TMO = TDO + Exports
Consumption	DMC	DMC = DMI – Exports
	TMC	TMC = TMR – Exports – indirect flows exports
Balance	NAS	NAS = DMI – DPO – Exports
	PTB	PTB = Imports – Exports

Fuente: (Ferrao & Fernández, 2013)

A continuación, se expone brevemente cada uno de estos indicadores:

- Entrada directa de materiales (Direct Material Input, DMI). Expresa la cantidad total de materiales extraídos del entorno local o importados, como materias primas, productos intermedios o finales, que ingresan al sistema económico.
- Consumo material doméstico (Domestic Material Consumption, DMC). Es la cantidad total de material utilizado directamente en una economía. En otras palabras, es el flujo de materiales anual que permanecerá en la economía local como una adición material al stock (NAS de acumulación neta) o se liberará al medio ambiente como parte del Domestic Processed Output (DPO excluyendo el oxígeno). Es, por lo tanto, el flujo material que los actores en todos los niveles de la economía (viviendas, empresas, instituciones, entre otros) tienen que operar con respecto a la acumulación, reciclaje o disposición final en el medio ambiente (Eurostat, 2001).

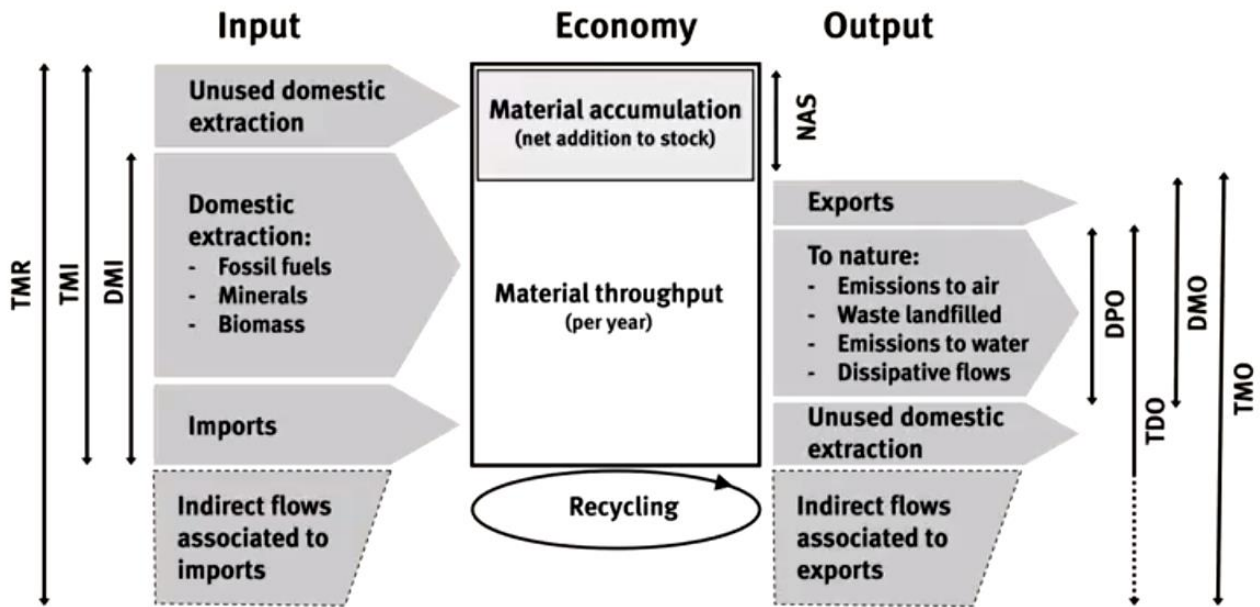
- Balance comercial físico (Physical Trade Balance, PTB). Es el superávit o déficit de la balanza comercial física de una economía. Expresa si las importaciones de recursos del exterior exceden a las exportaciones de recursos del sistema y en qué medida el consumo material local se basa en la extracción de recursos locales o en las importaciones del exterior.
- Domestic Processed Output (DPO) Es la cantidad total de materiales que se han utilizado en la economía local y que fluyen hacia la naturaleza. Estos flujos ocurren en el procesamiento, fabricación, uso y disposición final de la cadena económica de producción-consumo. Incluye las emisiones al aire y al agua, los desechos depositados en vertederos y los flujos disipativos.
- Adición a acumulación neta (Net Additions to Stock, NAS). Representan las adiciones netas al stock y describen la acumulación anual de materiales dentro del sistema económico. Se puede decir que mide la tasa de crecimiento físico de una economía (por ejemplo, edificios, otra infraestructura o bienes duraderos de larga vida como autos).
- Flujos Ocultos (Hidden Flows, HF) Son los movimientos de los materiales no utilizados asociados con la extracción de materias primas
- Extracción doméstica sin uso (Unused domestic extraction UDE). Son los materiales que se extraen del entorno local pero que no son utilizados por la economía (como la minería o la tierra extraída de la excavación del suelo durante construcción).
- Flujos indirectos (Indirect flows) se refiere a la mochila ecológica (ecological rucksack) asociada con los productos importados. (Eurostat, 2001). Esta se calcula en función a factores estandarizados por cada tipo de material.
- Requerimientos materiales totales (El Total Material Requirement, TMR). Indica el volumen total de lo ingresado en la economía local, por lo tanto, incluye la cantidad potencial de desechos y emisiones al ambiente, por lo que proporciona una estimación general del posible impacto ambiental asociado con la extracción y el uso de los recursos naturales (Adriaanse *et al.*, 1997).
- Consumo total de materiales (Total Material Consumption, TMC). Mide el uso total de material asociado a las actividades de producción y de consumo doméstico, incluidos los flujos indirectos importados (ver TMR) menos las exportaciones y los flujos indirectos asociados de las exportaciones. TMC es igual a TMR menos las exportaciones y sus flujos indirectos.
- La Total Domestic Output to nature (TDO), Es la salida total de materiales hacia la naturaleza, suma los flujos ocultos locales al DPO y representa la cantidad total de salidas materiales al ambiente causada directa o indirectamente por la actividad económica humana (Matthews *et al.*, 2000).

En el cálculo del metabolismo deben considerarse algunos elementos de equilibrio para los procesos de combustión y respiración.

- Del lado de las entradas, el oxígeno necesario para la ignición de combustibles, así como para la respiración de humanos y ganado.
- Del lado de las salidas, el vapor de agua y CO² resultado de la ignición de combustibles más lo producido por la respiración de humanos y ganado.

En la Figura 19, se muestra un diagrama que esquematiza de forma general los indicadores expuestos anteriormente.

Figura 19 Diagrama de balance de entradas y salidas de flujos de material.



Fuente: (Matthews *et al.*, 2000)

2.5.2 El método de simulación de Monte Carlo

La simulación de Monte Carlo, también conocida como el Método de Monte Carlo o una simulación de probabilidad múltiple, es una técnica matemática que se utiliza para estimar los posibles resultados de un evento incierto. Fue una técnica inventada por John Von Neumann y Stanislaw Ulam durante la Segunda Guerra Mundial para mejorar la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre. Monte Carlo hace alusión a un casino en Mónaco ya que el azar es central en este enfoque.

2.6 Comentarios finales

El Metabolismo Hídrico Urbano es un fenómeno que emerge de la relación sociedad y la naturaleza, por lo que, fue necesario indagar en los preceptos ontológicos relacionados con aquella relación para construir un modelo de Metabolismo Hídrico Urbano con bases ontoepistemológicas. La teoría de Sistemas Complejos de Rolando García es una herramienta construida desde bases ontoepistemológicas alternativas a las de la ciencia normal que tiene el objetivo de plantear los problemas socioambientales para su análisis, y dado que el Metabolismo Urbano (por lo tanto, también el Metabolismo Hídrico Urbano) es un fenómeno socioambiental, entonces la teoría de Sistemas Complejos es útil para ordenar y esquematizar nuestro modelo.

El concepto de Metabolismo Hídrico Urbano deriva del Metabolismo Socioeconómico que ha tenido una larga evolución desde su primera mención en los textos de Marx hasta la actualidad, donde el concepto se ha complejizado al grado que se relaciona con los nexos urbanos, y diversas disciplinas híbridas dentro de las que destacan la ecología urbana, la ecología política urbana, la ecología industrial, entre otras. Uno de los métodos principales para estimar el Metabolismo Hídrico Urbano es el método de Contabilidad de Flujos Materiales, que se basa en la primera ley de la termodinámica y se refiere a un balance de materia para el sistema estudiado. En el presente estudio se utilizó el método de Monte Carlo para estimar ciertos flujos hídricos dentro de este modelo, por lo que, se demuestra su compatibilidad con el concepto de Metabolismo Urbano.

Finalmente, los conceptos de Derecho Humano al Agua y al Saneamiento y la Seguridad Hídrica como importantes, son importantes ya que guían el deber ser en la gestión del agua en sociedad mexicana actual, y dentro de ella la ciudad de Puebla. Al ser conceptos con relevancia social, entonces estos conceptos son pertinentes en la construcción del modelo socioambiental donde se analice al Metabolismo Hídrico Urbano en la ciudad de Puebla.

3 MARCO CONTEXTUAL. LA CIUDAD DE PUEBLA EN SU CONTEXTO

SOCIOAMBIENTAL

“el sistema como totalidad es abierto, es decir, carece de fronteras rígidas; está inmerso en una realidad más amplia con la cual interactúa por medio de flujos de materia, energía, recursos económicos, políticas regionales, nacionales, etc.”.

Rolando García (2006)

Al ser el MHU un sistema complejo, es importante conocer sus condiciones de contorno que interactúan con él, como lo son los aspectos biofísicos alrededor de la ciudad estudiada, o la realidad histórica, socioeconómica de la ciudad. Aunque ningún estudio puede abarcar la totalidad de relaciones existentes en su sistema, en este Capítulo se describen los aspectos biofísicos y socioeconómicos relevantes que dan forma al Metabolismo Hídrico Urbano en la ciudad de Puebla.

3.1 Ubicación y características orográficas de la zona de estudio

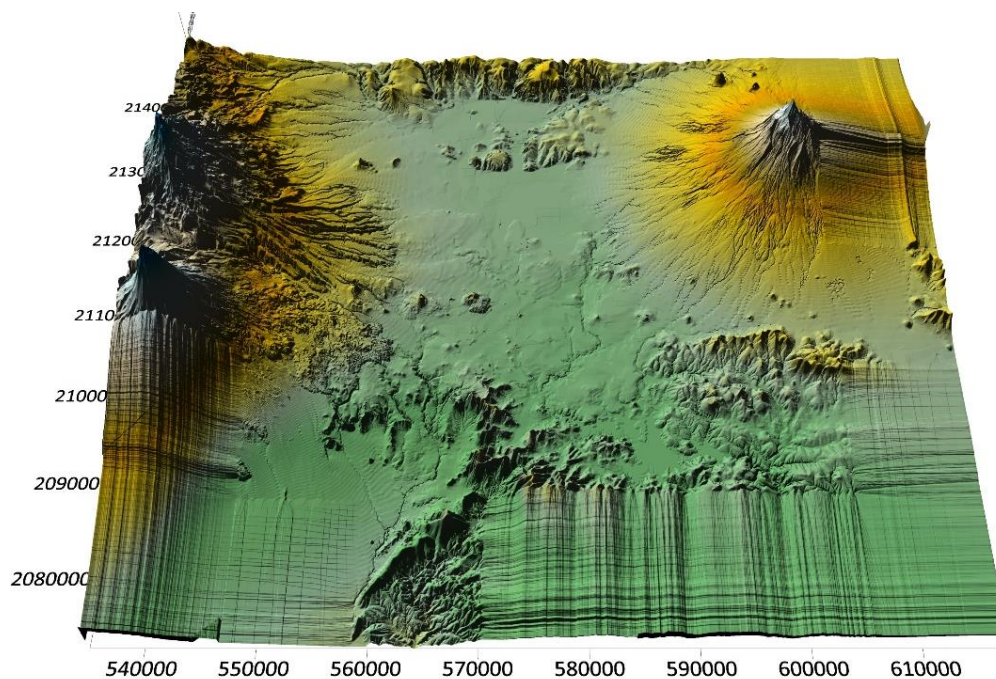
La ciudad de Puebla se ubica en el Valle de Puebla, que se encuentra en el “Eje Neovolcánico” o “Faja Volcánica Transmexicana”, que atraviesa el territorio nacional de oeste a este y se caracteriza por las altas cumbres, valles y cuencas. Su origen se estima en el Plioceno al Pleistoceno³¹, aproximadamente entre los 5 a los 2.5 millones de años antes de nuestra era (Rzedowski, 1994). El Valle de Puebla se ubica

³¹ Plioceno y Pleistoceno son divisiones de la escala temporal geológica. El primero pertenece al periodo Neógeno el cual comienza hace 5.33 millones de años y termina hace 2.59 millones de años. El segundo pertenece al periodo al Cuaternario el cual comienza hace 2.59 millones de años y finaliza aproximadamente en el 10,000 AC.

dentro de la subprovincia de “Lagos y Volcanes del Anáhuac”³², con una altura promedio de 2,140 metros sobre el nivel del mar. Su topografía es plana con un ligero declive en dirección de noreste a suroeste, con una uniformidad que se interrumpe por cerros de baja altura como el cerro de Loreto y Guadalupe con características basálticas al noreste de la ciudad, el cerro de San Juan de origen eruptivo al oeste y el conde al norte de la ciudad (INEGI, 2000).

La mayor superficie urbana de la Zona Metropolitana se encuentra en el Valle de Puebla, comparte amplias extensiones de agricultura de riego y de temporal que aprovecha las aguas del Rio Atoyac y Zahuapan, además de los suelos profundos y fértiles (Figura 20).

Figura 20 Modelo digital de elevación del área de estudio



Fuente: Elaboración propia en función a cartas topográficas 1:20000 de INEGI.

³² Lagos y Volcanes del Anáhuac se extienden por toda la parte central del país, desde el límite occidental de Veracruz hasta el Estado de México, y el del centro de Hidalgo hasta las sierras mixtecas poblanas y oaxaqueñas, siendo una región de condiciones ambientales particulares e importante biodiversidad

El perfil geomorfológico del Valle de Puebla se limita al poniente por la Sierra Nevada, con los volcanes Popocatepetl e Iztaccihuatl de alturas superiores a las de 5 mil msnm; hacia el norte se limita con el volcán La Malinche y el bosque de Tlaxcala, que tiene diversas fuentes de agua, infiltración y embalses naturales y artificiales, así como extensas laderas que han sido de uso agrícola; al oriente se encuentra con el Serrijón de Amozoc, que es una pequeña cadena de cerros que inician con el cerro de nombre Tepoxuchitl con 140 metros de alto sobre el valle, y se extiende de noreste a sureste hasta a los cerros bajos como el de la Cruz ubicado en Tepeaca, ubicada en el Valle de Serdán; al sur se encuentra la depresión de Valsequillo, que es una fisura que se abre entre el Valle de Puebla y la Sierra del Tentzo y sirve de cauce al Río Atoyac, el cual erosionó el cañón conocido como Balcón del Diablo. En la actualidad este cañón sirve como embalse para la presa de Manuel Ávila Camacho, también conocida como presa de Valsequillo, considerada un importante ecosistema para las aves migratorias.

Al sur de la presa se encuentra la sierra baja del Tentzo, que es una cordillera de cerros bajos, generalmente pedregosos, calizos y áridos, con algunas áreas de vegetación de bosque de encino y encino-pino, esta inicia desde el municipio de Ocoyucan y termina en el municipio de Molcaxac. Representa una zona con diversidad biológica importante y que está declarada un área natural protegida, y esta sierra a su vez limita al Surponiente con el Valle de Atlixco y Matamoros y al Suroriente con La Mixteca Poblana.

3.1.1 Volcán la Malinche como zona de recarga del acuífero del valle de Puebla

La Malinche es un volcán aparentemente inactivo ubicado al norte del municipio de Puebla (Figura 21), forma parte de las elevaciones volcánicas más antiguas de la Faja Volcánica Transmexicana, su formación data del Mioceno³³. Su altitud máxima es de 4,461 metros sobre el nivel del mar y sus amplias y

³³ El Mioceno es la cuarta época geológica de la Era Cenozoica, la cual comenzó hace 23 millones de años y terminó hace 5 millones de años.

deforestadas de faldas se extienden al norte del Valle de Puebla. La superficie que el volcán ocupa dentro de la delimitación del municipio de Puebla es de 152.7 km², que equivale a 27.4% de la superficie del municipio de Puebla (CONANP, 2013; Yarza de De la Torre, 2003). En sus inmediaciones se encuentran bosques de pino, pino-encino y oyamel, en la parte más alta domina el pastizal de alta montaña. En su cumbre no tiene vegetación y se cubre de nieve en invierno. La zona del Volcán la Malinche se decretó como Área Natural Protegida desde el 6 de octubre de 1938, como un sitio de belleza natural que constituye un museo vivo de flora y fauna comarcanas (DOF, 6 de octubre de 1938).

La Malinche es importante por los arroyos que bajan en todas direcciones, algunos son de agua dulce, otros de aguas termales y algunos de ellos sólo llevan agua en épocas de lluvia (CONANP, 2013). El volcán tiene función dentro del ciclo del agua en la zona al funcionar como un elemento de captación de agua de lluvia que posteriormente se escurre en la superficie o se percola al acuífero. El cuidado del régimen hidráulico en la zona del volcán y de sus bosques es necesario para evitar la erosión en los terrenos y mantener el equilibrio climático a su alrededor. Sin embargo, la zona está seriamente amenazada por la deforestación, que es más intensa en la zona que pertenece al municipio de Puebla, donde no se percibe éxito de las acciones para conservar, reforestar, disminuir las actividades de extracción ilegal de productos maderables (Escenario Tlaxcala, 2022).

Figura 21 Vista del volcán de la Malinche desde la ciudad de Puebla



Fuente: (Puebla, 2017)

Desde la perspectiva hídrica el volcán La Malinche y la Presa de Valsequillo tienen funciones importantes en el ciclo del agua, ya que el primero funciona como un elemento de captación de agua de lluvia y el segundo sirve como zona de acumulación de los escurrimientos superficiales después de que atravesaron la ciudad y por lo tanto, también recibe y acumula la contaminación hídrica de la ciudad.

3.2 Condiciones climáticas en la región

Las condiciones atmosféricas del Municipio de Puebla están determinadas por la geomorfología³⁴, la temperatura, régimen de las precipitaciones, humedad atmosférica, presión atmosférica, evaporación, nubosidad, radiación solar y vientos. Los climas del Municipio de Puebla son generalmente dos, el templado subhúmedo y el invierno frío de acuerdo con la clasificación de Köppen³⁵ (E. García, 2004).

³⁴ Geomorfología es una rama de la geografía y de la geología que tiene como objetivo el estudio de las formas de la superficie terrestre.

³⁵ La clasificación climática de Köppen consiste en una clasificación climática natural mundial que identifica 5 tipos de clima principales subdivididos en 30 clases con una serie de letras que indican el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones que caracterizan cada una.

El clima templado C(wl) tiene una temperatura media anual de 18 a 20 °C, con una temperatura promedio del mes más frío que no desciende de los -3 °C. En el mes más cálido no sobrepasa los 22°C, aunque las temperaturas cálidas extremas pueden ser superiores. En invierno y época de secas la precipitación del mes puede ser menor a 40 mm de lluvia. El clima descrito se distribuye del centro hacia el sur del municipio, y conforme se interna en la sierra del Tenzo tiende a mayor sequedad e incremento de temperatura. En general en el municipio de Puebla se encuentra al límite de los climas templados del centro del país y los cálidos y semicálidos del pacífico sur.

Otra variación del clima templado es el C(w2), que presenta básicamente las mismas características que el anterior, sin embargo, es ligeramente más lluvioso con una precipitación mayor a 55 mm. Se extiende al norte y poniente del municipio de Puebla, debido a las mayores altitudes y a la presencia de vegetación del volcán La Malinche y hacia la Sierra Nevada que provocan la formación de nubes.

El clima Cb'(wb) se encuentra en las inmediaciones de La Malinche y se describe como semifrío subhúmedo con verano fresco largo. Cuenta con una temperatura media anual entre 5 y 12 °C. La temperatura más fría no es menor a los -3°C y en el mes más cálido menor a 22 °C. Finalmente, en la cima de La Malinche se encuentra un clima frío E(T)CHw, con una temperatura media entre -2°C, y 5°C. Este clima favorece el desarrollo de pastizal de alta montaña, que en ocasiones presenta nieve.

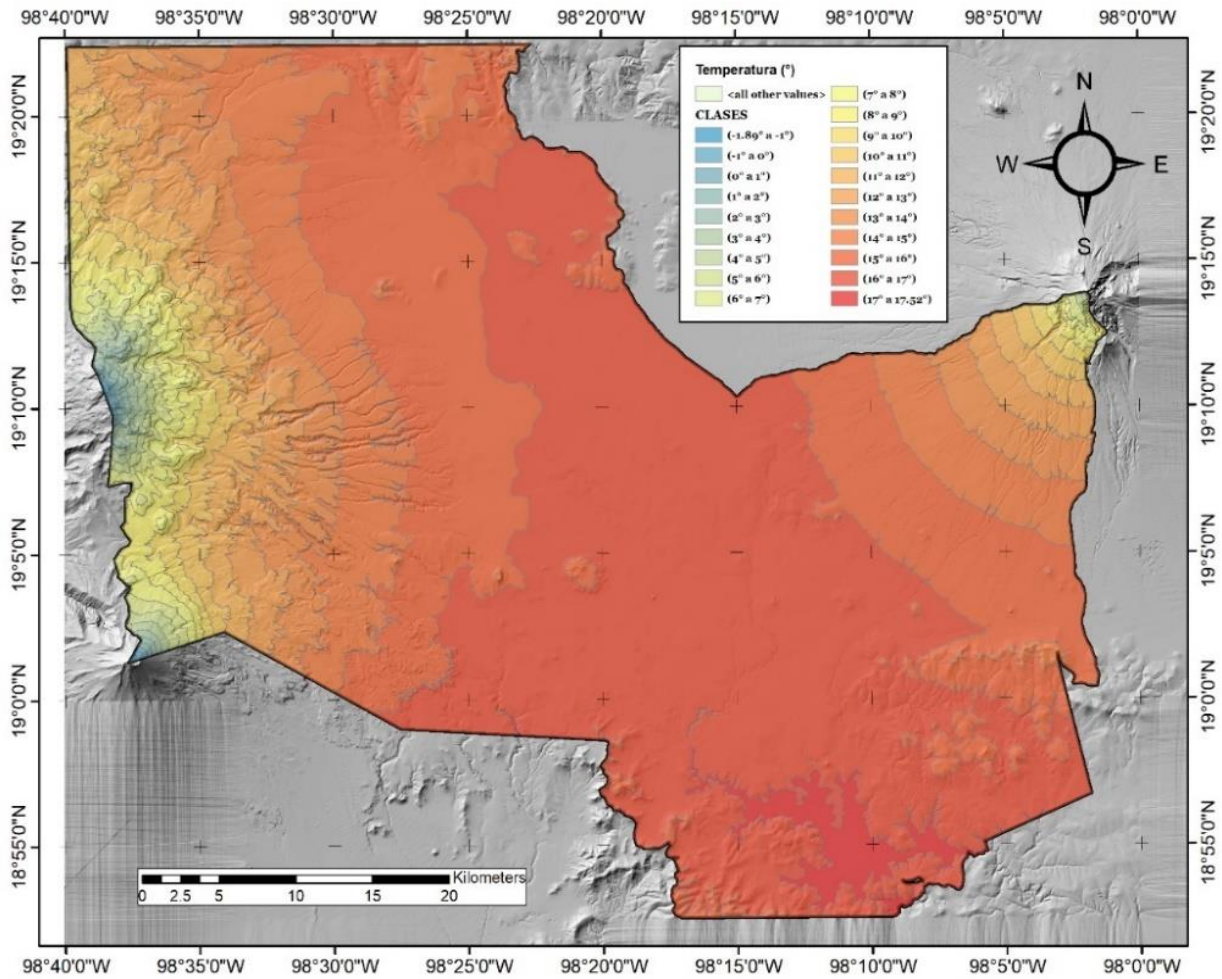
Las temperaturas máximas en la ciudad de Puebla oscilan 26.3 °C a 27.9 °C, y alcanza los 35 °C en horas cálidas debido a la isla de calor³⁶. La oscilación térmica³⁷ en la ciudad es de entre 10 °C a 18 °C, con temperaturas extremas de diciembre a mayo, y temperaturas estables de junio a noviembre SMN (2015). De abril a junio se presentan las temperaturas más altas, después el verano lluvioso y reduce la insolación,

³⁶ Isla de calor se refiere a cuando en el centro urbano hay una temperatura mayor que en los alrededores debido a la acumulación de calor en materiales como absorbentes de calor como el hormigón.

³⁷ Oscilación térmica o amplitud térmica es la diferencia numérica entre los valores máximos y mínimos de temperaturas observados en un punto dado durante un periodo de tiempo.

minimizando el calentamiento intensivo del suelo por la nubosidad. En la Figura 22 se presentan los valores de las temperaturas promedio en la zona de estudio.

Figura 22 Temperaturas anuales en el área de estudio.



Fuente: Elaboración propia

El promedio mensual de la irradiación solar en el municipio es de 221 horas de asoleamiento, con un máximo de 259 horas promedio en marzo, y un mínimo de 172 horas en septiembre debido a la mayor nubosidad.

3.2.1 Precipitaciones en la región del acuífero del valle de Puebla

En general, tomando en cuenta la región del acuífero se tienen en promedio valores de lluvia de 860 mm con una evaporación potencial media de 1,845 mm anuales (CONAGUA, 2020), (Figura 23). Las lluvias en el municipio inician a finales de abril o mayo y terminan en octubre, con una marcada canícula³⁸ entre julio y agosto. Las lluvias más intensas (superiores a la media) son posteriores a la canícula debido a los vientos alisos³⁹ provenientes del Golfo de México que transportan mayor humedad y se combinan con las nubes orográficas⁴⁰ provocando precipitaciones orográficas⁴¹ en torno al volcán La Malinche. De acuerdo con E. García & CONABIO (1998) las precipitaciones se presentan en mayor cantidad en la cima de La Malinche y en la Sierra del Tentzo, que alcanzan entre 1,000 y 1,200 mm anuales, en las inmediaciones de la Malinche se presentan precipitaciones que oscilan entre los 800 y 1000 mm, y en el centro de la ciudad la precipitación oscila entre los 600 y 800 mm. El periodo húmedo posterior a la canícula es apto para la producción agrícola y el crecimiento vegetativo en los ecosistemas como el desarrollo del bosque de coníferas y latifoliadas del centro del país.

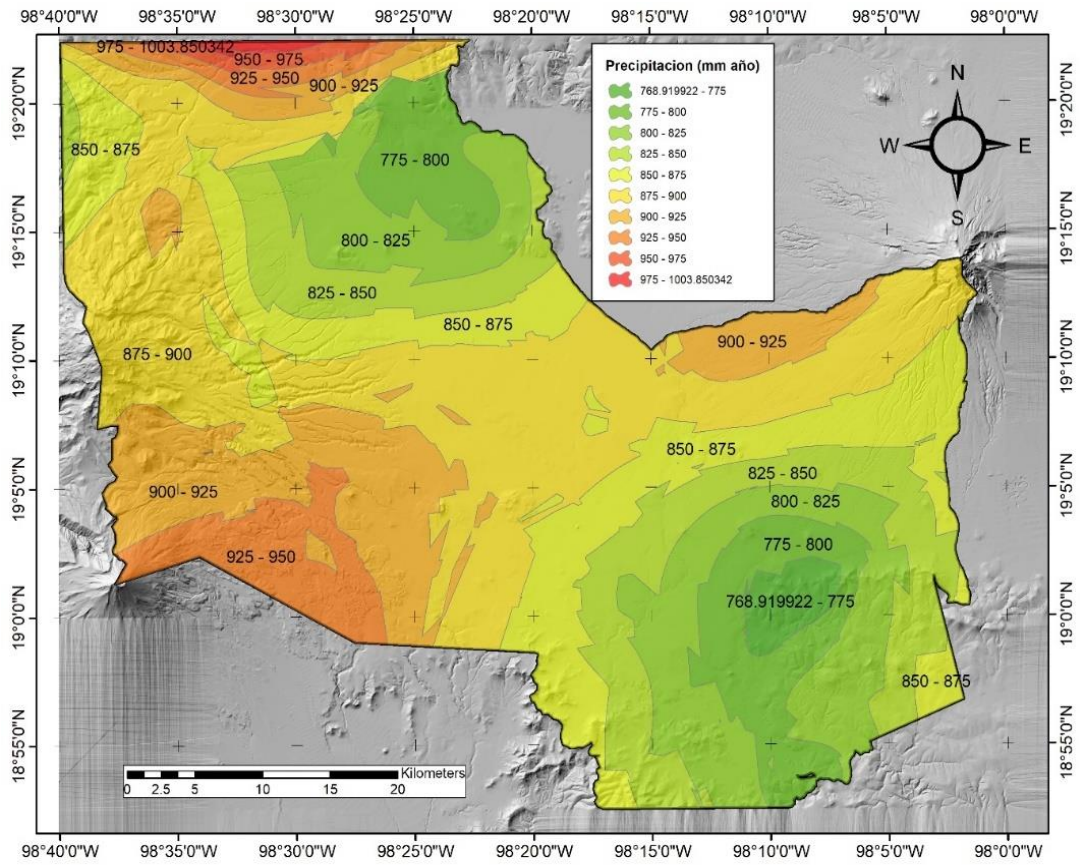
³⁸ Canícula es la temporada del año en la cual el calor es más fuerte, tanto en el hemisferio sur como en el norte.

³⁹ Viento que sopla regularmente de este a oeste desde las altas presiones subtropicales hacia las bajas presiones ecuatoriales. Para el hemisferio norte sopla de noreste a suroeste y en el hemisferio sur de sureste a noreste.

⁴⁰ Nube orográfica es una masa de aire forzada desde una zona baja hacia otra más alta que se enfría adiabáticamente, por lo que incrementa su humedad relativa al 100% provocando nubes y lluvias.

⁴¹ Precipitación orográfica es la producida por el ascenso del aire húmedo al encontrarse con un obstáculo orográfico, como una montaña.

Figura 23 Precipitación anual en el área de estudio.

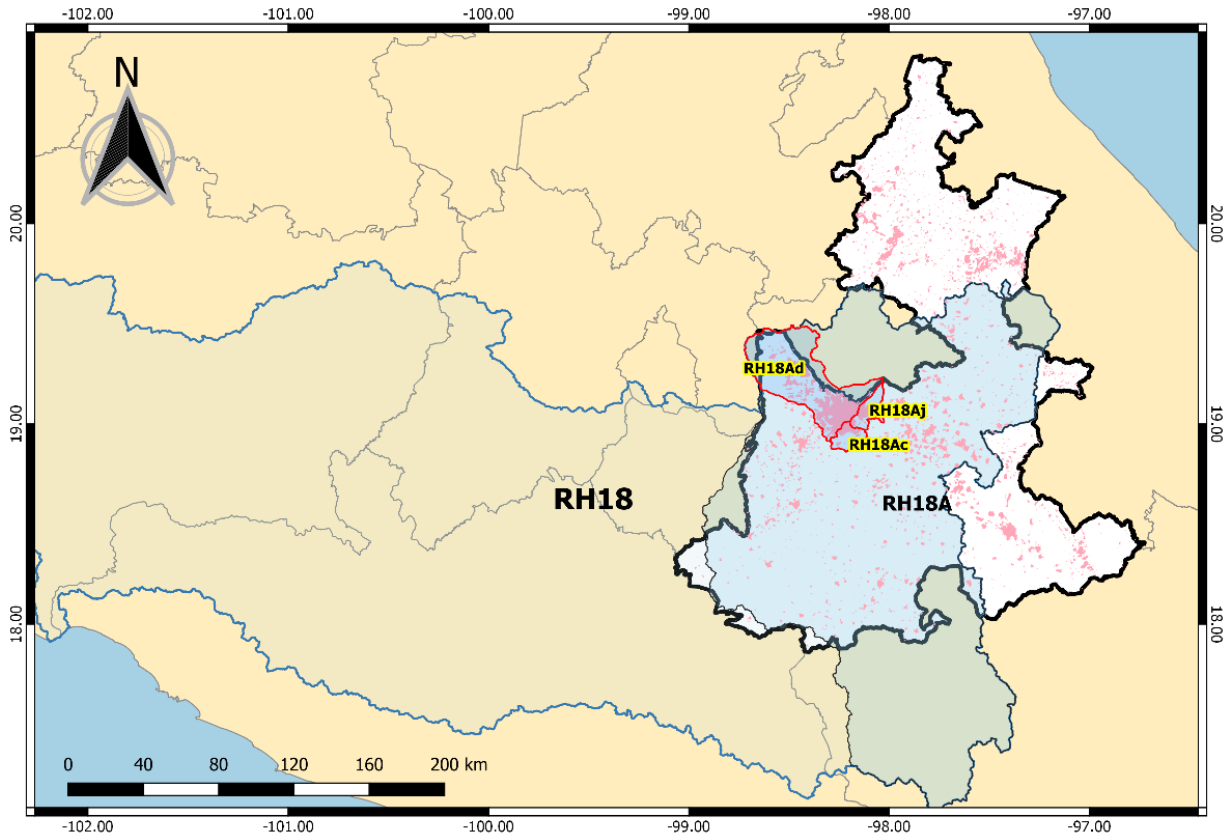


Fuente: Elaboración propia.

3.3 Características hidrográficas de la región

La ciudad de Puebla se ubica en las subcuencas RH18A c, d y j, que forman parte de la Subregión Hidrológica del Alto Balsas (Véase Figura 24). El espacio que suman las tres subcuencas es aproximado a la superficie circunscrita en el Acuífero del Valle de Puebla. Por este motivo, las estimaciones de la cantidad de lluvia en el modelo de MHU realizado en este trabajo se calculó tomando como referencia esta superficie aproximada.

Figura 24. Región Hidrológica, Cuenca y Subcuencas en donde se encuentra la Ciudad de Puebla.



Fuente: Elaboración propia.

La cuenca formada por las tres subcuencas mencionadas es exorreica, grande, de forma oval, con drenaje asimétrico que finaliza en la presa de Valsequillo (al sureste de la Ciudad de Puebla). La altura media tomando en cuenta la altura de los volcanes es de 2,462 msnm, sin embargo, la altura media sólo de la zona urbana oscila entre los 2,140 y 2,160 msnm. Su curva hipsométrica⁴² indica que es una cuenca vieja y erosionada. En la Tabla 3 se resumen las características hídricas del espacio que suman las tres microcuencas citadas.

⁴² La curva hipsométrica indica el porcentaje de área de la cuenca que existe por encima de cierta cota determinada. La forma de su curva indica su potencial erosivo que a su vez indica la fase de juventud, madurez o vejez de la cuenca en función de su potencial erosivo.

Tabla 3. Características físicas e hidrográficas del área de estudio.

Parámetro	Descripción
Cuenca	Puebla
Elevaciones (m.s.n.m.)	(5383 - 1976)
Descripción de la cuenca	Grande
Clasificación	Exorreica
Forma de la Cuenca	Oval - oblonga a rectangular oblonga
Tipo de drenaje	Asimétrico
Área (km ²)	2385.82
Perímetro	261.12
Altura media (m.s.n.m.)	2462.27
Relieve (m.s.n.m.)	3406.32
Pendiente de la cuenca (%)	11.66
Longitud de la cuenca (km)	79
Índice de compacidad (adimensional)	1.507545428
Factor de forma (adimensional)	0.382281686
Curva hipsométrica	Cuenca erosionada
Número de orden	6
Número de escurrimientos	6057
Longitud de los escurrimientos (km)	4163
Longitud del escurrimiento principal (km)	128.64
Densidad drenaje (km/km ²)	1.744892741
Densidad hidrológica (n/km ²)	2.53874978
Relación de bifurcación (RB adimensional)	1.75 (H) - 4.96 (S)
Pendiente del río principal (%)	4.919
Tiempo de concentración (hrs)	12.80501213

Fuente: Elaboración propia

3.3.1 El Río Atoyac y otros escurrimientos superficiales que atraviesan la ciudad de Puebla

El Río Atoyac nace en la vertiente oriental del Volcán Iztaccíhuatl, se une con las vertientes de los ríos Temixco, Ajejela, y Jilotepec, después surca el valle de San Martín Texmelucan, fluye por el sur del valle de Nativitas, en cuyo extremo sureste se une con el Río Zahuapan, dando forma plena al Río Atoyac. Mas adelante confluye con los arroyos de Papalotla, Atlacamonte y San Jerónimo en el territorio tlaxcalteca y el Río San Francisco (Almoloya), que atraviesa el área construida de la ciudad de Puebla, donde cruza una sección entubada hacia el sureste de la ciudad de Puebla.

El tiempo que tarda en fluir el agua del Río Atoyac desde su nacimiento hasta el desembocaje de la presa de Valsequillo es de 12.8 horas (tiempo de concentración⁴³) y recorre una distancia de 128 kilómetros con una pendiente aproximada de 4.9%. La sección del Río Atoyac que coincide con la ciudad de Puebla es de aproximadamente 35 kilómetros de norte a sur por el límite occidental del municipio, que inicia desde la autopista México Puebla hasta su desembocadura en el cañón denominado Balcón del Diablo (Presa de Valsequillo). Recibe aportaciones de aguas residuales que recibe de los colectores de barrancas del Conde y Honda; del Río San Francisco en su margen izquierda y de los Ríos Prieto, Rabanillo y Zapatero por la margen izquierda (IMPLAN, 2013), y su caudal promedio es de l/s (DOF, 6 de julio de 2011).

3.3.1.1 Río San Francisco (Almoloya)

El Río Almoloya, mejor conocido como Río San Francisco atraviesa la ciudad de Puebla de norte a sur, y se encuentra entubado en gran parte de su trayecto, ubicado debajo del Bulevar 5 de mayo. El Río proviene de los escurrimientos del Volcán La Malinche y fluye de norte a sur atravesando la zona céntrica colonial de la ciudad. Su recorrido es de 8.5 km desde La Malinche hasta su contacto con el Río Atoyac a la altura de la colonia San José Mayorazgo. A la altura del centro histórico de la ciudad el Río San Francisco une con el Arroyo Xonaca que también está entubado.

En la historia de la ciudad de Puebla el Río San Francisco ha causado frecuentes inundaciones, razón por la que se entubó desde la década de los sesenta del siglo XX, sin embargo, las inundaciones continuaron y fue hasta mediados de la última década del siglo XX cuando se ejecutaron nuevas obras que redujeron el riesgo de inundación.

⁴³ Tiempo de concentración está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante.

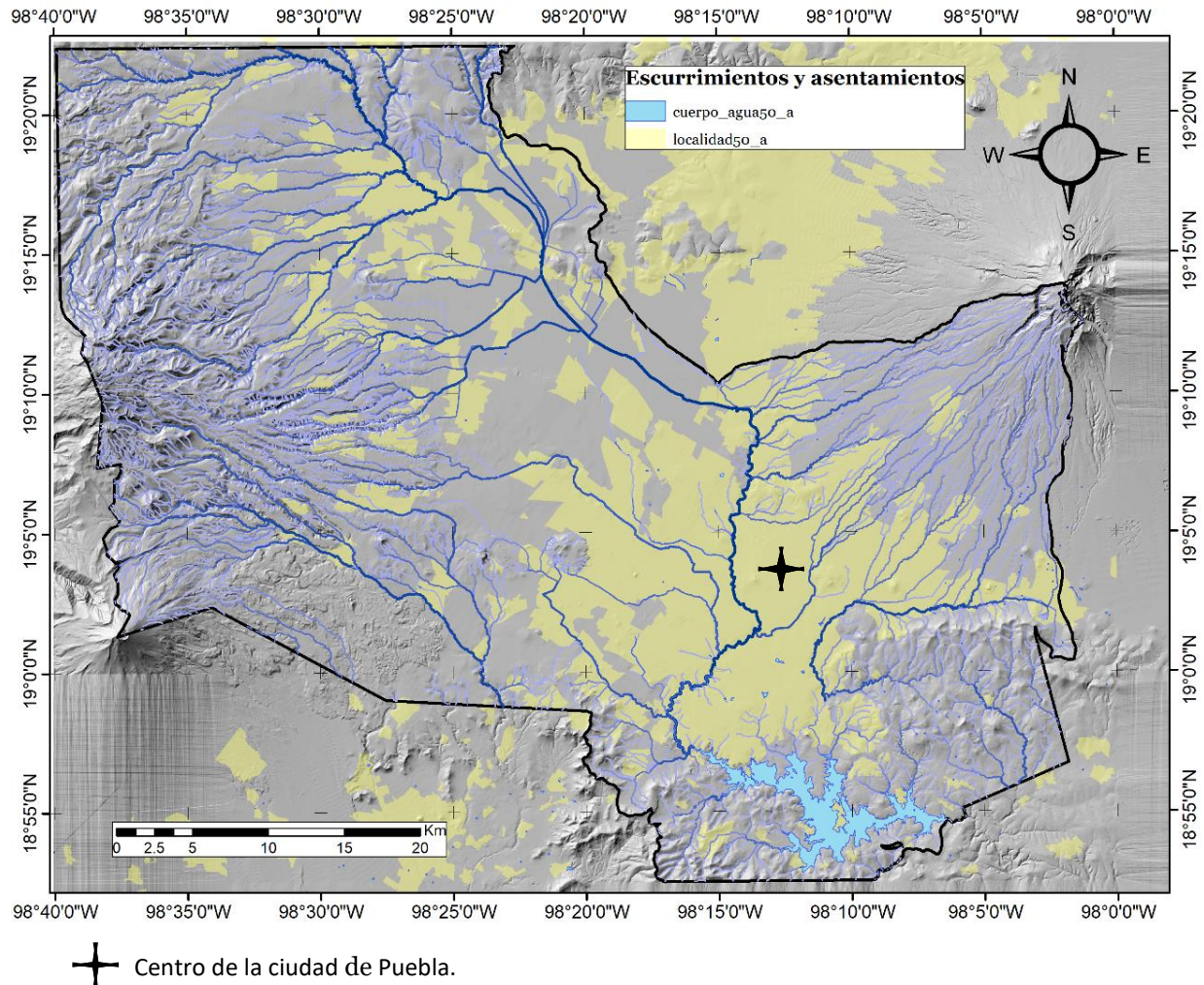
3.3.1.2 Río Alseseca

El Río Alseseca tiene un recorrido de 12 kilómetros desde las barrancas de La Malinche hasta la presa de Valsequillo. En las inmediaciones de La Malinche el Río tiene un caudal bajo e intermitente, su recorrido inicial va de norte a sureste, donde encuentra obstáculo con el Serrijón de Amozoc, que hace a que cambie su dirección de oriente a poniente. Más adelante el Río circunda al cerro del Tepoxuchitl para descender en pendiente ligera hacia el sur hasta desembocar en el medio espejo del Vaso de Valsequillo. Sus tributarios son las barrancas Chahuevenga, Tlaxcoctepetl, Tlanixahuatl, San Diego, Los Álamos, Xaltonatla, la Pila, Manzanilla, Techichila, Mixactlatl (IMPLAN, 2013).

3.3.1.3 Corrientes intermitentes

Dentro del Municipio de Puebla, algunas corrientes intermitentes en la zona de la Malinche son la del Conde Xaltonatl, el Muerto Tototzina, y el Tentzo el Chorro de Agua, que en temporada de lluvias provocan inundaciones eventuales en el norte de la ciudad de Puebla. A causa de la erosión pluvial que generan estas corrientes existen barrancas de hasta 15 metros de profundidad. Por otro lado, los manantiales relevantes en el municipio de Puebla son Agua Azul, La Paz, Rancho Colorado, San Carlos, San Sebastián, y Paseo bravo (IMPLAN 2013). En la Figura 25 se muestra algunos de los escurrimientos citados y la mancha urbana de la zona metropolitana de Puebla y sus alrededores.

Figura 25. Escurrimientos y cuerpos de agua que atraviesan la ciudad de Puebla.



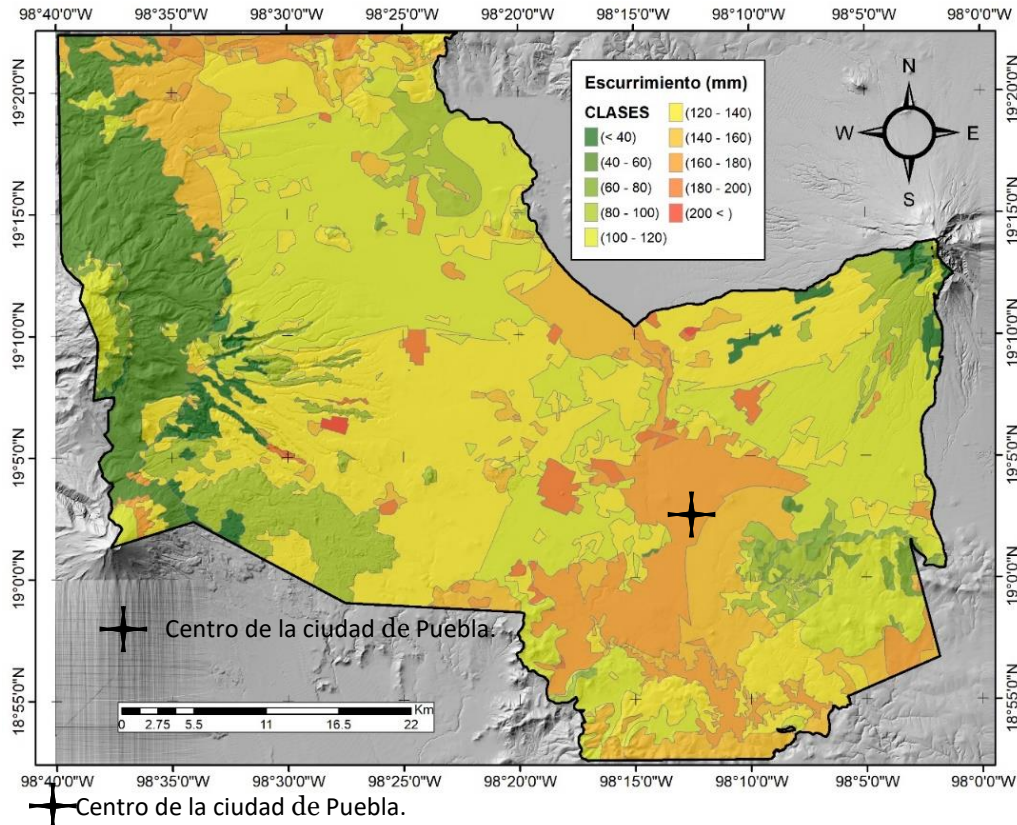
Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.3.1 Magnitud de los escurrimientos superficiales

Los escurrimientos superficiales en la cuenca tienen diferente magnitud según la densidad de las precipitaciones y el tipo de suelo. En la Figura 26 se muestra una estimación gráfica de los escurrimientos superficiales en el área de estudio, que sirvió para estimar la magnitud de precipitación, escurrimientos, infiltración y evaporación para el modelo de MHU de este trabajo. Con color rojizo se indican las zonas de mayores escurrimientos debido a la impermeabilización de la zona construida en la ciudad. Conforme el

tono se torna hacia la verde muestra menor escurrimiento y en consecuencia mayor infiltración, que indica ser una zona de recarga del acuífero del Valle de Puebla.

Figura 26 Escurrimientos promedio anuales en el área de estudio. En milímetros.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 La Presa de Valsequillo al sur de la ciudad de Puebla y su función

Los cuerpos lagunares en operación tienen la función de vasos reguladores de las corrientes y escurrimiento en la ciudad, de entre ellos se identifican la Laguna de Chapulco, Laguna de San Baltazar, Laguna del Parque Revolución Mexicana, Laguna de Ciudad Universitaria, Laguna de Amaluquilla, Laguna del Parque del Arte y la Laguna de Agua Santa (IMPLAN, 2013). El vaso regulador de mayor tamaño es la presa Manuel Ávila Camacho, mejor conocida como de Valsequillo, que es un lago artificial construido

entre los años 1938 y 1946 con el objetivo de regular y aprovechar el escurrimiento del Río Atoyac para dotar de agua a aproximadamente 21,804 hectáreas de los distritos de riego de Valsequillo, Tepeaca Tecamachalco, Tlacotepec y Tehuacán.

La superficie de la presa de Valsequillo es de aproximadamente 2,845 hectáreas, con una cortina⁴⁴ es de 85 metros de altura y más de 400 metros de longitud. La presa acumula sedimentos que disminuyen su capacidad de almacenamiento que en su diseño fue de 400 millones de metros cúbicos de agua, sin embargo, para 2010 su capacidad se redujo hasta 308.28 millones de metros cúbicos y para 2014 solo se tiene 281 millones de metros cúbicos, que corresponde al 70% de su capacidad original. Estos sedimentos se transportan en el agua debido a la pérdida de cobertura vegetal en la cuenca aportadora, más los problemas de drenaje y tratamiento de agua no resueltos del sistema urbano Poblano-Tlaxcalteca. Esto resulta en la disminución de su capacidad de almacenamiento de agua (CONAGUA, 2012).

El crecimiento urbano a nivel metropolitano desde la zona de San Martín Texmelucan, el estado de Tlaxcala, y la ciudad de Puebla, tiene como consecuencia la degradación del ecosistema acuático. Los ríos Atoyac y Alseseca, entre otros escurrimientos y barrancas menores aportan caudales que acarrear grandes cantidades de materiales de origen urbano con carga orgánica, así como industrial con contaminación química, mismos que incrementan de forma exponencial la población del lirio acuático causando eutrofización⁴⁵ en la presa de Valsequillo, también la elevada concentración de contaminantes limita el uso del agua por la población que resulta en un problema para el mantenimiento de vida acuática y de aves migratorias (Rodríguez-Espinosa *et al.*, 2011).

Los contaminantes en la presa varían desde los contaminantes de naturaleza orgánica hasta los metales pesados como arsénico, cadmio, cianuros, cobre, cromo, níquel, plomo y zinc que tienen su origen

⁴⁴ Cortina de una represa se le denomina a la barrera fabricada de piedra, concreto o materiales sueltos que se construye en el paso de un río o arrollo.

⁴⁵ Eutrofización es el proceso natural en los ecosistemas acuáticos, que se caracteriza por el aumento de la concentración de nutrientes como nitratos y fosfatos, con los consiguientes cambios en la composición de la comunidad de seres vivos.

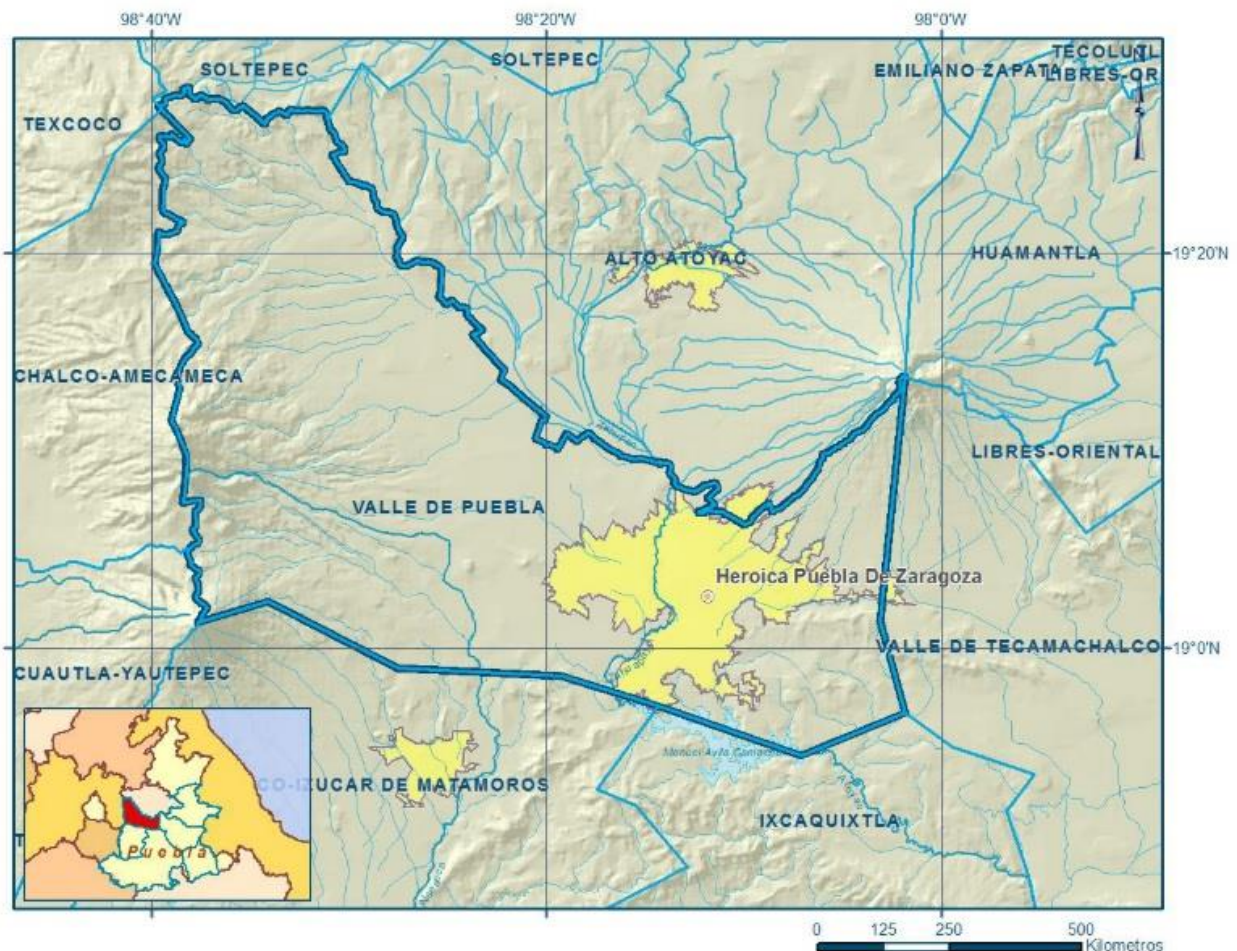
en el Río Atoyac (Morales-García *et al.*, 2017). La disminución de la velocidad del flujo de agua al desembocar en la Presa resulta en un vaso de sedimentación de los sólidos suspendidos y por consecuencia se genera un efecto de depuración en parámetros como DBO₅, DQO. Lo anterior más la asimilación de los metales pesados por el abundante lirio acuático genera un efecto de biofiltro que disminuye los parámetros de la demanda bioquímica de oxígeno, es decir, la Presa de Valsequillo realiza una función como de una enorme planta de tratamiento. (Rodríguez-Espinosa *et al.*, 2011). La contaminación puede estar relacionada con las enfermedades en las comunidades aledañas a los cuerpos de agua contaminados (Brenes *et al.*, 2011; Castresana *et al.*, 2018, 2019; Covarrubias-López *et al.*, 2023; Estrada-Rivera *et al.*, 2022; A. Mora *et al.*, 2021; Morales-García *et al.*, 2017).

Por la importancia ecológica de este humedal se han realizado esfuerzos por su conservación y saneamiento, donde la inauguración del Parque Zoológico Africam Safari en los 70's (200 hectáreas de superficie) es una de estas acciones, o el Parque Bicentenario que se inauguró por parte del Gobierno del Estado quien adquirió terrenos aledaños a la presa con el fin de conservar 64 hectáreas del hábitat natural en el norte de la presa y que incluye 30 hectáreas para reforestación y 30 hectáreas para la conservación de aves. Otra estrategia de conservación es el Plan Estratégico de Desarrollo Sustentable de Valsequillo y el Programa Parcial de Desarrollo Urbano Sustentable de Valsequillo (Gobierno del Estado de Puebla, 2011). La CONAGUA publicó la declaratoria de clasificación de los Ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan más sus afluentes en el año 2011 a fin de disminuir los contaminantes que llega a la presa (DOF, 6 de julio de 2011). La presa fue inscrita en la lista RAMSAR (FIR, 2012) el dos de febrero de 2012 como un humedal de importancia internacional, debido a que la presa funciona como un sitio de descanso y albergue temporal para las aves migratorias.

3.3.3 El Acuífero del Valle de Puebla

El Acuífero del Valle de Puebla tiene una extensión de 2,025 km² que equivalen al 5.9% de la superficie del estado de Puebla, e integra en forma total o parcial, los municipios de Amozoc, Calpan, Chiautzingo, Coronango, Cuautinchán, Cuautlancingo, Domingo Arenas, Huejotzingo, Juan C. Bonilla, Nealtican, Ocoyucan, Puebla, San Andrés Cholula, San Felipe Teotlalcingo, San Gregorio Atzompa, San Jerónimo Tecuanipan, San Martín Texmelucan, San Matías Tlalancaleca, San Miguel Xoxtla, san Nicolás de los Ranchos y San Pedro Cholula (DOF, 2019). Las delimitaciones del Acuífero de Puebla se muestran en la Figura 27.

Figura 27 Localización del Acuífero del Valle de Puebla



Fuente: CONAGUA (2020)

Con los estudios geo-eléctricos de la litología⁴⁶ en pozos se indica que el AVP se compone de tres acuíferos, que se denominan superior, medio y profundo. El acuífero superior tiene un espesor promedio que varía entre algunos metros hasta 200 metros, que en la zona de la ciudad de Puebla el promedio es de 130 m, se constituye de sedimentos volcánicos Plio-Cuaternarios (arenas y gravas), se caracteriza su alta permeabilidad y retiene agua de buena calidad. El acuífero medio debajo del superior tiene un espesor promedio de 200 metros, se conforma por andesitas neógenas⁴⁷ fracturadas, algunos depósitos piroclásticos⁴⁸ y conglomerados, al fondo se delimita por rocas carbonatadas⁴⁹ del Mesozoico y depósitos lacustres del Plioceno en la parte superior. Tales rocas se encuentran en la mayor parte de la cuenca, pero en algunos lugares están ausentes. Estos depósitos tienen baja permeabilidad por lo que funcionan como acuitardo⁵⁰, sin embargo, en las áreas fracturadas permiten la conexión vertical entre los acuíferos superior y profundo. El acuífero de mayor profundidad se constituye por rocas carbonatadas mesozoicas de espesor indefinido que retienen agua con altas concentraciones de sales disueltas (Flores-Márquez *et al.*, 2006) (Véase Figura 28).

⁴⁶ Litología es la parte de la geología que estudia las rocas, incluyendo su origen, edad, composición estructura y distribución en la Tierra.

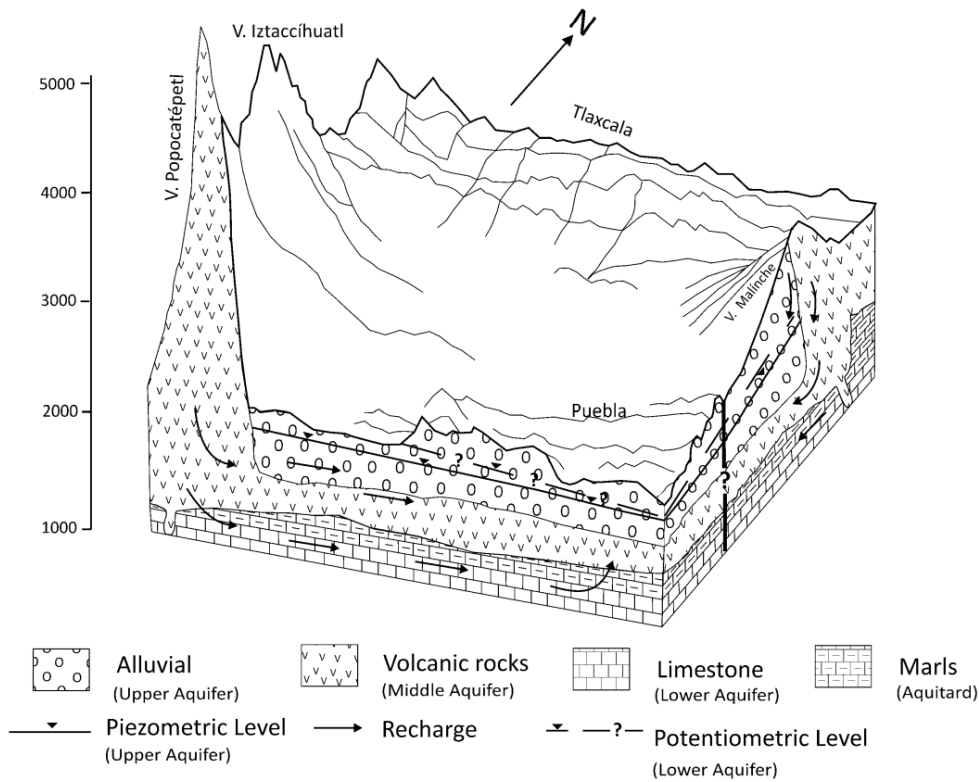
⁴⁷ Andesita es una roca que se encuentra típicamente en los flujos de lava que se enfriaron rápidamente en la superficie, por lo que generalmente están compuestos por pequeños cristales.

⁴⁸ Partículas de magma de tamaño variable (piroclastos) transportados en un medio gaseoso. Los depósitos se forman por la emisión de material piroclástico en una erupción volcánica.

⁴⁹ Rocas carbonatadas o calcáreas (calizas y dolomitas) se conforman por más del 50% de minerales de carbonato.

⁵⁰ Acuitardo es una unidad geológica relativamente impermeable en periodos de tiempo cortos. Sin embargo, puede ser suficientemente permeable como para transmitir cantidades significativas de agua si se observa en superficies extensas y en largos periodos de tiempo.

Figura 28 Modelo conceptual del acuífero del Valle de Puebla.



Fuente: Tomado de (Salcedo-Sánchez *et al.*, 2013)

El acuífero de Puebla se recarga principalmente de las filtraciones de las partes altas y medias de La Malinche y el deshielo de los glaciares de la Sierra Nevada, desde donde se forman corrientes subterráneas que sostienen a los acuíferos alto y medio (DOF 28 de agosto de 2009). Para el caso del municipio de Puebla la principal provisión de las corrientes subterráneas provenientes es La Malinche, que son cortadas por el dique basáltico⁵¹ en Amalucan, Loreto y Guadalupe, que lo hace aflorar en venéeros al norte del municipio a profundidades que fluctúan entre los 8 y 25 metros. De ahí la importancia de la conservación y restauración de áreas forestales en los volcanes cuenca arriba que garantizan el suministro hídrico en la zona urbana (IMPLAN, 2013).

⁵¹ Tipo de yacimiento de las rocas eruptivas intrusivas que se origina al rellenarse una fisura por magma, que luego se consolida. Atraviesa las rocas de forma inclinada.

El AVP es la principal fuente de abastecimiento de la Zona Metropolitana de Puebla que incluye al Municipio de Puebla, donde el crecimiento urbano también incrementó los volúmenes de extracción para el consumo en todos los usos. De acuerdo con el censo de aprovechamientos de 2010, se registró un total de 1200 de aprovechamientos en todo el acuífero, desglosados en 463 son norias, 735 pozos y 2 manantiales. Del total de obras registradas, 1,095 están activas y 105 inactivas. De las obras activas, 408 (37.3%) son para uso agrícola, 292 (2.7%) para uso público-urbano, 155 (14.2%) para uso doméstico, 114 (10.4%) para servicios, 118 (10.8%) para uso industrial y 8 (0.7%) para uso pecuario (CONAGUA, 2020).

La sobreexplotación del acuífero del Valle de Puebla genera déficit que para 2006 se estimó por 12 Mm³/año, y que 1994 a 2002 abatió los niveles piezométricos⁵² del acuífero por 20 metros. Consecuencia de esto es la variación negativa en el almacenamiento del Acuífero por 225.5 Hm³, que representa un promedio anual de -28.2 Hm³/año. La sobreexplotación también provocó la intrusión de agua geotérmica en el agua dulce, lo que derivó en problemas de agua sulfurosa en el acuífero (Flores-Márquez *et al.*, 2006). En general el Acuífero del Valle de Puebla sufre de sobreexplotación (Astudillo Ocampo, 2017; Martínez Morales *et al.*, 2015; Martínez-Austria & Vargas-Hidalgo, 2016; Salcedo Sánchez *et al.*, 2017).

3.4 La ciudad de Puebla en su contexto socioeconómico

El Metabolismo Hídrico Urbano existe para satisfacer las necesidades hídricas en la ciudad, por lo que los factores socioeconómicos de la misma ayudan a entender como está configurado, y la historia de la ciudad ayuda a entender sus transformaciones y el origen de sus problemas. Por tal motivo, para se hizo un recorrido por algunos aspectos históricos y socioeconómicos relacionados con la ciudad de Puebla y que están relacionadas con el agua.

⁵² Los niveles piezométricos son la altitud o profundidad del límite entre la capa freática y la zona vadosa en un acuífero.

3.4.1 Mito fundador de la ciudad de Puebla y otros elementos históricos

La historia de la ciudad de Puebla comienza cuando el obispo de Tlaxcala, Julián Garcés, en la noche del 28 de septiembre de 1530 tuvo un sueño revelador donde un grupo de ángeles lo guiaban hacia un lugar repleto de vegetación y docenas de manantiales, una vez allí, los ángeles delimitaron la ciudad con cuerda, y de esa forma indicaron donde debía estar la ciudad de Puebla. Este sueño inspiró la labor de Fray Julián Garcés, quien con el beneplácito del emperador Carlos V fundaron la ciudad de Puebla de los Ángeles, donde los castellanos pudieran obtener tierras y mercedes que les permitieran alcanzar un mejor nivel de vida.

En el 20 de julio de 1538 en Valladolid Carlos V y su madre la Reina Juana, otorgaron a Puebla un escudo de armas

En referencia al mito fundador de la Ciudad de Puebla Carlos V y su madre la Reina Juana, otorgaron a Puebla un escudo de armas en el que se contempla una ciudad con cinco torres de oro asentadas sobre un campo verde rodeado de un río de agua celeste, y al lado de las torres de la catedral hay dos ángeles uno a cada lado, vestidos de blanco con orlas de color purpura y oros asidos a la Ciudad. Sobre la catedral hay una K y una V, que significa "*Karlous Quintus*". Las dos letras son de oro y en la parte baja de la Ciudad, bajo el campo verde, un río de agua en campo celeste y una orla en torno a dicho escudo, unas letras de oro en campo colorado que dicen: "*Angelis Suis Deus de te ut custodiant te in ómnibus viis tuis*" ("Dios ordeno a sus ángeles que te guardase en todos tus caminos"). En el mito fundador de la ciudad es evidente la denotación celestial del agua para elegir la ubicación de la ciudad.

Figura 29 Escudo de la ciudad de Puebla de los Ángeles



Fuente: Archivo General Municipal de Puebla.

Albores de la ciudad de Puebla

Es probable que el espacio donde se ubica la ciudad de Puebla haya sido habitado miles de años antes de la fundación de la ciudad española, ya que se han hallado restos arqueológicos en la Casa del Mendrugo, la cual se ubica entre el Zócalo de la ciudad y el Río San Francisco, datados aproximadamente a 250 años antes de Cristo (Ayuntamiento de Puebla, 2010).

La ciudad de Puebla se fundó tras la necesidad erigir un pueblo intermedio entre el puerto de la Villa Rica de la Veracruz y la nueva capital virreinal (Ciudad de México), y que este pueblo sirviera de: establecimiento del creciente flujo de inmigrantes españoles que solían llegar sin recursos y sin la esperanza de obtener encomiendas; como descanso y curación para los pasajeros provenientes de Veracruz. Sin embargo, la ciudad de Puebla también fue un experimento de una ciudad utópica en busca de com-

batir las ideas aristocráticas (que más tarde encarnó) en el sentido de proponer una sociedad donde coexistirán pacíficamente los españoles y los indígenas, y donde los segundos no fueran explotados (Hirschberg, 1978).

La ciudad de Puebla tuvo dos fundaciones, la primera fue el 27 de marzo de 1531 en la zona que se ubica entre el Río Almoloya⁵³, el arroyo de Xonaca y el cerro Amacueyatepec⁵⁴. Sin embargo, la debido a inundaciones ocurridas en ese año la ciudad tuvo que fundarse por segunda vez el 19 septiembre del mismo año. Las inundaciones provocaron que gran parte de los pobladores abandonaran el lugar, al grado de que un año después no existieran casas erigidas en el lugar original (Cordero y Torres, 1978; Hirschberg, 1978). Por tradición se eligió a la segunda fecha fundadora como la oficial ya que coincide con el día de San Miguel Arcángel.

Desde la fundación de la ciudad, las aguas del Río San Francisco perdieron gradualmente su original pureza debido a los diferentes usos del agua en la urbe, entre ellos estaban el uso del agua en los molinos, que se descargaba en el primitivo sistema para el desagüe de los desechos de la población. En 1531 mismo año se fundó el primer molino de Gutiérrez Maldonado quien mercedó ocho y media huertas adyacentes al río, ubicadas entre las avenidas 15 a 18 oriente y calles 2 a 4 sur. Este molino primitivo constó de un par de piedras conectadas a un rodezno, especie de turbina o rueda hidráulica de madera que las movía, por lo que requería de una pequeña caída de agua para moverse. Fue hasta 1538 que se implementó el primer sistema rudimentario de distribución de agua, el cual consistió en zanjas que conducían el agua a las fuentes de la ciudad, siendo la primera fuente en medio del ancho patio del convento de San Francisco.

⁵³ Nombre en náhuatl del denominado Río San Francisco y significa lugar donde emana el agua. El cambio del nombre se debió a que en sus laderas se situó el convento de frailes seráficos en honor a San Francisco de Asís.

⁵⁴ Nombre en náhuatl del cerro de Loreto y Guadalupe, donde aconteció la Batalla del 5 de mayo.

El agua en la ciudad de Puebla antes de la década de los 50's del siglo XX

Desde la fundación de la ciudad hasta la primera mitad del siglo XX el metabolismo hídrico urbano de la ciudad de Puebla evolucionó desde el modelo preindustrial, donde las pendientes se aprovecharon para captar los escurrimientos superficiales en la zona, hasta el modelo industrial que inició su transición a partir de la segunda mitad del siglo XIX, siendo en 1855 cuando se firmó el primer contrato de abastecimiento de agua potable entre el Ayuntamiento y un particular. El proyecto constó en la sustitución de las tuberías de barro por nuevas de fierro, sin embargo, demoró más de cuatro décadas en concluirse a causa de los conflictos bélicos como la invasión francesa que como referencia se tiene la batalla del 5 de mayo y posteriores conflictos. Fue hasta 1883 cuando se hicieron notorios los resultados del proyecto, sin embargo, este se finalizó hasta 1896, logrando mejoras en la eficiencia en distribución y el aumento de nuevos caudales captados. A pesar de lo anterior, solo se logró abastecer a alrededor del 30% de la población en contraste con el 73% prometido. Los beneficiarios del proyecto se discriminaron en función de la etnia, estatus socioeconómico, donde esta última característica de discriminación hasta el día de hoy persiste en la ciudad de Puebla (Loreto-López, 2016).

La culminación del proyecto anterior transformó el Metabolismo Hídrico en la ciudad de Puebla, con el incremento de la magnitud del caudal captado como en la introducción de nuevos materiales como el hierro en los flujos indirectos, la energía ligada a su manufactura, e integró la electricidad como insumo para el aprovechamiento y distribución de las aguas subterráneas en la ciudad, por lo tanto, dio inicio al Nexo Agua-Energía-Carbono de la forma en que hoy se conoce.

En 1905 se inició la búsqueda de aguas subterráneas, y entre 1907 y 1910 se captó agua de acuíferos a 15 km del espacio construido de la ciudad, gracias a la implementación de nuevas tecnologías de bombeo por electricidad. Además, las autoridades municipales en aquel periodo emitieron órdenes para

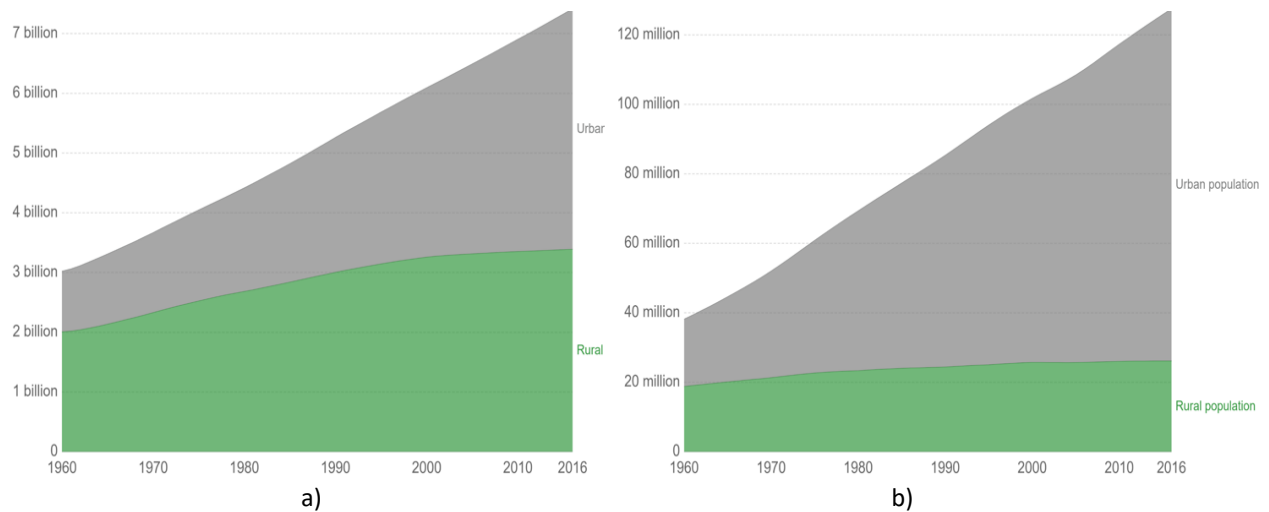
tomar medidas sanitarias, donde se exigió la provisión de agua a inquilinos que utilizaran un WC por vivienda, uso de llaves de nariz, más tinacos con flotador y en caso de tener un tanque de cemento o pileta, se recomendó que la parte expuesta del agua se tape para evitar la contaminación en el agua. En 1930 se inició la cloración del agua potable con el fin de mejorar la calidad del suministro de agua potable en la ciudad de Puebla. Sin embargo, toda vía hasta a mediados del siglo XX las medidas higienistas y de distribución del líquido tuvieron alcances limitados (Loreto-López, 2016). La evolución del sistema hídrico mejoró su calidad y eficiencia con un costo del incrementó en la magnitud de su stock más flujos materiales y energéticos, como lo fue el cloro e instrumentos de baño en los hogares.

Algunos autores denominan *gran hidráulica* a esta transición tecnológica ocurrida desde finales del siglo XIX hasta primera mitad del siglo XX, misma que también dio la oportunidad de que la industria hidroeléctrica se expandiera, que a su vez impulsó el desarrollo industrial ligado con las ciudades. A partir de la segunda mitad del siglo XX, en México y en todo el mundo la nueva forma de aprovechamiento del agua experimentó una expansión a un ritmo frenético ligado al crecimiento en la población y por ende también al de las ciudades. Sin omitir de que en el siglo XX el ímpetu decimonónico de controlar la naturaleza es sustituida por nuevas ideas que toman en cuenta los límites en los recursos y derivan en nuevos manejos del agua (Aboites & Superiores, 2010).

3.5 Contexto socioeconómico

Los asentamientos urbanos son los motores del crecimiento económico mundial, donde se generan alrededor del 60% del PIB mundial, y sus actividades provocan el 70% de las emisiones de carbono mundiales y más del 60% del consumo de los recursos. En 2007, por primera vez en la historia de la humanidad, el tamaño de la población urbana global superó a la población rural global, y se espera que para el 2050 el porcentaje de la población urbana se duplique en comparación a 1950, específicamente de 30% a 66%, (UN, 2018a), véase la Figura 30.

Figura 30 Crecimiento de la población urbana y rural para el periodo de 1960 a 2015. El inciso a se refiere al mundo y el b a México.



Fuente: World Bank – WDI

Los países con mayor población urbana en el mundo son China, India y Estados Unidos. México ocupa el décimo lugar en población total y el octavo con mayor población urbana (Tabla 4). En 2018 la Ciudad de México fue la cuarta aglomeración más grande del mundo y la mayor del continente americano, después de Tokio, Delhi y Shangái. Para el 2020 se espera pase al quinto lugar cuando Sao Paulo lo rebase en tamaño, y para 2030 posiblemente sea rebasado por Delhi, Tokio, Shangái, Daca, El Cairo, Bombay y Beijing (UN, 2018b).

Tabla 4 Quince naciones con mayor población total y urbana, 2015

Pos.	País	Pob. total (miles)	Pos.	País	Pob. Ur- bana (miles)
1	China	1 376 049	1	China	777 479
2	India	1 311 051	2	India	419 939
3	Estados Unidos de América	321 774	3	Estados Unidos de América	265 361
4	Indonesia	257 564	4	Brasil	174 508
5	Brasil	207 848	5	Indonesia	137 422
6	Pakistan	188 925	6	Japón	118 572
7	Nigeria	182 202	7	Federación Rusa	105 164
8	Bangladesh	160 996	8	México	99 245
9	Federación Rusa	143 457	9	Nigeria	87 681
10	México	127 017	10	Pakistán	72 921
11	Japón	126 573	11	Alemania	62 170
12	Filipinas	100 699	12	Irán	58 316
13	Tailandia	100 699	13	Turquía	56 288
14	Etiopía	99 391	14	Bangladesh	54 984
15	Vietnam	9 9448	15	Reino Unido	52 730

Fuente: SEGOB *et al.*, (2015)

3.5.1 Ciudades en México

En 2015 la población urbana de México fue de 99 millones de personas radicadas en 401 ciudades, lo que representó un 74.2% del total de población nacional. De las 401 ciudades anteriores, 74 corresponden a zonas metropolitanas, 132 a zonas conurbadas y 195 a centros urbanos de acuerdo con la clasificación de (SEDATU *et al.*, 2018). Las 74 zonas metropolitanas de México se componen de 417 municipalidades con diversa naturaleza y tamaño. En la Tabla 5 se muestra la evolución de lo expuesto para el periodo de 1960 a 2015.

Tabla 5 Indicadores del proceso de metropolización, 1960-2015

Indicador	1960	1980	1990	2000	2005	2010	2015
Zonas metropolitanas	12	26	37	55	56	59	74
Demarcaciones y municipios metropolitanos	64	131	155	309	345	367	417
Entidades federativas	14	20	26	29	29	29	32
Población total(millones)	9	26.1	31.5	51.5	57.9	63.8	75.1
Porcentaje de la población nacional (%)	26.6	39.1	38.8	52.8	56	56.8	62.8

Fuente: (SEGOB *et al.*, 2015)

De acuerdo con el Sistema Urbano Nacional en México hay 401 ciudades habitadas por 92.7 millones de personas, donde reside el 74.2 % del total de la población del país (SEDATU *et al.*, 2018). La población urbana en 2018 aumentó en 2.1 % con 36 ciudades nuevas en comparación con el 2010. La Zona Metropolitana de Puebla tiene una población de 2.94 millones de habitantes y se clasifica dentro de las 13 Zonas Metropolitanas de tamaño entre 1 a 5 millones de habitantes (Tabla 6).

Tabla 6 Número de ciudades y población por tamaño de población según tipo de ciudad, 2018.

Tamaño de la población	Total		Zonas metropolitanas		Conurbaciones		Centros urbanos	
	Unidades	Población	Unidades	Población	Unidades	Población	Unidades	Población
Sistema Urbano Nacional	401	92,609,144	74	78,290,408	132	7,017,935	195	7,300,800
5 millones o más	2	26,861,070	2	26,861,070				
1 millón a 4,999,999	13	23,807,517	13	23,807,517				
500 mil a 999,999	22	17,1033,639	22	17,103,639				
100 mil a 499,999	64	15,080,328	37	10,518,181	14	2,781,828	13	1,780,318
50 mil a 99,999	46	3,033,754			22	1,466,501	24	1,567,253
15 mil a 49,999	254	6,722,834			96	2,769,605	158	3,953,229

Fuente: Estimaciones con base en CONAP, Proyecciones de Población a nivel municipal y localidad 2010-2030; e

INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010 y Encuesta Intercensal 2015. Extraído de (SEDATU *et al.*, 2018)

3.5.2 La Megalópolis Región Centro

La región con mayor urbanización en el país se denomina Megalópolis Región Centro, que se conforma por varias metrópolis ubicadas en los estados de Querétaro, Hidalgo, Morelos, Puebla-Tlaxcala, Estado de México y Ciudad de México. Para el año 2010 la Megalópolis comprendía una extensión de 98,942.3 km², representando el 5.06 % del territorio nacional, con una población de alrededor de 37 millones de habitantes (LXIII Legislatura, 2016; Murrieta & Hernández, 2015). La megalópolis se subdivide en las zonas metropolitanas de: Toluca, Cuernavaca, Pachuca de Soto, Tlaxcala-Apizaco, Cuautla, Tulancingo, Tula y Santiago Tiaguistenco, Puebla-Tlaxcala y la Zona Metropolitana de la Ciudad de México como núcleo de todas.

El estado de Puebla por su orden alfabético se enumera como número 21 de 32 estados que conforman a los Estados Unidos Mexicanos. Se ubica en la región centro del país, delimitada al sur con Oaxaca, al suroeste con Guerrero, al norte con Hidalgo y Tlaxcala, al este con Veracruz y al oeste con el estado de México y Morelos. Cuenta con 3,428,966.1 hectáreas de superficie, que representan el 1.7% de la superficie total de la República Mexicana. Su población total es de 6,168,883 de los cuales el 72% de la población reside en zonas urbanas y el 28% restante en zonas rurales (INEGI, 2016). El estado de Puebla cuenta con 24 zonas urbanas, que se subdividen en 3 zonas metropolitanas⁵⁵, 15 conurbaciones⁵⁶ y 6 centros urbanos⁵⁷, y de estos el más grande e importante es la Zona Metropolitana de Puebla, que colinda con la de Tlaxcala, estado vecino (SEDATU *et al.*, 2018).

⁵⁵ Una zona metropolitana es una agrupación en una sola unidad de municipios completos que comparten una ciudad central y están altamente interrelacionados funcionalmente. También se consideran a los centros urbanos mayores a un millón de habitantes, aunque no hayan rebasado su límite municipal y a los centros urbanos de las zonas metropolitanas transfronterizas mayores a 250 mil habitantes (SEDATU *et al.*, 2018).

⁵⁶ Una ciudad conurbación es el resultado de la continuidad física entre dos o más localidades geoestadísticas o centros urbanos, constituyendo una sola unidad urbana de por lo menos 15 mil habitantes. Puede ser intermunicipal e interestatal cuando su población oscila entre 15 000 y 49 999 habitantes e intermunicipal aun superando este rango poblacional (SEDATU *et al.*, 2018).

⁵⁷ Un centro urbano es una ciudad con 15 mil o más habitantes, que no reúne características de conurbación o zona metropolitana (SEDATU *et al.*, 2018).

3.5.3 La Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala

La ZM de Puebla-Tlaxcala es la segunda en importancia dentro de la Megalópolis Región Centro, después de la Ciudad de México. Opera como engrane entre el altiplano y las regiones del sureste de México y la del Golfo norte a través de importantes redes de infraestructura energética y comunicaciones; conglomerada la mayor actividad económica de ambos estados y en términos territoriales es la más densa en infraestructura, industria, comercio, servicios y asentamientos humanos; cuenta con un patrimonio cultural de prestigio nacional e internacional; y en el municipio de Puebla aloja a un elevado número de instituciones de educación superior.

Tabla 7 Quince ciudades más pobladas en la República Mexicana.

Pos.	Nombre de la ciudad	Población	Pos	Nombre de la ciudad	Población
1	Valle de México	21,800,320	9	La Laguna	1,417,538
2	Guadalajara	5,060,750	10	Querétaro	1,337,686
3	Monterrey	4,834,971	11	Mérida	1,196,520
4	Puebla-Tlaxcala	3,046,766	12	San Luis Potosí	1,188,221
5	Toluca	2,386,157	13	Mexicali	1,065,882
6	Tijuana	2,024,994	14	Aguascalientes	1,056,561
7	León	1,757,811	15	Cuernavaca	1,032,278
8	Juárez	1,462,133			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SUN para 2018 (SEDATU *et al.*, 2018).

La ZM Puebla-Tlaxcala se compone de la conurbación en 39 municipios en los estados de Puebla y Tlaxcala, de los cuales 20 pertenecen a Tlaxcala y 19 a Puebla. El 16% de su población corresponde al estado de Tlaxcala y el 84% al estado de Puebla. Es la cuarta más poblada del país con 3,046,766 habitantes (SEDATU *et al.*, 2018), véase la Tabla 7. En los datos de Naciones Unidas (2015) la Metròpoli cuenta con 2.955 millones de habitantes, y la parte que corresponde a Puebla se estima una población en 2,342,519 habitantes de acuerdo con OCDE (2016) en SEDATU *et al.*, (2018) y es la más poblada del estado de Puebla.

Cuadro 7 *Municipios que conforman la Metrópoli de Puebla*

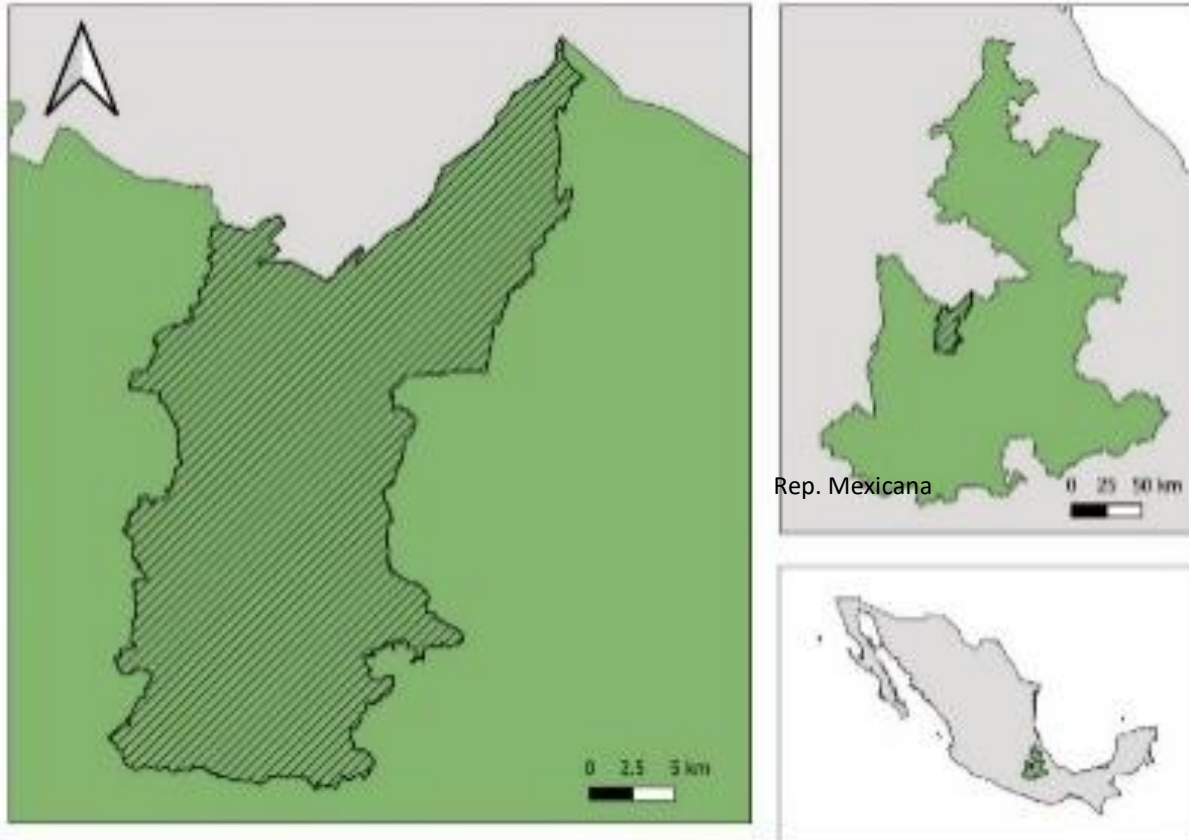
No.	Clave del municipio	Nombre del municipio	No.	Clave del municipio	Nombre del municipio
1	001	Acajete	11	119	San Andrés Cholula
2	015	Amozoc	12	122	San Felipe Teotlalcingo
3	034	Coronango	13	125	San Gregorio Atzompa
4	041	Cuatlancingo	14	132	San Martín Texmelucan
5	048	Chiautzingo	15	136	San Miguel Xoxtla
6	060	Domingo Arenas	16	140	San Pedro Cholula
7	074	Huejotzingo	17	143	San Salvador el Verde
8	090	Juan C. Bonilla	18	163	Tepatlxco de Hidalgo
9	106	Ocoyucan	19	181	Tlaltenango
10	114	Puebla			

Fuente: (PPD, 2017)

3.5.4 El Municipio de Puebla

El municipio de Puebla es la capital del estado de Puebla (Figura 31), que se encuentra a 150 kilómetros de la Ciudad de México. Contiene la mayor concentración poblacional en la ZM Puebla-Tlaxcala con el 51.74% de su población, y al tomar como referencia la población de la Metrópoli únicamente de Puebla entonces el municipio concentra el 62% de la población. El Municipio de Puebla es el de mayor importancia económica, demográfica y cultural de la ZM Puebla-Tlaxcala. Por orden alfabético se enumera como el municipio 114 de 217 municipios que conforman el estado de Puebla. Su centro tiene la latitud norte es 19° 02' 38" y longitud oriente 98° 11' 50", con una altitud promedio de 2,137 msnm y tiene una superficie de 540,19 km², que representa el 1.58 % de la superficie del estado de Puebla.

Figura 31 Ubicación del Municipio de Puebla.



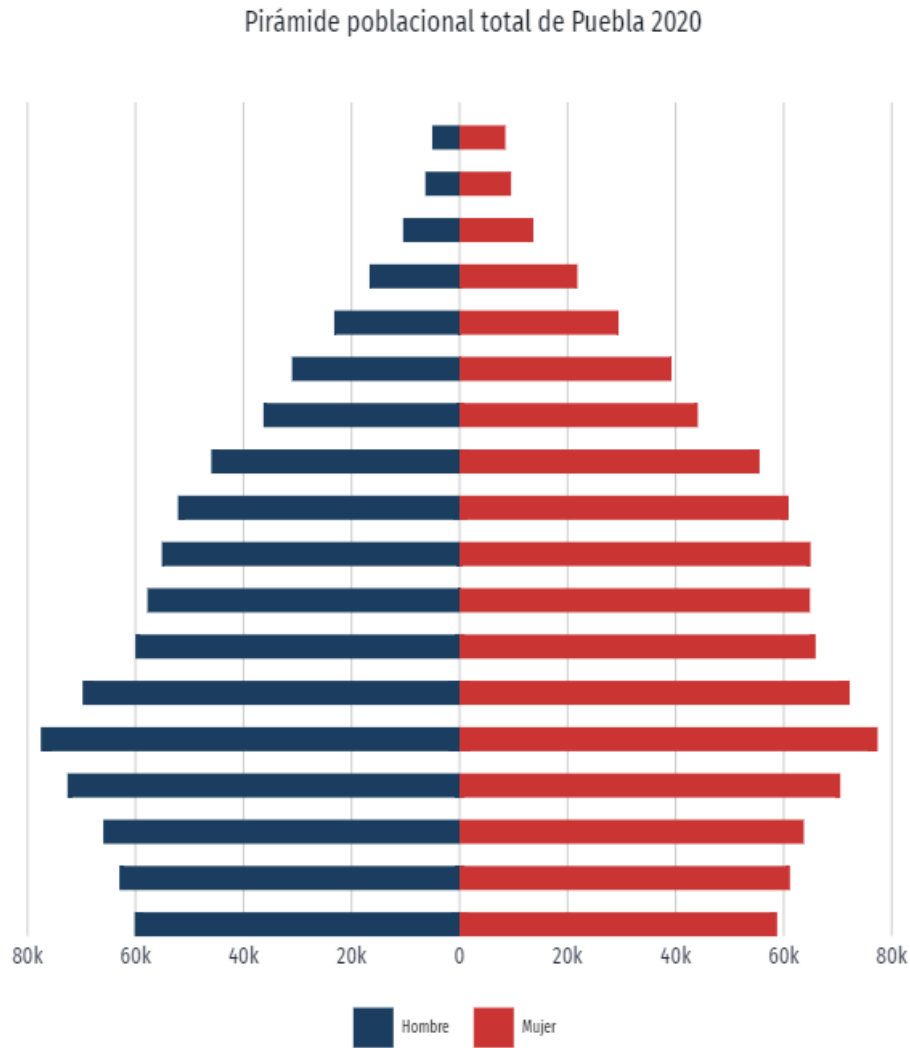
Fuente: Elaboración propia con base en INEGI.

En el municipio de Puebla residen 1,692,181 personas que se dividen en 882,696 (52.2%) mujeres y 809,485 hombres (47.8%) (INEGI, 2016), véase la Figura 32. El ingreso de migrantes en los últimos 5 años fue de 1.29k de personas desde Estados Unidos, 628 de Alemania y 480 de Venezuela, y su inmigración fue por motivos familiares, por vivienda y personales (Secretaría de Economía, 2020). La población ocupada en el estado de Puebla asciende a 2.93 millones, que se divide en 39.7% de mujeres y 60.3% de hombres⁵⁸. El salario mínimo en el municipio oscila los 3.83 mil pesos mensuales, y las ocupaciones se

⁵⁸ Se colocó la población estatal porque no hay representatividad a nivel municipio

centran en el Apoyo en Actividades Agrícolas (276k), los empleos en ventas, despachadores y dependientes en comercios (204k) y comerciantes en establecimientos (104k).

Figura 32. Pirámide poblacional en Puebla en 2020



3.5.4.1 Datos económicos de la Metrópoli y el Municipio de Puebla

Las compras internacionales en la Metrópoli de Puebla-Tlaxcala se centra en maquinaria,

iniciadores y aceleradores de reacción y preparación catalíticas, partes y accesorios de vehículos motores, y los orígenes de sus compras internacionales son de Estados Unidos y Canadá, países europeos y asiáticos. En el Municipio de Puebla las compras internacionales maquinaria, partes y accesorios de vehículos automotores, plásticos y cauchos, accesorios metálicos textiles, carnes, productos químicos, entre otros. Los orígenes de los productos fueron principalmente de Estados Unidos, Países asiáticos donde China encabeza la lista, y países europeos donde Alemania, España e Italia encabezan la lista (Secretaría de Economía, 2020).

En general el comercio internacional a nivel de la Metrópoli se centró en partes y accesorios de vehículos automotores, maquinaria, alimentos y artículos diversos donde los muebles son la mayoría, donde sus destinos comerciales fue principalmente Estados Unidos en 88.5%. A nivel del Municipio de Puebla el comercio internacional se centró en alimentos, accesorios de vehículos automotores, plásticos, textiles, entre otros, con Estados Unidos como el destino comercial principal con el 84.6%. Los parques industriales en la metrópoli de Puebla se enlistan en el Cuadro 8. Es importante notar que, aunque en el Municipio de Puebla solo hay dos parques industriales donde predomina la industria alimenticia, es en la zona metropolitana donde se conglomeran las industrias enfocadas a la manufactura de Autopartes (Secretaría de Economía, 2020).

Cuadro 8. Parques industriales en la Metrópoli de Puebla

Parque industrial	Cantidad de empresas	Municipio
Puebla 2000	59	Puebla
Parque Industrial FINSA Puebla	35	Cuatlancingo
Textile City	28	San Martín Texmelucan
San Miguel	20	Huejotzingo
Area 1	13	San Martín Texmelucan
Vesta Park Puebla I	7	Huejotzingo
Anexo 4 Industrial Park	6	Huejotzingo
El Carmen Industrial Park	5	Huejotzingo
Bralemex Industrial Par,	1	Cuatlancingo
Chachapa Industrial Park	No informado	Puebla
Grupo Alas	No informado	Cuatlancingo
Parque Industrial Ocotlán	No informado	Ocotlán

Fuente: (Secretaría de Economía, 2020)

3.5.4.1 Empleo y equidad

La población Económicamente activa en el estado de Puebla, en la tasa de participación laboral fue del 59.6% y la tasa de desocupación fue del 2.79%. La población ocupada en el estado de Puebla fue de 2.93 millones de personas con un salario promedio mensual de 3.83 mil pesos mexicanos. Las principales ocupaciones fueron en trabajo en actividades agrícolas, empleados de ventas, despachadores y dependientes de comercios, comerciantes en establecimientos (Secretaría de Economía, 2020). En la Tabla 8 se presentan datos de la Metrópoli de Puebla.

Tabla 8. Características económicas de la ciudad de Puebla.

Zona	Tasa de actividad	Tasa de desempleo	Primario	Secundario	Comercio	Servicios
ZM Puebla-Tlaxcala	53.89	4.06	6.57	29.46	21.63	41.44
ZM (Municipios de Puebla)	54.24	4.08	5.56	28.23	22.27	43.02
Zona conurbada de la ciudad de Puebla	54.7	4.14	3.03	27.61	22.51	45.85
Puebla	55.24	4.44	1.13	25.56	23.52	48.77

Fuente: Censo de población y vivienda (2010)

En el municipio de Puebla el ingreso corriente por hogar trimestral fue de 39.6 mil pesos mexicanos, teniendo como extremos en el decil primero con 8.6 mil pesos mexicanos y en décimo decil 129 mil pesos mexicanos, con una diferencia aproximada de 120 mil pesos entre el primero y último decil. La población en pobreza extrema se estima por 5.42% y 36% en pobreza moderada. La población vulnerable por carencias sociales⁵⁹ alcanzó un 21.8% y la población vulnerable por ingresos⁶⁰ fue de 11.6%. Donde las principales carencias sociales en el municipio de Puebla fueron de carencia al acceso a la seguridad social, al acceso a los servicios de salud, y acceso a la alimentación (CONEVAL, 2020; Secretaría de Economía, 2020).

3.6 Agentes relacionados con la gestión del agua

La gestión del agua en la ciudad de Puebla se ve influida por diversos agentes, entre ellos se incluyen las autoridades gubernamentales, empresas, organizaciones no gubernamentales y grupos de la sociedad civil, académicos, expertos en el tema y la ciudadanía en general, mismos que se describirá su función.

3.6.1 Agentes gubernamentales

Algunos agentes gubernamentales relacionados con el agua son la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la Comisión Nacional del Agua, La comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Puebla, La procuraduría Federal de Protección al Ambiente, la Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios, y el Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Puebla.

⁵⁹ Se considera vulnerabilidad por carencias sociales a la población con un ingreso superior a la línea de pobreza por ingresos, antes línea de bienestar, pero con una o más carencias sociales (CONEVAL, 2020).

⁶⁰ Se considera vulnerabilidad por ingresos a la población que no padece ninguna carencia social, pero su ingreso es igual o inferior a la línea de pobreza por ingresos, antes de la línea de bienestar (CONEVAL, 2020).

3.6.1.1 Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Es la dependencia que tiene como propósito la construcción de la política de Estado de protección ambiental para revertir el deterioro ecológico, y sienta las bases para el desarrollo sustentable del país (Artículo 32 Bis de la Ley Orgánica de La Administración Pública Federal, 2018). La SEMARNAT fomenta la protección, restauración, conservación, preservación y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas, recursos naturales, bienes y servicios ambientales, con el fin de garantizar el derecho a un medio ambiente sano. También administra, regula el uso y promueve el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales de la Federación, con excepción de los hidrocarburos y los minerales radioactivos (Artículo 32 Bis de la Ley Orgánica de La Administración Pública Federal, 2018). Algunas responsabilidades con el agua de la SEMARNAT incluyen:

- Organiza, dirige y reglamenta los trabajos de hidrología en cuencas, causas álveas de aguas nacionales, tanto superficiales como subterráneas (Fracción XXIII).
- Formula y da seguimiento a la política hídrica nacional, así como la regulación y vigilancia de la conservación de las corrientes, lagos, esteros, lagunas y humedales de la jurisdicción federal, con miras de la protección de cuencas y alimentadoras, y obras de corrección torrencial (Fracción XXVIII).
- Establecer y promover políticas y programas para la gestión sostenible del agua, incluyendo la protección de la calidad del agua para consumo personal y doméstico, y la prevención de la contaminación (Fracción XXXI).
- Regular y controlar el uso de los recursos hídricos en el país, incluyendo la expedición de permisos y concesiones para el uso del agua (Fracción XXVI).
- Coordinar la gestión integrada de los recursos hídricos entre las diferentes dependencias y entidades gubernamentales encargadas de la gestión del agua (Fracción XXXI).

- Formular y conducir la política nacional sobre el cambio climático, donde dirige estudios climatológicos, hidrológicos y geológicos (Fracción XXI).

3.6.1.2 Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA)

Es un órgano administrativo desconcentrado de la SEMARNAT con autonomía técnica y operativa que surgió desde 4 de junio de 1992. Su tarea principal es incrementar los niveles de observancia de la normatividad ambiental, a fin de contribuir al desarrollo sustentable y hacer cumplir las leyes en materia ambiental. Sus objetivos estratégicos son: contener la destrucción de los recursos naturales y revertir los procesos de deterioro ambiental; procurar el pleno acceso de la sociedad a la impartición de una justicia ambiental pronta y expedita; lograr la participación decidida, informada y responsable de los miembros de la sociedad y de sus organizaciones, en la vigilancia e inducción del cumplimiento de la ley ambiental; fortalecer la presencia de la Procuraduría y ampliar su cobertura territorial, con criterio federalista; construir una institución moderna y eficiente, bajo criterios de honestidad, transparencia y confiabilidad, que permitan crear una nueva imagen ante la sociedad (PROFEPA, 2023). Algunas funciones que la PROFEPA tiene con el agua son:

- Verificar que los establecimientos industriales, comerciales y de servicios, que utilizan o descarga aguas residuales, cumplan con las normas ambientales establecidas para su operación.
- Realizar inspecciones y verificaciones a las empresas concesionarias del agua para garantizar que cumplan con las obligaciones establecidas en sus permisos y concesiones.
- Supervisar el cumplimiento de las disposiciones legales relacionadas con el manejo de residuos peligrosos, incluyendo aquellos que están relacionados con el agua.

- Fomentar la cultura de la protección ambiental a través de la educación y la sensibilización de la población, incluyendo temas relacionados con la protección y conservación del agua.

Sus funciones se relacionan principalmente con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, entre otras.

3.6.1.3 Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS)

La COFEPRIS tiene como misión el proteger a la población contra los riesgos a la salud provocados por el uso y consumo de bienes y servicios, insumos para la salud, así como por su exposición a factores ambientales y laborales, la ocurrencia de emergencias sanitarias y la prestación de servicios de salud mediante la regulación, control y prevención de riesgos sanitarios (COFEPRIS, 2023). Algunas de sus funciones relacionadas con el agua son:

- Regulación de la calidad del agua embotellada y agua purificada para asegurar que cumplan con los estándares de calidad establecidos en la normatividad mexicana.
- Monitoreo y evaluación de la calidad del agua para consumo humano en sistemas públicos de abastecimiento.
- Establecimiento de criterios para la autorización y uso de productos químicos y biológicos en el tratamiento y purificación del agua para consumo humano.
- Vigilancia de la calidad del agua utilizada en procesos industriales, comerciales y de servicios, incluyendo la identificación y regulación de contaminantes en el agua.
- Implementación y supervisión de medidas para prevenir y controlar la contaminación del agua en cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

3.6.1.4 Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)

Es un organismo descentralizado del Gobierno Federal en México. Se creó en 1989, y su responsabilidad es administrar, regular, controlar y proteger las aguas nacionales (CONAGUA, 2023). Algunas de sus responsabilidades son:

- Formular la política nacional del agua y coordinar su implementación.
- Regular y controlar el uso y aprovechamiento del agua, así como el vertido de aguas residuales.
- Promover la gestión integrada de los recursos hídricos y la planificación hidrológica.
- Coordinar y promover la conservación, restauración y protección de los ecosistemas acuáticos.
- Fomentar la investigación y el desarrollo tecnológico en el ámbito del agua.
- Realizar estudios y evaluaciones sobre la disponibilidad, calidad y cantidad de los recursos hídricos.
- Fomentar la participación ciudadana y la consulta pública en la toma de decisiones relacionadas con el agua.
- Establecer los mecanismos de coordinación necesarios con las entidades federativas y otros actores involucrados en la gestión del agua.
- La prevención y control de los efectos provocados por los fenómenos meteorológicos. Dentro de la estructura de la CONAGUA se encuentra el Servicio Meteorológico Nacional.

3.6.1.5 Comisión Estatal del Agua y Saneamiento del Estado de Puebla (CEASPUE)

A pesar de que la Federación mantiene el control del uso y aprovechamiento de aguas nacionales, es responsabilidad de los gobiernos de los Estados y Municipios la regulación de los procesos para la prestación de servicios públicos de agua potable para consumo humano, drenaje, alcantarillado, saneamiento, reúso y coordinar su implementación. La CEASPUE es un órgano consultivo y coordinador descentralizado del Gobierno del Estado de Puebla, sectorizado a la Secretaría de Infraestructura. Se enfoca en la gestión del agua entre los municipios, gobierno del estado y la federación para el cumplimiento del objeto de la Ley de Agua. Principalmente está dirigida a la conservación, preservación, protección y restauración del agua en cantidad y calidad en los municipios, evitando el aprovechamiento no sustentable y los efectos

ecológicos adversos mediante las atribuciones de formular la planeación hídrica y coordinar su implementación (CEASPUE, 2023). Algunas de sus funciones enfocadas al agua son:

- Desarrollar la planeación hídrica a nivel estatal.
- Proyectar, presupuestar y ejecutar, la obra pública, así como la instrumentación de esta en todas sus etapas en materia de infraestructura hídrica.
- Apoyar a los municipio y organismos operadores, que así lo requieran, en la ejecución de la obra pública y sus servicios relacionados, previa suscripción de Convenios de Colaboración, con el objeto de ampliar la infraestructura hídrica.
- Coadyuvar con los municipios y organismos operadores con la finalidad de desarrollar programas de orientación para la preservación, propiciar el aprovechamiento y calidad del agua.
- Prestar servicios de apoyo y asistencia técnica en la materia que requieran los municipio y organismos operadores.

3.6.1.6 Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Puebla (SOAPAP)

Es un organismo público descentralizado del Gobierno del Estado, que tiene como función la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado, saneamiento, y está facultado para planear, programar, construir, mantener, administrar, operar, conservar, rehabilitar y controlar los sistemas para la prestación de los servicios en el ámbito de su circunscripción territorial. Actúa como coordinador y coadyuvante con las autoridades federales, estatales y municipales en todas sus funciones actividades, para beneficiar a los habitantes en la zona Metropolitana de la ciudad de Puebla (SOAPAP, 2023).

Su cobertura abarca la mancha urbana del municipio de Puebla, y fragmentos de los municipios de San Pedro Cholula, San Andrés Cholula, Cuautlancingo y Amozoc.

El SOAPAP tiene una relación de contrato de concesión con la empresa Concesiones Integrales para que esta opere el servicio de agua potable y alcantarillado bajo la regulación y supervisión de la empresa Pública (SOAPAP, 2023).

3.6.2 Sector privado

El sector privado opera al sistema operador de agua potable y alcantarillado basado en una concesión. Sin embargo, en la ciudad de Puebla existen otras formas de suministro, como lo es, el suministro de agua por camión cisterna (pipa) y el agua embotellada. A continuación, se describen brevemente estos actores.

3.6.2.1 Concesiones Integrales S.A. de C. V.

Desde 2013 y con una vigencia de 30 años, el consorcio “Agua de Puebla para Todos” tiene a cargo la concesión para la prestación del servicio público de agua potable, drenaje, alcantarillado, saneamiento y disposición de aguas residuales del Municipio de Puebla, y las circunscripciones territoriales específicas de los Municipios de Cuautlancingo, San Pedro Cholula, San Andrés Cholula y Amozoc, así como la ampliación, auto condicionamiento, mantenimiento, operación y administración de la infraestructura hidráulica del SOAPAP, y la prestación del servicio de saneamiento de aguas residuales al Municipio de Tlaltenango, respecto de las aguas residuales que se generan en dicho municipio, así como a aquellos otros Municipios con los que se celebren convenio de coordinación en el futuro.

La concesionaria se debe de regir obligatoriamente por las siguientes normas:

Cuadro 9 Normas que son obligatorias para la Concesionaria de los servicios de agua potable en Puebla.

Relacionado con las fuentes y la extracción

- NOM-003-CONAGUA-1996, Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.
 - NOM-015-CONAGUA-2007, infiltración artificial de agua a los acuíferos – características y especificaciones de las obras y del agua.
 - NOM-014-CONAGUA-2003, requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua tratada.
 - NOM-004-CNA-1996, requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general.
 - NOM-011-CONAGUA-2015, conservación del recurso agua – que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.
-

Relacionado con la tecnología y la vivienda

- NOM-001-CONAGUA-2011. Sistemas de agua potable, Toma domiciliaria y alcantarillado Sanitario – Hermeticidad – Especificaciones y Métodos de prueba.
- NOM-002-CONAGUA-1995, toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable – Especificaciones y Métodos de Prueba.
- NOM-010-CONAGUA-2000, válvula de admisión y válvula de descarga para tanque de inodoro – especificaciones y métodos de prueba.
- NOM-008-CNA-1998, regaderas empleadas en el aseo corporal – especificaciones y métodos de prueba.
- NOM-009-CNA-2001, inodoros para uso sanitario – especificaciones y métodos de prueba.
- NOM-006-CNA-1997, fosas sépticas prefabricadas – especificaciones y métodos de prueba.
- NOM-007-CNA-1997, requisitos de seguridad para la construcción y operación de tanques de agua.

Relacionado con la salud

- NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles y tratamientos a que se debe someterse el agua para su potabilización.
- NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo.

Relacionado con el drenaje

- NOM-001-CONAGUA-1995, Sistema de alcantarillado sanitario – Especificaciones de hermeticidad. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

Relacionado con la contaminación

- NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en agua y bienes nacionales.
- NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
- NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.
- NOM-004-SEMARNAT-2002, protección ambiental – lodos y biosólidos. – especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento final.

Relacionado con la tecnología eléctrica

- NOM-006-ENER-1995, eficiencia energética electromecánica en sistema de bombeo para pozo profundo en operación – límites y método de prueba.
- NOM-004-ENER-2008, eficiencia energética de bombas y conjunto motor – bomba, para bombeo de agua limpia, en potencias de 0.187 KW a 0.746 KW. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
- NOM-006-ENER_2015, eficiencia energética de bombas y conjuntos Motor-Bomba, para bombeo de agua limpia, e potencia de 0.-187 KW a 0.746 KW. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
- NOM-101-ENER-2004, eficiencia energética del conjunto de motor bomba sumergible tipo pozos profundo. Límites y métodos de prueba y etiquetado.

Fuente: (Agua de Puebla, 2023)

En la ciudad de Puebla son comunes las manifestaciones de desacuerdo con la concesionaria de agua, ya sea por la ineficiente e inequitativa distribución del agua (López Zamora, 2013a; Martínez Morales *et al.*, 2015), los cortes del servicio que comprometen el Derecho Humano al Agua, que se relacionan con los cobros excesivos por el servicio de agua (Vargas Castro *et al.*, 2021), la no aplicación del saneamiento de agua, entre otros problemas (López Zamora & El Colegio de Tlaxcala, 2022). Lo anterior se liga con los conflictos socioambientales bajo el contexto de la privatización del servicio público de agua (que tomo lugar legalmente en diciembre de 2013) (López Zamora & El Colegio de Tlaxcala, 2022; Vargas Castro, 2017).

3.6.2.2 Agua embotellada con empresas trasnacionales

En la metrópoli operan embotelladoras de agua purificada de empresas trasnacionales, donde la primera es Bonafont en la localidad de Santa María Zacatepec del Municipio de Juan C. Bonilla y la segunda es Agua Santa María de Nestlé en el Municipio de Santa Rita Tlahuapan. La empresa Bonafont extrae agua del acuífero del Valle de Puebla, y la empresa de Nestlé extrae agua de una reserva natural protegida al pie del volcán Iztaccihuatl. Ambas empresas se han conflictuado con los habitantes de las localidades donde se ubican, Por ejemplo: Bonafont es señalada de sobreexplotar aquella zona del acuífero, disminuir el nivel estático y con ello dificultar el acceso al agua para los pozos de los agricultores de la zona, además, de ser señalado por la comunidad como responsable del socavón ocurrido en 2021 en la misma Localidad; Nestlé, se instaló en 1991 en Puebla y en 2019, y los locatarios acusan que la empresa no cumplió con los beneficios prometidos a la población al momento de la instalación, además de señalar que la empresa sobreexplota las fuentes de agua, con el argumento de que la magnitud del agua extraída abastecería a 20,685 habitantes con un caudal de 250/l/hab/día (Delgado-Ramos, 2014).

3.6.2.3 Tanqueros (pipas de agua) y agua embotellada de particulares.

Los habitantes de la ciudad que no cubren sus necesidades hídricas recurren al servicio de agua mediante camiones cisterna, quienes trasladan agua que fue extraída de pozos particulares (formales e informales) hacia las viviendas u otros usuarios, como las empresas de particulares que purifican el agua en pequeños establecimientos. Los motivos por los que los habitantes que no cubren sus necesidades hídricas son porque se encuentran fuera de la cobertura del Organismo Operador, o en caso de que se encuentran dentro de la cobertura, el servicio no cumple con la cantidad de agua requerida por las viviendas debido a reparaciones o el incumplimiento de los tandeos o los cortes del servicio. Este tipo de problemas con el servicio del Organismo Operador han generado conflictos con los habitantes de la ciudad.

La desconfianza en la calidad del agua de llave por parte de los usuarios genera el consumo de agua embotellada, ya sea de marcas reconocidas o de agua embotellada en pequeños establecimientos dentro de la ciudad, de los cuales, algunos pueden ser formales y otros informales. El agua que usan regularmente las purificadoras pequeñas proviene de las inmediaciones del volcán la Malinche, debido a su característica baja en sales. El tratamiento en estas plantas sigue un proceso de ultrafiltración, aunque existen proveedores de agua purificada clandestinos quienes no aplican el proceso completo en el tratamiento del agua.

3.6.3 Organizaciones no gubernamentales y grupos de la sociedad civil

Los organismos de la sociedad civil que intervienen en la gestión del agua en la ciudad de Puebla son los siguientes:

3.6.3.1 Comités del agua en las juntas auxiliares

Son organismos ciudadanos que tienen como función principal participar en la gestión y administración de los servicios de agua potable y alcantarillado en sus comunidades. Se conforman por grupos vecinales elegidos por la comunidad para su representación ante las autoridades y organismos encargados

de la gestión del agua, y para colaborar en la toma de decisiones relacionadas con la operación, mantenimiento y mejora de los servicios de agua potable y alcantarillado en su junta auxiliar. Algunas de sus funciones se encuentran:

- Supervisar el funcionamiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado en su comunidad.
- Participar en la definición de las tarifas y los planes de inversión en infraestructura de los servicios de agua y alcantarillado.
- Colaborar en la identificación de fugas y desperdicios de agua en la red de distribución, y proponer medidas para su corrección.
- Promover prácticas para el uso eficiente y ahorro de agua en su comunidad.
- Gestionar ante las autoridades locales y estatales las necesidades y demandas de su comunidad en relación con los servicios de agua potable y alcantarillado.

3.6.3.2 Asamblea Social del Agua (ASA)

Es un movimiento ciudadano que tiene como objetivo defender y promover el Derecho Humano al Agua en el Estado y Municipio de Puebla. La ASA está conformada por un conjunto de personas, comunidades, organizaciones y colectivos que trabajan de manera autónoma y horizontal para construir alternativas y propuestas en torno a la gestión del agua en la región.

La ASA surge como respuesta a la falta de acceso al agua potable en las colonias de la ciudad de la ciudad, y como un contrapeso contra la privatización y mercantilización del agua por parte de empresas y gobiernos. La ASA busca promover una gestión comunitaria y participativa del agua, que permita garantizar el acceso al agua como un derecho humano fundamental, proteger los ecosistemas y fortalecer la autonomía de las comunidades.

Entre las acciones y propuesta de la ASA se encuentra la organización de talleres y foros para la construcción de alternativas en torno a la gestión del agua, la defensa de los derechos de las comunidades en relación con el acceso al agua, la promoción, gestión comunitaria y participativa del agua.

3.6.3.3 Otros agentes ciudadanos que intervienen en el tema del agua

Otros actores que han conformado movimientos en torno a la privatización del agua son la Colectiva por el Bienestar Social quienes en 2023 impulsan una consulta ciudadana que cuestione la privatización del Organismo Operador que da servicio a la ciudad de Puebla. El movimiento en defensa del agua en Puebla que encabeza el Lic. Omar Jiménez Castro, enfocado en la defensa jurídica de casos de corte de agua en viviendas. Exfuncionarios como el Lic. Francisco Castillo Montemayor, quien es exdirector del SOAPAP y exsecretario de Medio Ambiente del gobierno del Estado de Puebla.

3.7 Comentarios finales

La ciudad de Puebla se erigió hace más de 500 años en el actual valle de Puebla, su finalidad era servir como asentamiento intermedio entre el puerto de Veracruz y la Ciudad de México, que era la antigua capital virreinal. Como es natural, este asentamiento humano se ha relacionado con su entorno biofísico desde entonces. Los cuerpos de agua son los elementos biofísico-fundamentales para la existencia de la ciudad de Puebla, y también para el ecosistema local. El Río Almoloya y el Xonaca fueron los ríos principales que sirvió para que la ciudad se asentara, y los nacimientos de agua se relacionan con la recarga de agua en el volcán La Malinche.

El entorno ha sido transformado conforme la ciudad se ha desarrollado, y por lo tanto, su Metabolismo Hídrico Urbano también se ha desarrollado. Ya sea con transformaciones de los acontecimientos sociales como los cambios en la forma de gobierno, guerras, así como con las transformaciones tecnológicas, como en la implementación de tuberías de hierro en el siglo XIX o en la implementación de la energía eléctrica, las bombas hidráulicas que sirvieron para exhaustivamente el agua subterránea a principios del siglo XX, entre otras tecnologías como la cloración del agua, la construcción de la presa Manuel Ávila Camacho o la implementación de tinacos e inodoros en las viviendas de la ciudad.

En la actualidad las actividades humanas en la región donde se ubica a la ciudad han degradado gradualmente el ambiente con la sobreexplotación del acuífero, la contaminación de los escurrimientos superficiales, los problemas que implica el Cambio Climático, los problemas de salud humana relacionados con la contaminación. Todos estos son factores que enmarcan al Metabolismo Hídrico Urbano en la ciudad de Puebla, y que por el bienestar de la población y su ambiente debe ser preservado.

4 RESULTADOS

MODELO CONCEPTUAL PROPUESTO PARA

METABOLISMO HÍDRICO URBANO

“La naturaleza no es algo que está ahí afuera. Es tu cuerpo, el aire que respiras, el agua que bebes. Todo eso es naturaleza, destrozarla es destruir a la humanidad. Si la naturaleza se va,
nos vamos todos”

Margaret Atwood (2017)

El modelo conceptual propuesto para el Metabolismo Hídrico Urbano se construyó basados en una reflexión en términos ontoepistemológicos donde se buscó hacer consciente el marco epistémico⁶¹ de la investigación, enfocado en conocer la autopercepción de la relación entre sociedad y naturaleza, y a partir de esa concepción ontológica, donde se percibe al Metabolismo Social. Mas adelante, se construyó el sistema propuesto para el Metabolismo Hídrico Urbano, tomando en cuenta lo sugerido por la Teoría de los Sistemas Complejos para identificar el contorno del sistema, el sistema y los subsistemas. Todo lo anterior se condensó en una tabla de indicadores.

4.1 Reflexión acerca de la relación entre la sociedad y la naturaleza

“No creo que sea posible, ni deseable, reunir todas las posibilidades en un sólo y único modelo. En contrapartida pienso que es preciso saber superar las contradicciones para poder
pasar de un modo de descripción a otro”

Ilya (Prigogine, 1995)

⁶¹ Véase la sección de Sistemas Complejos del Capítulo I.

El epitafio anterior alude a la interdisciplina o transdisciplina, ya que a partir de estas posturas epistémicas se tienden puentes que permiten el diálogo entre disciplinas, y se intenta superar las contradicciones entre los diferentes modelos de explicación de cada sección de la realidad, para así esforzarse por acoplar con coherencia la multiplicidad de modelos que explican la realidad. Las ciencias ambientales tienen aquella lógica integrativa de las ciencias y coinciden con lo expresado en el epitafio.

En la reflexión se esbozaron elementos de la forma en cómo se percibe la realidad y específicamente la relación entre la sociedad-naturaleza, pero sin separación. El esbozo se construyó desde elementos generales de diversas disciplinas científicas, que se condensaron en una propuesta que comprendió la visión sistémica, los niveles de organización de la materia, y las dimensiones de tangible e intangible.

Se piensa que todo humano posee una cosmología, y basados en que todo investigador es humano, éste también tendrá su propia cosmología, su ontología desde la cual construirá su realidad y por lo tanto influenciará a su investigación. García (2006) mencionó que todo investigador parte desde una postura ontológica particular, pero que muchas veces no es consciente de ella y que cuando el investigador escribe de ontología y epistemología sólo lo hace sólo para adornar su investigación, sin realizar una reflexión acerca del mismo. La falta de claridad ontoepistemológica trae como consecuencia el surgimiento de obstáculos para generar el dialogo entre la diversidad de ontologías que poseen los demás investigadores forjados otras disciplinas, y esto dificulta el dialogo interdisciplinario que es necesario para la superación de los obstáculos epistemológicos y sus contradicciones, como lo indicó el epitafio.

4.1.1 Pensamiento sistémico

En el presente trabajo la realidad es percibida desde una perspectiva sistémica, por consiguiente, se piensa en términos de flujos de materia, energía e información, y esta idea se acopla con las dimensiones tangible e intangible expuestos por (González de Molina & Toledo, 2014). En la subdivisión tangible se ubicó a los niveles de organización de la materia, y en la intangible se ubicó a la cultura, donde la ciencia

es sólo un elemento de esta. Conforme ha evolucionado la ciencia se han conocido segmentos de la realidad, y el conocimiento de estos segmentos se consolidan en las diversas disciplinas como lo son la física, química, biología, ecología, etc. y todas sus subdivisiones.

Si desde una perspectiva sistémica nos referimos a que la realidad se compone de flujos y la energía es uno estos flujos, entonces se entiende que la termodinámica (que estudia la energía) es una disciplina fundamental para el entendimiento de la realidad, ya sea en sentido técnico o conceptual. Por ejemplo, la 1ra ley de la Termodinámica precisa la conservación de la materia y la energía. Conservación que, extrapolada a una ciudad hace referencia al concepto de metabolismo urbano, ya que la ciudad deberá cumplir con un balance de materia y energía indicado por esta ley.

La segunda ley de la termodinámica se refiere a la entropía, que es un concepto menos intuitivo y que es observado desde diversas aristas. Por ejemplo, la entropía se entiende como la irreversibilidad de los procesos físicos y ello le da al tiempo dirección y sentido⁶². Otro ejemplo es la entropía en términos mecánicos, donde se refiere a la pérdida de energía útil en forma de calor, y esta energía no se convertirá en trabajo. En probabilidad la entropía se refiere a la tendencia de un sistema a evolucionar a su configuración más probable, es decir, que un estado de alta entropía será un estado de mayor probabilidad en comparación a uno de menor entropía. Y en términos de la información, la entropía se refiere al grado de aleatoriedad de la información, entre más información es mayor el grado de incertidumbre, por lo tanto, la información que no puede ser reducida bajo algún patrón u algoritmo será de mayor entropía a otra que pueda ser reducida a algoritmos⁶³.

⁶² Un ejemplo de la irreversibilidad se observa cuando un vidrio se quiebra, este fenómeno siempre se observará primero un vidrio completo y después quebrado, pero no al revés.

⁶³ La información contenida en un mensaje es proporcional a la cantidad de bits que se requieren como mínimo para representar al mensaje. Entendiendo los bits como la unidad mínima de información y se usa para representar la contraposición entre dos valores.

Existen otras aplicaciones del concepto de la entropía, sin embargo, si la entropía se relaciona con la dirección del tiempo, el movimiento, la información y la aleatoriedad, etc., es un concepto que trasciende las ciencias duras que comúnmente se centra en lo material e impacta otros campos del conocimiento, como la filosofía incluida en la realidad inmaterial.

La entropía se presenta en cualquier sistema, por ejemplo, en las ciudades se pierde energía en forma de calor, ruido, y en gases de desecho para impulsar la movilidad de los automóviles, donde la eficiencia energética no alcanza más del 40% (Alvarez, 2016). De igual forma, la transferencia de energía eléctrica, la transferencia de información en cable, o sin cable, y un largo etc., tienen pérdidas tanto de energía e información. Es decir, la entropía es un fenómeno claramente observable en las ciudades.

Las diferentes aristas de la entropía parecen estar inconexas la una de la otra, pero este fenómeno se describe matemáticamente bajo ecuaciones de distribución de la probabilidad, y por lo tanto la generación de información, la pérdida de energía en forma de calor y la probabilidad, se describen bajo la misma dinámica (Figura 33). La similitud anterior es un ejemplo del isomorfismo al que Bertalanffy (1976) se refiere en su libro de Teoría General de Sistemas.

Figura 33. Entropía de Shannon y termodinámica.

Entropía de Shannon

$$H = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \text{Log}_2 p(x_i)$$

Entropía termodinámica

$$S = -k_B \sum_{i=1}^n p_i \text{Ln} p_i$$

Prigogine mencionó que “La entropía es el precio de la estructura”, frase sencilla en apariencia, pero muy profunda. Prigogine notó que la realidad se compone de sistemas disipadores de energía, y que el proceso de disipación energética induce la conformación de estructuras que materializan dicho sistema, por lo que toda estructura implica previamente la disipación de energía y por tanto implica la existencia

de la entropía. Por ejemplo, un ser vivo que se mantiene en homeostasis⁶⁴, conserva un cierto orden dinámico en su cuerpo que denominamos vida, sin embargo, son necesarios los continuos flujos de energía y su disipación para mantener la homeostasis, sin ella, el equilibrio del ser vivo se perturbaría hasta perder su homeostasis y morir, es decir, perder su estructura. Por lo que, para mantener la vida de un ser vivo está implícita la generación continua de entropía.

Lo expuesto, podría parecer incongruente debido a que un ser vivo parece escapar a los efectos de la entropía, ya que un ser vivo se entiende como un ser neguentrópico, sin embargo, la entropía generada por el ser vivo para mantener la estructura de su cuerpo (supervivencia), será mayor a la magnitud neguentrópica⁶⁵ de su propio cuerpo (Johansen Bertoglio, 1993), cumpliéndose así el principio de máxima de entropía⁶⁶. Algunas investigaciones sugieren que el origen y mantenimiento de la vida puede ser una consecuencia del principio de máxima entropía (England, 2016).

Bajo la metáfora del Metabolismo Urbano, que asemeja a una ciudad y un ser vivo, lo antes descrito es evidente, ya que una ciudad genera mayor entropía en su hinterland en comparación con la generada dentro de sus fronteras. Actualmente el hinterland para las ciudades es planetario debido al modelo económico globalizado, sin embargo, la disipación de la energía trasciende el planeta tierra, por ejemplo, con la disipación de energía de la iluminación nocturna de las ciudades y de otras ondas electromagnéticas que escapan del planeta.

La termodinámica es una disciplina que pertenece a la física, sin embargo, las leyes, postulados, conjeturas, etc., de la física no explican todos los patrones de comportamiento en la realidad, ya que con

⁶⁴ Homeostasis es un estado de equilibrio entre todos los sistemas del cuerpo que se necesitan para sobrevivir y funcionar correctamente.

⁶⁵ La neguentropía se refiere a la energía que el sistema importa del ambiente para mantener su organización y sobrevivir (Johansen Bertoglio, 1993).

⁶⁶ El principio de máxima entropía es un concepto de la mecánica estadística que establece que la distribución de la probabilidad menos sesgada que se puede atribuir a un sistema estadístico es aquella en la que dadas ciertas condiciones fijas maximiza la entropía, es decir, donde la desinformación es máxima.

base en estas interacciones emergen nuevos patrones de comportamiento que dan lugar a los niveles de organización de la materia, y estos patrones de comportamiento se sobreescriben uno sobre otro, que desde lo conocido por la ciencia se relaciona con las disciplinas como la química, la biología, etc.

4.1.2 Niveles de organización de la materia

Se coincide con García (2006, p.74) quien dice que “el mundo físico se presenta constituido por niveles de organización semiautónomos y en cada nivel rigen dinámicas específicas de cada uno de ellos, pero que interactúan entre sí”. García retomó el concepto de niveles de organización de la materia para explicar la organización de la realidad que nombró “mundo físico”, el cual, en la presente investigación se acopló con la dimensión material de la realidad.

Cada nivel de organización se estudia mediante alguna de las diversas disciplinas científicas, por lo que, para transitar desde las leyes de la física, hasta entender los patrones que explican el comportamiento de una ciudad, es necesario tender puentes entre diversas disciplinas, y por lo tanto, enfocarse en las relaciones entre ellas. El reto más grande para superar es el abismo entre las ciencias naturales y sociales.

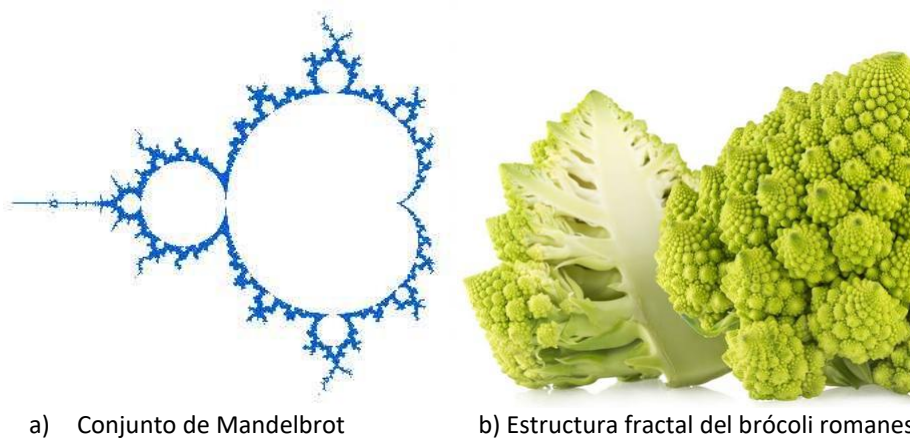
García (2006) se refirió a la interdependencia entre niveles de organización, pero que las dinámicas propias de cada nivel son independientes. Por ejemplo, un ser humano es un organismo y el corazón es un órgano dentro de él, sus latidos mantienen dinámicas independientes a las del cuerpo en su conjunto, el latir del corazón no cambiaría si el organismo decide caminar hacia el oriente, el poniente, norte o sur, pero el organismo y el corazón son interdependientes ya que el ritmo cardiaco se aceleraría si el organismo decide correr en vez de caminar, o si el corazón dejase de latir, no existiría el transporte de nutrientes y energía necesaria para sostener la estructura del sistema y por ende, el organismo moriría.

Los niveles de organización de la materia se sobreescriben uno sobre otro, y una analogía común es la de las muñecas Matrioshka, que dentro de sí contienen a otra muñeca similar más pequeña y así consecutivamente. En palabras de Edgar Morin (1977) :

El fenómeno que nosotros llamamos naturaleza no es más que esta extraordinaria solidaridad de sistemas encajonados edificándose los unos sobre los otros por los otros, con los otros y contra los otros: La naturaleza son los sistemas de sistemas, en rosario, en racimos, en pólipos, en matorrales, en archipiélagos.

Quizá mediante la imagen de un fractal⁶⁷ podamos imaginar la analogía las muñecas Matrioshka y la cita de Morin (Mandelbrot, B. B., & Mandelbrot, 1982). En la Figura 34 se muestran dos ejemplos de fractal, uno creado a partir de un modelo matemático y otro que emergió de la naturaleza.

Figura 34 Ejemplos de fractales El conjunto de Mandelbrot



Fuente de imagen: Tomado de la página web (<http://webdeptos.uma.es/genetica/geneticaevolutiva/T-01-1.html>)

⁶⁷ Un fractal es un objeto geométrico cuya estructura básica, fragmentada o aparente irregular se repite a diferentes escalas (Mandelbrot, B. B., & Mandelbrot, 1982).

Basados en la figura anterior, la estructura fractal del brócoli romanesco emergió desde de la interdependencia de dinámicas físicas, químicas, y biológicas, que definen a este organismo. En caso de que no se conociera como se articulan estas dinámicas no significa que no exista su interrelación, y esto se hace extensivo a los niveles de organización superiores como lo son los sociales, donde el Metabolismo Social y Urbano, tendrá una configuración específica en función a las dinámicas climáticas, hidrológicas, sociales, económicas, políticas, etc. que definen a una ciudad.

Los niveles de organización de la materia son sistemas anidados uno dentro de otro, y todos ellos son sistemas complejos. Si imaginamos a los átomos que surgen de interrelación de las partículas subatómicas por medio de las fuerzas nucleares fundamentales, para así mantener la estabilidad de la estructura atómica, que, a su vez, la relación electromagnética entre los átomos conformará las moléculas. La asimetría en las moléculas derivará en asimetrías electromagnéticas que facilitará la formación de las estructuras supramoleculares. En dimensiones mayores, la conformación sistemas, organelos, que en su conjunto conformarán células, y estos tejidos, órganos, organismos, poblaciones de organismos, comunidades, y en la interrelación de todos los elementos bióticos emergerán los ecosistemas. En todos los niveles citados están presentes los flujos de energía y materia. Una ciudad emerge de la relación de la población humana con su entorno y tiene afectaciones a nivel ecosistémico. En este sentido, las ciudades son consideradas como el sistema de mayor complejidad creado por la humanidad (Ferrao & Fernández, 2013).

En otros niveles de organización se conforman otros sistemas complejos, como las dinámicas poblacionales, el sistema nervioso de un organismo, los procesos genéticos en los núcleos celulares, y debido a que en cada nivel de organización de la materia existen sistemas complejos, todos ellos compartirán

propiedades de los sistemas complejos como la emergencia, criticalidad autoorganizada⁶⁸, etc., (García-Marín *et al.*, 2008; T. Mora & Bialek, 2011) .

Para la existencia de los procesos genéticos, fisiológicos, neuronales, etc., no fue necesario la existencia previa del ser humano, sin embargo, para el caso de la existencia de las ciudades si fue necesario la existencia previa del ser humano y su convivencia en sociedad, por tal motivo, todos los elementos culturales, psicológicos, culturales, sociológicos, políticos, etc., influyen en la naturaleza de la ciudad y por lo tanto en su Metabolismo Urbano. Aunque es sencillo entender esta relación, también está claro que el abismo epistemológico entre dichas ciencias dificulta la praxis de su integración para los investigadores.

4.1.3 La conciencia es un fenómeno natural emergente

Lo social hace referencia a la relación entre organismos vivos y particularmente a la relación entre los seres humanos. Los seres humanos son un ente biológico y por ende su origen es natural, pero entonces ¿porque lo social no tendría que ser natural?, ¿Dónde está la ruptura?, ¿en su inteligencia y en sus capacidades lingüísticas?, tanto inteligencia como el lenguaje emergen desde la conciencia⁶⁹, la cual es una propiedad emergente del sistema nervioso humano (Díaz, 2011). Si la conciencia es una propiedad emergente de un sistema complejo y, a la conciencia históricamente se le conoció como el alma o el espíritu, entonces se infiere que el alma es una propiedad emergente del cerebro. Bajo este orden de ideas, la conciencia y el cuerpo no son dos sustancias diferentes como lo propuso Descartes hace siglos, sino que el alma o conciencia es un fenómeno natural emergente desde la realidad material, por lo que, se reitera

⁶⁸ Criticalidad autoorganizada es un término utilizado para explicar diversos sistemas o fenómenos existentes en la naturaleza. A partir de este término se describen las propiedades de sistemas dinámicos que al mantenerse en un estado crítico (al borde del caos) exhiben la característica de invariancia de escala (no hay cambios si la escala de tamaño es multiplicada por un factor común) (García-Marín *et al.*, 2008).

⁶⁹ Se coincide con el concepto de conciencia desarrollado por Díaz (2011) en el capítulo “El Cerebro”, el enjambre de la conciencia.

que la separación sugerida por Descartes entre *res extensa* y *res cogitans* es incorrecta. Quizá esta obviedad sea algo superado, sin embargo, si lo mencionado estuviera totalmente claro y apropiado por la comunidad científica y la sociedad, no existirían problemas en conciliar las ciencias sociales con las naturales, o la filosofía con las ciencias, etc.

Si la conciencia es un fenómeno natural y el conocimiento surge desde sus procesos neurológicos, entonces el conocimiento es un proceso surgido también desde procesos naturales entre las diferentes conciencias en los organismos. Otro punto es, que si la conciencia es un fenómeno natural que emerge de un ente material (el cerebro de un organismo vivo), entonces la conciencia ocupa un lugar definido entre los niveles de organización de la materia, debido a que no podría surgir antes de la existencia del cerebro como un órgano, ya que la conciencia no surge de una sola neurona sino de la complejísima relación entre ellas. Lo anterior es curioso desde el punto de vista epistemológico, porque nuestra conciencia observa fenómenos hacia los niveles inferiores y superiores a sí misma, sin omitir que también se observa a sí misma o a otras similares, y esto de alguna forma interviene en nuestra forma de conocer. La afirmación anterior deriva en al menos tres categorías; la primera es la observación de la realidad hacia los niveles debajo de la conciencia, la segunda es la observación de la propia conciencia hacia otras conciencias, y la tercera es la observación de la realidad en niveles de organización superiores a la conciencia y en esta última las propias conciencias y sus interrelaciones la conforman e interdefinen.

La observación de los niveles de organización inferiores a la conciencia será débilmente influida por esta, por tal motivo, las observaciones tenderán hacia la objetividad. En esta categoría se encuentran ciencias como la física, química, biología, etc. La observación de la realidad que se encuentra al mismo nivel que la conciencia, es decir, la conciencia observando otras conciencias o la suya propia, resultará en recursividad e interinfluencia, por lo que, dicha observación tenderá hacia un alto grado de subjetividad e intersubjetividad. En esta categoría comprende ciencias como la psicología, y todo lo relativo al contacto

entre pares. La recursividad mencionada se refiere a que la conciencia es estudiada por la propia conciencia, recursividad que también se observa en el estudio de otros niveles de organización como por ejemplo con la física cuántica, que estudia los límites de la física a partir de la física y sus límites, o en la lingüística que estudia el lenguaje a partir del lenguaje. Lo anterior es paradójico pero inevitable.

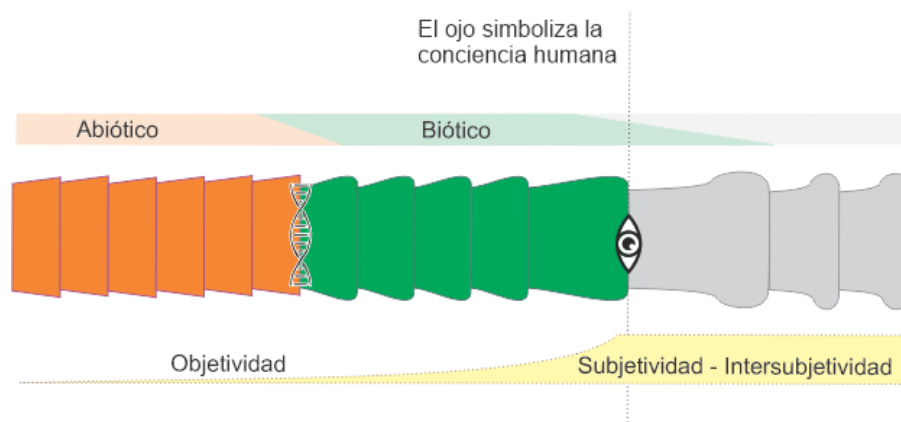
Para la observación de la realidad en los niveles superiores a la conciencia que surge a partir de la interrelación de todos los niveles debajo de ella, incluye todos los factores abióticos y bióticos, el ser humano incluido como un elemento biótico. Debido a lo anterior, estas observaciones requerirán la integración de disciplinas que tiendan hacia la objetividad, pero integrado con disciplinas tiendan hacia la subjetividad e intersubjetividad. Por ejemplo, el cambio climático obedece a lo descrito por las leyes de la física, química, etc. sin embargo, se deben incluir los factores antropogénicos que están definidos por los factores históricos, político-económicos, culturales, etc., que también forman parte de la información necesaria para entender cabalmente el fenómeno del cambio climático. En esta tercera parte de la realidad se encuentran disciplinas como la ecología, más otras disciplinas híbridas como la ecología industrial, la ecología urbana, la ecología política, entre otras, donde se estudian aspectos de la ecología tradicional pero junto con elementos de las ciencias sociales.

Se sobreescribe que el fenómeno del Metabolismo Social y otros problemas ambientales (como el cambio climático) se encuentran en esta tercera categoría de observación de mayor complejidad, por lo que es indispensable la aplicación de herramientas como la interdisciplina y transdisciplina para entretejer la diversidad de los conocimientos y así aproximarse al entendimiento de la realidad en su complejidad. La metáfora del Metabolismo Social y Urbano ayuda a aproximarse a la noción de la realidad emergente a partir de las dinámicas sociales, pero es ingenuo equiparar perfectamente un organismo vivo con el superorganismo social, por ejemplo, no se puede equiparar perfectamente una célula con un mamífero,

habrá similitudes, pero no serán perfectas, el mamífero se regirá bajo dinámicas propias y semindependientes a sus dinámicas celulares. Por lo tanto, se debería evitar este error y entender a la metáfora del Metabolismo Urbano solo como una herramienta heurística para observar la realidad que emerge en una organización superior a la conciencia humana.

En la Figura 35 se ejemplifica gráficamente los niveles de organización de la materia, y se indicó a al ADN entre los factores abióticos (naranja) y bióticos (verde), a la conciencia (simbolizada con un ojo) entre los factores bióticos y los ecosistemas (gris). También se indicó en la parte inferior la tendencia hacia la objetividad o subjetividad que implicaría estudiar algunos de estos niveles.

Figura 35. La conciencia ubicada entre los niveles de organización de la materia.



Fuente: Elaboración propia

4.1.4 La conciencia, el conocimiento y la tecnología

El conocimiento en general y el conocimiento científico en específico surgen desde los procesos de interrelación entre las conciencias de seres humanos dedicados a conocer, y como consecuencia de la praxis del conocimiento surge la tecnología. El conocimiento en sí forma parte de la realidad inmaterial y la tecnología puede ser parte de la realidad inmaterial o del material, sin embargo, al referirnos a la tecnología nos referiremos principalmente a su aplicación material. La tecnología es una forma de interacción entre el ser humano con la naturaleza, sin la tecnología alcanzada, nuestra vida sería parecida a la de otras

especies animales. Tan sólo nuestra vestimenta o la vivienda es tecnología que nos protege de las inclemencias del entorno y por lo tanto, asegura nuestra supervivencia.

Sin embargo, con el afán de superar la ilusión antropocéntrica, se resalta que el ser humano no es el único ser vivo que desarrolla y usa tecnologías, sino que también otras especies animales hacen uso de prototecnologías⁷⁰. Si los animales también construyen tecnologías, se infiere que otras especies animales también poseen conciencia (de algún tipo). Algunos ejemplos de prototecnologías son las presas de los castores, las cuales son un método de protección que el castor construye de forma sistemática, colocando, rocas, lodo, ramas de árboles y otros materiales, para detener el flujo de agua de un río, elevar su nivel y con ello bloquear el acceso de depredadores hacia sus madrigueras y así protegerse a sí mismo y a sus crías de los depredadores. Por otro lado, los nidos de las aves se construyeron con hojarascas, ramas, e insumos del entorno que ayuda a que conserven el calor para garantizar la supervivencia del ave y sus crías. Para ambos ejemplos, los organismos vivos reorganizaron los materiales de su entorno para asegurar su supervivencia, es decir, implica flujos materiales para suplir una función de un ser vivo (un tipo de Metabolismo Social de una especie animal) (Véase la Figura 36).

Figura 36. *Ejemplos de prototecnologías en los animales*



Fuente: Tomado de la página web (<https://www.tekcrispy.com/2018/11/28/castores-colonizando-artico/>)

⁷⁰ Prototecnología es la capacidad más limitada de desarrollar herramientas simples a partir de materiales del entorno natural.

Está claro que los animales tienen comportamientos básicos similares a los nuestros, entonces ¿Por qué insistir en que los seres humanos somos únicos, superiores o diferentes? Si es evidente que solo somos uno ser vivo más, con habilidades cognitivas más desarrolladas, pero al final, sólo un elemento más del ecosistema del cual dependemos. La superación del antropocentrismo es otra arista en la superación de la escisión entre la sociedad y la naturaleza que requiere el entendimiento de la realidad.

Si se realiza el esfuerzo por superar el antropocentrismo y nos autopercebimos como parte de un todo, donde nosotros solo estamos insertos dentro de la realidad material, tanto biótica como abiótica, se hace evidente (hasta por sentido común) que el cuidado del todo (ambiente) es vital para nuestra supervivencia. El situarnos ontológicamente como un elemento más dentro del ecosistema natural, conlleva a percibir las ideas antropocéntricas de poseer y dominar la naturaleza como algo absurdo, porque las partes necesitan del todo y el todo necesita de las partes, además las partes surgieron con el todo, y sin el todo no existirían las partes. Haciendo una analogía con el cuerpo humano, sería como si las células de la piel quisieran dominar la del resto del cuerpo, y estas perturbarán la sinergia entre las otras funciones del cuerpo, lo que vulneraría el equilibrio del sistema y, finalmente, se perjudicaría a sí misma. Tal como lo hace la enfermedad del cáncer que tarde o temprano mata al todo y con la muerte del todo también las células cancerígenas morirán.

Si el ejemplo anterior lo trasladamos a la realidad ambiental, quizá el antropocentrismo solo sea un elemento de los genes culturales que enferman al superorganismo ambiental. Por tal motivo, se piensa que la superación del antropocentrismo sería benéfica para el ambiente, y tomar posturas como la biocéntrica. Sin embargo, iría un poco más allá, ya que lo biótico requiere de lo abiótico para subsistir, por ejemplo, una montaña, no se considera un ser vivo, pero es necesaria para acumular el agua que más abajo emana como manantiales, o funciona para cobijar cierto tipo de ecosistemas, por lo que, no solo la

vida está en el centro, sino también lo considerado como no vivo, ¡todo es importante! Por lo que, trasladarse de una postura antropocéntrica hacia una postura sesgada en la geo-ontología (enfocada en el sistema tierra como planeta) sería ideal para el cuidado ambiental.

Si el antropocentrismo es un elemento cultural (parte de la realidad intangible) que repercute en la realidad material, ¿Qué influencia tiene en el ambiente el resto de las ideas que conforman la cultura? Quizá las culturas son el ADN de las sociedades humanas, y que termina manifestándose en mayor o menor grado en la realidad material como los fenotipos en un ser vivo. Lo anterior trasladado a lo que nos concierne nos lleva a pensar que la cultura podría ser un tipo de gen que configura las dinámicas del Metabolismo Social. Por lo tanto, si la ciencia es un elemento de la cultura, la sutura de la escisión de la concepción ontológica de la sociedad y la naturaleza es fundamental para recodificar nuestros genes culturales y con ello reconfigurar nuestro Metabolismo Social.

Quizá la transformación de la realidad material (Metabolismo Social) por las conciencias humanas no implique la emergencia de nuevo nivel de organización de la materia, sin embargo, cada desarrollo tecnológico podría representar un paso gradual hacia su consolidación. Para ello el manejo de la información y todos sus procesos son clave, quizá en este momento la inteligencia artificial y la computación cuántica sean el horizonte en este sentido (con resultados favorables y desfavorables para la humanidad).

4.1.5 La información da forma a la materia

Desde la etimología de la palabra información, se hace evidente la acción de dar forma, es decir, la información le dará forma a la realidad en todos los niveles de organización de la materia.

La transmisión de la información entre los organismos vivos ocurre por medio de lenguajes basados en señales visuales, auditivas, químicas, etc., y dicha información influirá en mayor o menor grado en las conductas y procesos de los seres vivos, tanto intra-especie como inter-especie, ya sean sus conductas

alimenticias, reproductivas, etc. Un ejemplo se observa con la rana túngara, la cual, emite una serie de sonidos para llamar al apareamiento, esto implica que las características sonoras de la rana y su complejidad acústica influenciarán el éxito o fracaso de la replicación de sus genes, es decir, la selección sexual está basada en los flujos de información (vía acústica) entre ranas. Por lo anterior, la comunicación sonora entre ranas túngaras afectará la evolución de su propia especie y a su vez los genes preservados se interdefinirán con el sonido que emitirán las ranas futuras a lo largo de las generaciones (Gridi-Papp *et al.*, 2006). Otro ejemplo, se observa con los pinzones de Darwin, quienes poseen una notable diversidad en la forma y función de su pico. Esta diversidad evolucionó conforme a las condiciones ecológicas de su entorno local, sin embargo, la diversidad de picos también afectó las señales vocales del pinzón que a su vez afectó su cantar y esto afectó su comunicación sonora, y provocó alteraciones en las dinámicas de su apareamiento para finalmente afectar su evolución (Podos & Nowicki, 2004). Ejemplos como los anteriores son interminables, pero evidencia como los flujos de información afectan a la realidad material de las especies animales a través del tiempo. En los dos casos anteriores existe interdependencia entre flujos de información genética y los flujos de información relativos a la comunicación intra-especie.

La transferencia de información no sólo ocurre de forma intra-generacional, sino que también se transfiere a través de las generaciones (intergeneracional) y entre las especies (inter-especie). Si nos referimos a la transferencia y acumulación intergeneracional de información en una especie animal, ya se alude a algún tipo de cultura⁷¹ en los animales (Canclini, 2004), y con ello otro argumento en contra del antropocentrismo. Si los animales además de los humanos transmiten información entre generaciones resulta en que la cultura tampoco es un fenómeno exclusivo de los seres humanos, por ejemplo, los chimpancés, delfines, etc. (Biro *et al.*, 2003; Galef, 1992; Kopps *et al.*, 2014). La acumulación de información

⁷¹ Definición de cultura: Todos estos conocimientos conforman la parte intangible de la cultura humana, la cual es conjunto de bienes tangibles e intangibles que han construido los seres humanos a partir de la relación con su entorno, la cual transmiten a través de las generaciones de los grupos sociales, con el fin de garantizar su supervivencia (Canclini, 2004).

abre la posibilidad de que el conocimiento se desarrolle y evolucione hacia otro más complejo, que se construyan estructuras inmateriales que llamaremos como conocimiento (constructivismo), y que derivará en conductas y tecnologías más complejas que faciliten la adaptación del organismo a su entorno y, por lo tanto, la preservación de su especie. Si la cultura no es exclusiva para los humanos, el antropocentrismo es para la especie humana más vanidad que realidad.

En los seres humanos la transferencia de información es diversa y compleja, además de los lenguajes escritos y hablados, también nos comunicamos de forma visual, auditiva, química, etc. Por ejemplo, el uso de perfumes corresponde a comunicación química entre humanos, y para la producción de la gran diversidad de aromas precedieron los procesos del conocimiento y la tecnología. En la sociedad, los flujos de información tienen fines diversos, ya que pueden ser para la vida cotidiana, o fines políticos, artísticos o científicos entre otros, todos aquellos corresponden a una parte de la realidad intangible que forman parte de la cultura.

La diversidad lingüística entre etnias está interrelacionado y condicionado con la diversidad de entornos ecosistémicos donde habite la etnia (no solo en los pinzones hay interrelaciones entre organismos y ambiente). No es extraño que los humanos que viven en los polos posean mayor diversidad lingüística para nombrar al hielo, en comparación con los que viven entre los trópicos. El lenguaje humano que es parte de la realidad intangible se adapta a su entorno material (la realidad tangible), ambas realidades se interrelacionan.

4.1.6 La relación dialógica entre la cultura y su entorno material

La diversidad cultural humana es una manifestación de la diversidad de relaciones entre las sociedades humanas y su entorno biofísico, donde cada una de ellas tiene una historia única e irrepetible a la par de que el tiempo y el espacio habitado también es único e irrepetible. En aquella memoria cultural se

codifica la información que una sociedad requiere para relacionarse con su ambiente y subsistir. De forma análoga en como los procesos genéticos y epigenéticos definen la expresión de alguna característica física de un organismo vivo (Kane & Sinclair, 2019), la cultura también define la expresión material de la sociedad que la emana. En apoyo a esta analogía cito a Richard Dawkins, quien denomina como “memes” a la unidad básica de información cultural similar a un gen, es decir, un meme es un gen cultural (Sterelny, 2006).

El Cambio Climático es consecuencia de la relación sociedad naturaleza a escala planetaria, donde la ingente cantidad de gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera por las actividades humanas han afectado los procesos climáticos globales. La influencia humana en el planeta es tan grande que como una fuerza geológica que ha modificado las condiciones conservadas por milenios en el Holoceno, y ello llevó a nombrar a la época geológica actual como Antropoceno (Fernández Durán, 1995).

Los procesos culturales se relacionan dialógicamente con su entorno, es decir, que las sociedades humanas generan a su cultura conforme se relacionan con el entorno, y el entorno se modifica como resultado de la praxis de cada cultura. Los conocimientos culturales tradicionales derivaron de la interacción entre los grupos sociales y su entorno por milenios (interrelación entre la realidad intangible y tangible). Por ejemplo, el maíz como lo conocemos es el culmen de la interacción entre la selección artificial humana y el antiguo teocintle, interacción estimada por ochomil años (Eubanks, 2006). De forma similar, existen otros ejemplos de organismos vivos que evolucionaron en conjunción con las prácticas culturales humanas, algunos ejemplos son; la sandía, el plátano o la papa (Krebs, 2009). Toledo & Barrera-Bassols (2008) en su libro de Memoria Biocultural manifestaron que la evolución cultural humana devino con la interacción entre las actividades culturales y la biodiversidad de los ecosistemas. Ello resalta la importancia de conservar la diversidad cultural humana para conservar la diversidad biológica, ya que su evolución interdependiente conlleva que se necesiten mutuamente para coexistir. Por lo que es de vital importancia que los conocimientos tradicionales sean revalorados y rescatados del asedio de la cultura dominante

actual, ya que no es de extrañar que la disminución en la diversidad biológica en el planeta ocurra al paralelo de la pérdida de la diversidad lingüística (V. M. Toledo & Barrera-Bassols, 2008). Por lo que, se sobrescribe la importancia de adoptar procesos de respeto valoración y conservación multicultural para promover el cuidado y conservación del ambiente (V. M. Toledo & Barrera-Bassols, 2008).

Cada cultura se manifiesta en una configuración de Metabolismo Social particular que ha evolucionado y preservado en el tiempo. El tiempo de preservación es relevante, ya que las culturas milenarias un ejemplo de sustentabilidad que contrasta con el insustentable Metabolismo Social que domina actualmente. Por tal motivo, el conocimiento es una fuente de respuestas en el conocimiento necesario para transitar a la sostenibilidad del Metabolismo Social, y por tal motivo, el diálogo entre la ciencia y los conocimientos alternativos es importante. Lo anterior resalta la importancia de la transdisciplina en la búsqueda de respuestas para la sustentabilidad del Metabolismo Social.

En el sentido de la cultura cito la siguiente frase de Prigogine:

La ciencia es un elemento de la cultura. Veo mi trabajo como una reconciliación, porque demuestra que el problema del tiempo puede ser abordado por la ciencia y desemboca en la filosofía.

La frase anterior alude a que el conocimiento científico no está desligado de la forma en cómo se entiende mundo, por lo que, la cultura influirá al desarrollo del conocimiento. Para el caso de este trabajo se refiere a la cultura occidental y al conocimiento se refiere a lo que denominamos ciencia. Posteriormente menciona que existe una relación dialógica entre lo que es ciencia y filosofía, que para el caso de Prigogine sus reflexiones acerca del tiempo son un ejemplo del dialogo entre sus conocimientos científicos y sus reflexiones filosóficas.

Si la cultura define como se relacionan la sociedad con la naturaleza, y la ciencia es un elemento de la cultura, entonces la ciencia influirá en la relación sociedad-naturaleza. Lo anterior parece obvio, sin embargo, aunque la ciencia es un factor de influencia, no es el único, ya que coexiste con los conocimientos no científicos que también conforman la cultura. Por consecuencia, estos conocimientos alternativos a la ciencia también impulsan la praxis cotidiana de la población y, por ende, modifican la dinámica del Metabolismo Social y el entorno biofísico. Por lo tanto, se sobreescribe que el estudio de la relación entre la sociedad y la naturaleza nos solo requiere de la interdisciplina, sino también es necesario integrar el dialogo de saberes con los conocimientos no científicos, y con ello generar el nuevo conocimiento encaminado a comprender integralmente la relación sociedad-naturaleza. El dialogo de saberes es un proceso fundamental para la coproducción de conocimiento enfocado en que la sociedad futura que se proponga el cuidado ambiental como objetivo de supervivencia de la especie humana (Delgado-Ramos, 2015a).

Si las prácticas culturales dan forma al entorno socioambiental, entonces al modificar el conocimiento es posible transformar la interacción con sociedad-ambiente hacia una más sostenible. Preston, (2019) lleva al extremo esta idea al visualizar la superación del Antropoceno en una nueva era geológica que denomina la era Sintética, donde la influencia del ser humano como fuerza geológica es dirigida a voluntad para modificar el ambiente. De forma similar Lovelock manifiesta que la inteligencia artificial será la que guíe nuestro futuro, y sugiere que persistirá después de la extinción humana. A la par de la visión de Preston o Lovelock, es necesario tomar en cuenta otras posturas donde se supere la idea clásica de someter y controlar a la naturaleza. En la diversidad de visiones a futuro, debe de ser obligado la búsqueda de la armonía entre la relación entre la sociedad y la naturaleza, porque de lo contrario, la vida como se conoce hasta hoy en día corre riesgo, y el ser humano como elemento biótico también desaparecería.

En este trabajo se percibe al ser humano como un ente natural que emergió de la naturaleza y que es parte de esta, sin ninguna contradicción con ella, y sin considerar especial su existencia ya que

comparte características con otros organismos vivos, es un organismo más. Se piensa que todo es naturaleza, no hay algo diferente a ello. Nuestros pensamientos, sueños, arte, creaciones tecnológicas humanas, todas son expresiones de nuestra naturaleza, (Heynen *et al.*, 2006) lo denominan la segunda naturaleza, naturaleza producida, o ciborg. La tecnología humana cumple diversas funciones, de forma análoga a una proteína fabricada a partir de códigos de información genética, sin embargo, la tecnología se moldea a partir de los códigos en la información cultural, basados en que la ciencia es un elemento de la cultura.

Si nuestra conciencia emerge de la interrelación compleja de elementos relativamente menos complejos, ¿porque nosotros no podríamos ser un elemento del que emerja otro ente más complejo a macroescala? La respuesta a esta pregunta requiere una reflexión ontológica que busque alternativas a la herencia de la cultura occidental. Y en caso de que la pregunta sea afirmativa, ¿cómo sería aquel nuevo ente?, ¿qué forma tiene?, ¿cómo se comporta?, ¿piensa?, ¿se alimenta y excreta?, ¿se enferma?, y si aquel ente también muere, ¿cómo muere?, etc. La respuesta a las preguntas anteriores requiere la generación de nuevo conocimiento a partir de una postura epistemológica congruente una postura ontológica sin escisión entre la sociedad y la naturaleza. Y la metáfora del Metabolismo Social como herramienta heurística para aproximarse a la dinámica material a macro escala (tomando como referencia al humano) abona a este cometido. Este concepto aporta con la generación de conocimiento a favor de suturar la escisión entre sociedad y naturaleza, y lo hace pertinente para las ciencias ambientales. En ese orden de ideas, se sobrescribe la importancia de realizar una reflexión profunda y crítica desde las propias perspectivas ontológicas, epistemológicas, alternativas para entender el Metabolismo Social, y ello nos ayudará a construir un nuevo paradigma científico socioambiental (hablando en términos de Kuhn).

4.1.7 El Metabolismo Social ubicado dentro del marco epistémico del investigador

En la Figura 37 se sintetiza y esquematiza la reflexión descrita anteriormente. En el diagrama se empalman las dimensiones de la realidad tangible e intangible (material e inmaterial) con las categorías de los flujos de energía y la materia e información. Los niveles de organización de la materia se representaron de forma escalonada dentro de la dimensión material, colocando de forma ascendente la complejidad de cada nivel. Los escalones se agruparon en tres colores; el color naranja representa a la sección abiótica, en verde a la biótica y en gris el ecosistema que emerge de las relaciones entre los dos primeros. Las esferas planetarias son la consecuencia a nivel planetario de los fenómenos en cada nivel, y estas se indicaron a la derecha con un color continuo y degradado⁷² (García Aguilar & Salcedo de Lara, 2003).

Con el color morado se simbolizó a la Antroposfera (que comprende a las dinámicas materiales que emergieron desde las actividades humanas) y considerada como un subsistema de la Ecosfera, y dentro de la Antroposfera está la Tecnosfera. Finalmente, el Metabolismo Social se refiere a aquellas dinámicas materiales de la Antroposfera, expresada en flujos de materia energía en información, que también se denomina la segunda naturaleza o mundo ciborg (Heynen *et al.*, 2006).

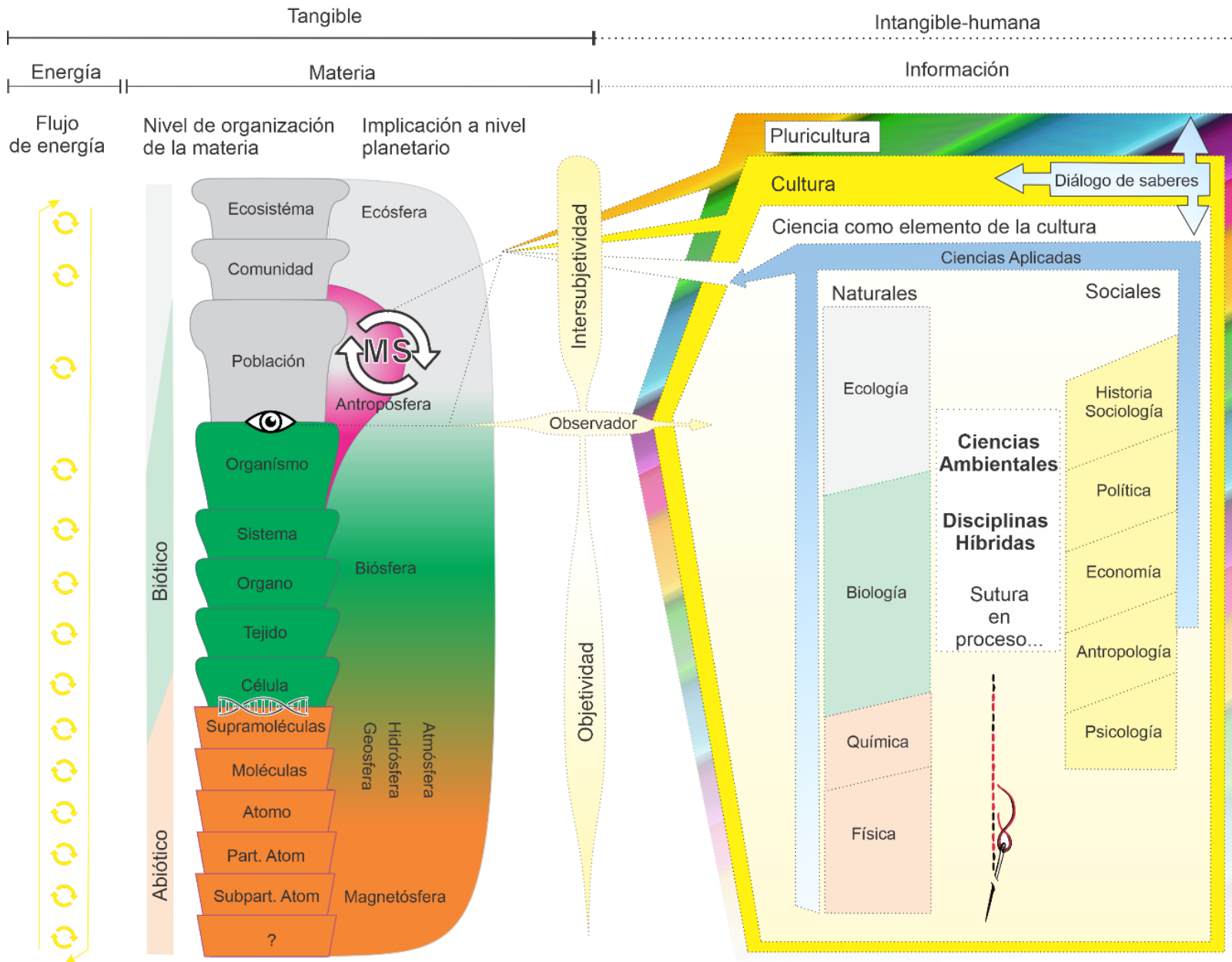
La dimensión inmaterial se ubicó al lado derecho del diagrama y se empalmó con la categoría sistémica de la información, que comprende a las diferentes culturas humanas, teniendo a la cultura occidental como subelemento de todas las culturas y sucesivamente a la ciencia que conocemos como una subelemento de la cultura occidental. En el diagrama se representó a la ciencia con una estructura que refleja a la realidad material, y se divide en dos grandes secciones; las ciencias naturales y las ciencias sociales y el espacio entre ellas simboliza la escisión ontoepistemológica. En aquel espacio intermedio se ubicó a las disciplinas híbridas y las ciencias ambientales, indicando su función de sutura entre las ciencias

⁷² Esferas planetarias (García Aguilar & salcedo de Lara, 2003).

naturales y sociales. Las ciencias aplicadas se simbolizaron con una flecha que se conecta con la Antroposfera, indicando que la praxis del conocimiento dará forma a la realidad material y, por lo tanto, influirá en el Metabolismo Social.

El ojo colocado entre los niveles de organización de la materia simboliza la conciencia humana, que ocupa un lugar fijo entre los niveles de organización de la materia y desde donde se genera el conocimiento. La línea que conecta al ojo (conciencia) con la dimensión intangible simboliza la generación de conocimiento desde el observador, donde el conocimiento generado en niveles inferiores a la conciencia tiende hacia la objetividad, y el generado en relación con los niveles superiores tenderá hacia la intersubjetividad.

Figura 37 Diagrama de la perspectiva particular de la relación sociedad naturaleza sin separación ontológica.

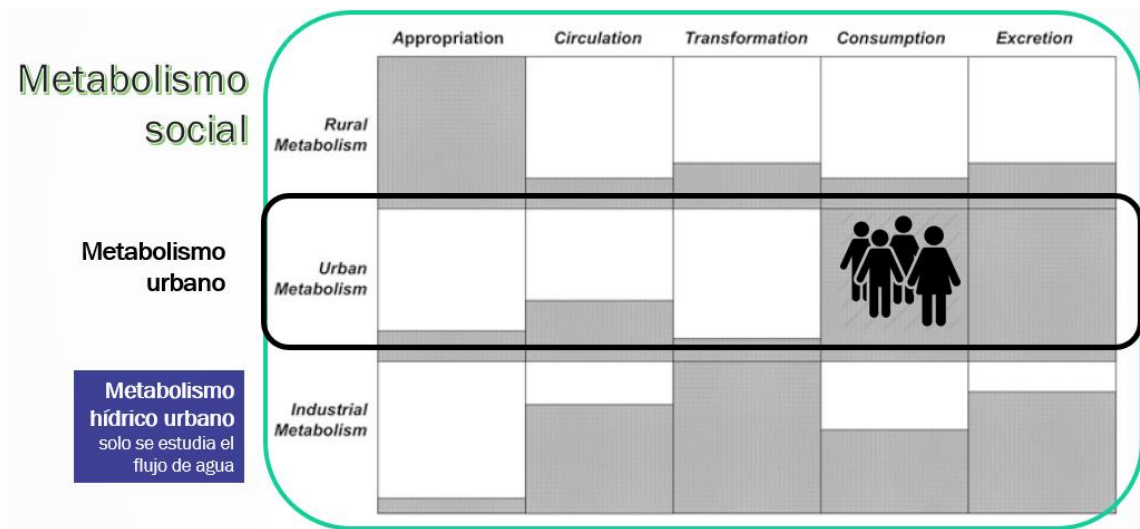


Fuente: Elaboración propia.

4.2 Modelo conceptual del Metabolismo Hídrico Urbano

El sistema Socioambiental del Metabolismo Urbano en la ciudad de Puebla se construyó basado en la concepción ontoepistemológica expresada en el Marco Epistémico, y a dicha concepción de la realidad se aplicaron una serie de recortes para aproximarse sucesivamente al objeto de estudio. El primer recorte inició con enfocarse en el Metabolismo Social, indicado en la Figura 38, mismo que de acuerdo con (González de Molina & Toledo, 2014) está subdividido en Metabolismo Rural, Industrial y Urbano. Debido a que nuestro interés se centró en el agua en la ciudad de Puebla, se tomó en cuenta únicamente al concepto de Metabolismo Urbano y de este únicamente se tomó el flujo hídrico, para enfocarse en el Metabolismo Hídrico Urbano.

Figura 38 Determinación del MHU a partir de recortes de la realidad.



Fuente: Elaboración propia a partir de (González de Molina & Toledo, 2014)

El Metabolismo Hídrico Urbano requiere de energía y de otros flujos materiales para existir, por lo tanto, se integró al flujo energético junto con otros flujos materiales como el peso de las redes

de distribución, y con ello se integró el concepto de Nexo Agua-Energía-Carbono al de Metabolismo Hídrico Urbano. Los elementos citados anteriormente son del dominio de la dimensión tangible.

Basados en la premisa expuesta en el Marco Epistémico, donde la realidad inmaterial da forma a la realidad material, se induce que existen elementos inmateriales que moldean al Metabolismo Hídrico Urbano, y se eligió al concepto de Derecho Humano al Agua y la Seguridad Hídrica como conceptos que tenderán a guiar la configuración del Metabolismo Hídrico Urbano. En este mismo sentido y bajo el contexto del Cambio Climático, existen otros conceptos que influirán en la configuración del MHU, como la eficiencia energética de los procesos hídricos y la mitigación de GEI al aplicarse influirán en el MHU. En la Figura 39 se esquematiza la relación de los conceptos citados anteriormente. Sin embargo, los conceptos citados son amplios por lo que es necesario continuar con los recortes para lograr mayor precisión en el modelo.

Figura 39 Modelo general que relaciona los conceptos que conciernen con el MHU.



Fuente: Elaboración propia.

4.2.1 Estructura general del modelo del sistema socioambiental

De acuerdo con lo indicado por la Teoría de Sistemas Complejos (R. García, 2006) se aplicó un esquema de tres subsistemas en los y tres niveles de análisis que se describen a continuación.

El tercer nivel de análisis se consideró que:

- El Cambio Climático como un proceso global que afecta transversalmente a todos los procesos hídricos del segundo y primer nivel de análisis.

En el segundo nivel de análisis se tomó en cuenta:

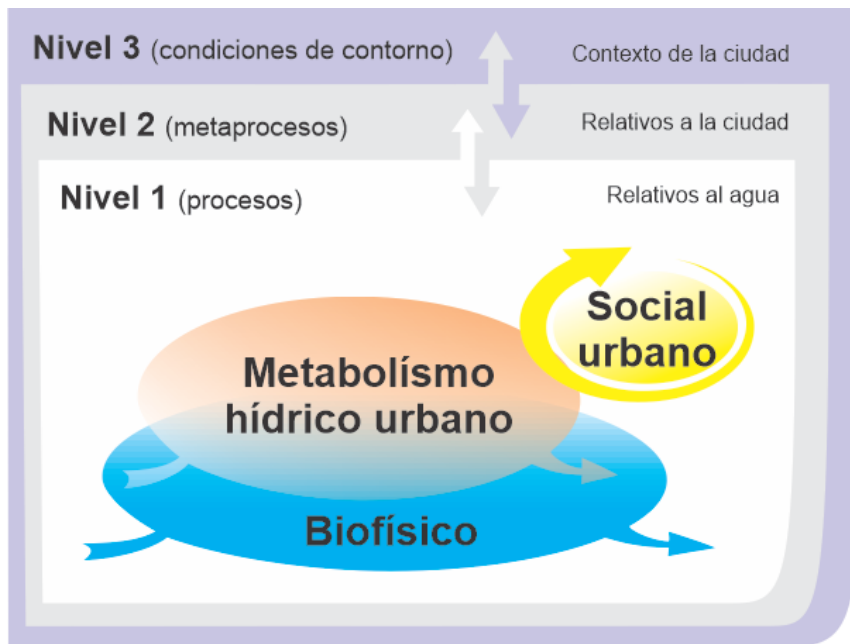
- El de crecimiento poblacional influye directa e indirectamente en la demanda de agua.
- El Metabolismo Urbano total de la ciudad, el cual, se relaciona con el área construida de la ciudad que implica el stock del MU y que conforme incrementa su magnitud requiere mayores flujos materiales para su mantenimiento, dentro de los que se encuentran los flujos hídricos, mayor área construida requerirá mayor agua y ello afecta a los subsistemas del primer nivel.
- En la dimensión intangible se ubicaron a los conceptos de Seguridad Hídrica y Derecho Humano al Agua, junto con su normativa influirá en la configuración del MHU.

El primer nivel de análisis comprende los tres subsistemas siguientes:

1. Subsistema Biofísico: Se conforma de elementos que existen sin intervención humana como el ciclo hidrológico del agua que incluye la precipitación, los escurrimientos superficiales, el acuífero.
2. Subsistema de Metabolismo Hídrico Urbano y sus nexos: Corresponde a las dinámicas materiales que emergen desde las actividades humanas, es decir, se refiere al MHU más otros flujos relacionados con este.
3. Subsistema Social: Correspondiente a la realidad inmaterial. Se propusieron los conceptos relacionados con el agua, como la Seguridad Hídrica, el Derecho Humano al Agua, y la mitigación del cambio climático.

El orden entre los tres subsistemas se definió con el fin de resaltar la relación sociedad-naturaleza, donde el Metabolismo Hídrico Urbano emerge de la interacción del subsistema Biofísico con el Social intangible, y por tal motivo, queda en medio de los dos subsistemas. En la Figura 40, se esquematiza a de forma general lo expuesto.

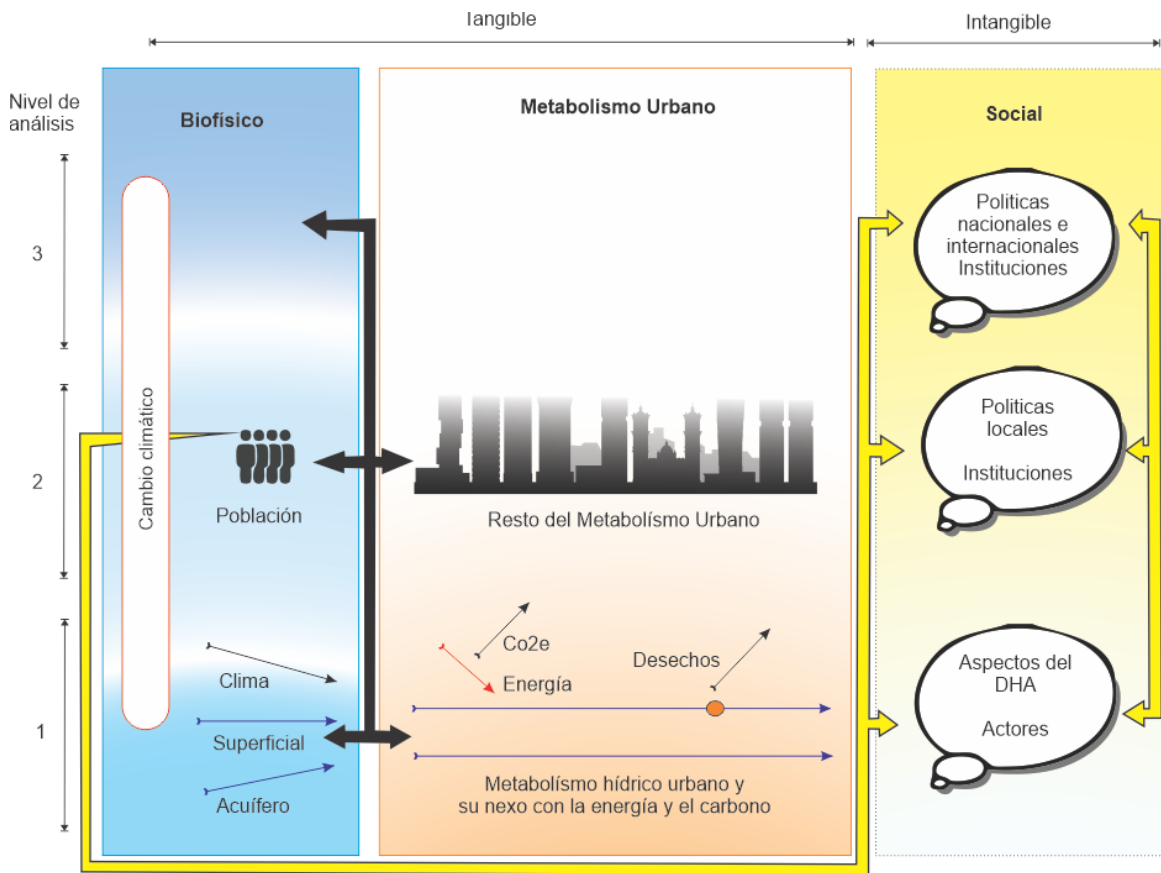
Figura 40 Esquema general del sistema socioambiental



Fuente: Elaboración propia.

Más adelante se definieron los elementos para cada subsistema. En la matriz de 3x3 de la Figura 41 se esquematizó la separación de los elementos del sistema socioambiental estudiado, con las flechas negras indicó la interrelación entre los elementos de la dimensión tangible y las flechas amarillas la interrelación entre los elementos intangibles. A la población humana se colocó del lado biofísico, ya que se entiende a la población como una especie más que tiene la necesidad básica para vivir similares a cualquier otra especie (respirar comer y beber). La población humana es el nodo central de donde coinciden las interrelaciones materiales y las inmateriales.

Figura 41 El sistema socioambiental del agua esquematizado en función de los tres niveles de análisis y las categorías de realidad tangible e intangible



Fuente: Elaboración propia.

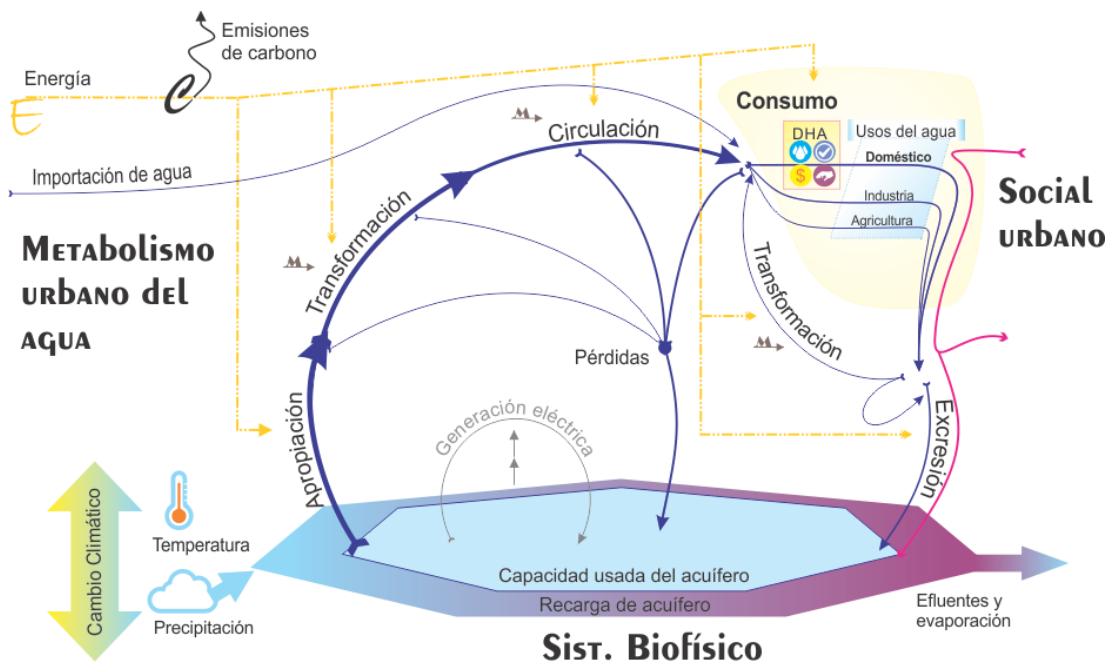
4.2.2 Definición de los indicadores del modelo

Para definir los indicadores primero se definieron con mayor claridad los subsistemas del primer nivel y se representó en la Figura 42. Se representaron con flechas azules a los cinco procesos metabólicos hídricos, que se relacionan con los flujos energéticos (flechas amarillas), y se relacionan también con las emisiones de carbono (flecha negra). Los flujos materiales indirectos que se requieren para mantener el Metabolismo Hídrico Urbano se indicaron con flechas grises y una letra M, y aluden a los procesos de transformación (químicos) y circulación (red de distribución), sin embargo,

aunque no se hayan colocado en los otros procesos, estos flujos materiales existen en todos los procesos.

Los flujos hídricos que conectan al subsistema biofísico con el subsistema de MHU son los de apropiación y excreción, y el proceso que conecta al subsistema de MHU con el subsistema social intangible es el proceso de consumo. El proceso de consumo se subdivide en diferentes usos que se indican en el diagrama. El flujo del uso doméstico es donde interactúa el MHU con el concepto de Derecho Humano al Agua, siendo aquí donde la calidad y cantidad de agua afectará a la población. El proceso de transformación ubicado después del proceso de consumo se representó con una flecha en sentido opuesto y simboliza al metabolismo hídrico circular que ocurre en caso de reciclarse el agua residual.

Figura 42 Esquema con mayor detalle del primer nivel del sistema socioambiental.



Fuente: Elaboración propia

Los indicadores del sistema socioambiental estudiado se organizaron en una tabla conforme lo expuesto en el modelo conceptual (Cuadro 10).

Cuadro 10. *Tabla de indicadores en función del sistema socioambiental del agua*

Nivel 1**Flujos materiales de los tres subsistemas que se analizan en el primer nivel.**

Subsistema Biofísico**Flujos hídricos e indicadores de temperatura**

Serie de datos de mediciones de temperatura ambiental (periodo de tiempo disponible).

_Serie de datos de mediciones de precipitación (periodo de tiempo disponible)

_Afectación a futuro del Cambio Climático para las lluvias y su relación con la disponibilidad en el acuífero

_Disponibilidad de agua de acuífero

_Magnitud de las recargas del Acuífero

Información en bibliografía relacionados con el acuífero

Subsistema del MHU y nexos con la energía y el carbono**Flujos de agua en la ciudad (Metabolismo Hídrico Urbano)**

_Volumen anual de agua producido en m³, desglosado por pozo, para el 2017, 2018, 2019 (volumen extraído)

_INF Estimación de agua extraída para pipas

_ Estimación del agua informal

Volumen anual de agua potabilizada en m³, para cada planta potabilizadora y para los años 2017, 2018 y 2019. (Desglosado por planta potabilizadora en Caudal influente y efluente)

_ Estimación de caudal de agua tratada en potabilizadoras pequeñas.

_ Cantidad de potabilizadoras pequeñas

_Volumen de capacidad total de almacenamiento en los tanques del sistema operador e m³. (Desglosado por tanques)

_Volumen de pérdidas = Vol extraído - Vol Facturado ó Eficiencia física * Vol extraído

Volumen anual facturado en m³, para los años 2017, 2018 y 2019. (Desglosado por colonia)

Volumen anual destinado para el consumo por zona

Usos según el Artículo 34 de la Ley de Aguas del Estado de Puebla más el uso agrícola.

Volumen anual de agua residual tratada por planta de tratamiento en m³, (caudal influente y efluente)

El volumen del agua tratada más el del agua consumida que no se trata

Subsistema del MHU y nexos con la energía y el carbono**Flujos de energía (Nexo Agua-Energía)**

Cantidad de energía consumida anualmente en el proceso de extracción de agua en el sistema operador.

Cantidad de energía consumida anualmente por el proceso de potabilización, en el SOAPAP. Desglosado por planta potabilizadora.

Cantidad de energía anual consumida en el proceso de bombeo en del SOAPAP

_ Estimación del combustible quemado por las Pipas

_ Estimación de consumo energético doméstico; (Calentador de agua, estufa)

_ Estimación de consumo doméstico: (Bomba de cisterna, hidroneumáticos)

Cantidad de energía consumida anualmente por el proceso de tratamiento de aguas residuales, desglosado por planta tratadora.

Subsistema del MHU y nexos con la energía y el carbono**Flujos de carbono (Nexo Agua-Energía-Carbono)**

Emisiones relacionadas con el consumo energético de extracción.

Emisiones relacionadas con el consumo energético de potabilización

Estimación de emisiones por transporte de agua en camión cisterna

Huella de carbono del consumo energético relacionado al agua en vivienda

Emisiones relacionadas con el consumo energético de las PTAR

Subsistema del MHU y nexos con la energía y el carbono

Flujos materiales indirectos del MHU

_ Extensión de la red primaria, desglosada por diámetros de tubería

_ Edad aproximada de la red primaria, desglosada por tubería

_ Cantidad anual en toneladas de productos químicos empleados en la potabilización en las plantas potabilizadoras.

_ Extensión de la red secundaria, desglosada por diámetro se tubería

_ Edad aproximada de la red secundaria, desglosada por tubería

_ Cantidad anual en toneladas de productos químicos empleados en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

_ Cantidad anual en toneladas de lodos generados a partir de los procesos en las PTAR.

_ Extensión de la red de drenaje y colectores, desglosado por diámetro y tubería

Edad aproximada de la red de drenaje y colectores, desglosado por diámetro y tubería.

Subsistema Derecho Humano al Agua

Suficiencia

_ Listado que indique el número de tomas con servicio continuo (24 horas al día, 365 días del año) por cada una de las colonias comprendidas en la cobertura del SOAPAP.

_ Listado que indique la frecuencia con la que se brinda el servicio de agua potable en la ciudad (tandeo), desglosado por colonia.

_ Caudal consumido por polígono

(Polígono preferible: colonia)

Calidad y aceptabilidad

_ Número de muestras de Agua Potable suministrada que cumplen con los límites definidos en la NOM-127-SSA1-1994, para los años 2017, 2018 y 2019. (Desglosado por lugar donde se tomó la muestra)

_ Número total de muestras de Agua Potable realizadas para verificar el cumplimiento de la NOM-127-SSA1-1994, para los años 2017, 2018 y 2019. (Desglosado por lugar donde se tomó la muestra)

_ Cantidad de quejas por el servicio de agua potable en el área de cobertura del SOAPAP. Denuncias por mal servicio de agua potable.

Encuesta para sondear los aspectos

_ Número anual de muestras de agua residual recolectada que cumplen con los límites definidos por la NOM-002-SEMARNAT-1996, para los años 2017, 2018 y 2019. (Desglosado por PTAR donde se tomó la muestra).

_ Número de muestras totales de agua residual recolectada que cumplen con los límites definidos por la NOM-002-SEMARNAT-1996, para los años 2017, 2018, 2019. (Desglosado por PTAR donde se tomó la muestra).

_ Número anual de muestras de agua tratada tomadas del efluente de las instalaciones de saneamiento operadas que cumplen con los límites definidos en NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997 o en las CPD. Para los años 2017, 2018, 2019. (Desglosado por PTAR donde se tomó la muestra)

Accesibilidad

_ Nombre de cada todas las colonias que se encuentran dentro de la cobertura del SOAPAP (Listado desglosado por las cuatro regiones y 12 zonas de la cobertura del SOAPAP).

_ Listado que indique el número de tomas activas registradas en el padrón de usuarios por cada una de las colonias comprendidas en la cobertura del SOAPAP.

_ Número de micromedidores funcionando (Listado desglosado por municipio y por colonia).

_ SIG Distribución espacial de la red primaria, secundaria y terciaria de agua potable

_ SIG Distribución espacial de la red de drenaje.

Cobertura de red de saneamiento

Numero de descargas de Aguas residuales registradas en el Padrón

Asequibilidad

_ Estratos socioeconómicos en los que está dividido el sistema operador.

_ Clasificación de cuotas mínimas de pago por estrato

_ Información a partir de activistas en la ciudad, por problemas de cobro excesivo.

Notas periodísticas relacionadas con problemas del agua en la ciudad

Nivel 2

Información que afectan a los tres subsistemas de análisis del Nivel 1.

Riesgos

Información geográfica de ubicación de zonas de riesgo de inundación

Demografía

Se puede estimar a partir de los datos de población y área

Histórico: Series de datos del crecimiento poblacional en el municipio de Puebla

Actual: Información geográfica de población en el Municipio de Puebla

Actual: Información geográfica de población en el Municipio de Puebla

Actual: Tamaño total de la mancha urbana

Histórico: Crecimiento de la mancha urbana.

Pisos promedio de la ciudad

Área dentro de la delimitación política del municipio de Puebla.

Actual: Información geográfica de cada una de las colonias del municipio de Puebla. (Debido a la cobertura del SOAPAP, posiblemente se incluya al municipio de San Andrés Cholula, San Pedro Cholula, Cuautlancingo, Amozoc)

Información geográfica (% de área residencial, % de área comercial, % de área industrial, % de área otros)

Nexos Urbanos

Consumo eléctrico total de la ciudad

Relación entre la energía consumida por el SO con la energía total consumida por la ciudad.

Intensidad del consumo de energía y por tipo de fuente energética y sector que la consume.

Emissiones de CO₂e anuales totales emitidos por el Municipio de Puebla.

Costo por energía consumida por el sistema operador

Histórico

Procesos que impulsaron la evolución tecnológica relacionada con el consumo de agua.

Proyectos de actualización realizados en el sistema operador.

Fecha del inicio de los desarrollos industriales en Puebla a partir del 1950

Obras de agua potable y drenaje realizadas en el periodo de tiempo en estudio

Eventos de crecimiento relacionado con el comercio

Socioeconómicos

Rangos de Pobreza por AGEB

Producto Interno Bruto del Municipio de Puebla, Serie de datos.

_ Valor de suelo del catastro (Listado e información geográfica)

Políticas municipales y/o estatales relativas al servicio de agua en la ciudad de Puebla

_Tiempo de respuesta de las solicitudes.
_Solicitudes enviadas, solicitudes respondidas.

Nivel 3

Indicadores específicos por encontrar

Serie de datos del PIB nacional

Serie de datos de PIB nacional (año base)

Fechas del modelo económico y características que pudieron haber influenciado la evolución del servicio de agua potable y el agua en general.

Leyes, y características específicas que pudieron haber influenciado}

Histórico: Procesos económicos y políticos que influyeron en el desarrollo de los sistemas de agua potable

Fuente: Elaboración propia

4.3 Conclusión referente al modelo conceptual (objetivo 1)

Rolando García expresó que para abordar un fenómeno socioambiental desde una perspectiva interdisciplinaria es necesario que el investigador se esfuerce por concientizar su Marco Epistémico, por lo que, en este capítulo se presentó una reflexión acerca del Marco Epistémico que cimentó al modelo conceptual de Metabolismo Hídrico Urbano en el presente trabajo. En la reflexión se expusieron argumentos que defienden la postura de la no separación ontológica entre los elementos sociales y ambientales, y que más bien estos se interdefinen como un continuo que incrementa su complejidad según los niveles de organización de la Materia. El Marco Epistémico tomó en cuenta las dimensiones ontológicas de realidad tangible e intangible, donde en la parte tangible se colocaron los niveles de organización de la Materia y en la parte intangible alude a los flujos de información que conciernen a la conciencia humana tanto de forma individual y colectiva, y ello concierne a las culturas y la ciencia como un elemento de la cultura occidental.

En función de lo anterior se entiende que la realidad tangible se construye a si misma conforme a la emergencia de los diferentes niveles de organización de la materia y en la dimensión intangible, los humanos como observadores construimos nuestra realidad en el sentido de nuestra

percepción, es decir, que la postura epistemológica de nuestra investigación es constructivista, monista materialista y dialéctica. La reflexión acerca del Marco Epistémico no exime al investigador de tenerlo, más bien sólo define si es consciente de él o no.

Por otro lado, el Marco Epistémico contiene una postura no antropocéntrica de la realidad, se hace crítica al biocentrismo con el argumento de que lo no vivo también brinda las condiciones necesarias para la existencia de lo vivo, y lo anterior implica que el cuidado de lo no vivo es importante también. En el sentido de lo anterior, el Metabolismo Hídrico Urbano que alude a flujos hídricos en la ciudad hace referencia a un material “no vivo”, pero que es importante mantener su configuración para mantener la vida en la ciudad. Lo anterior asume la postura geocéntrica que integra la relevancia de lo no vivo en nuestra realidad, y que en sus consecuencias planetarias se relaciona con la hipótesis Gaia de Lovelock (Lovelock & Rioja, 1983).

Bajo el mismo orden de ideas, el Metabolismo Hídrico Urbano es una dinámica material (del agua) que emerge de la realidad social humana específicamente en los asentamientos urbanos. El agua en sí no es considerada un ente vivo, pero su dinámica tanto en la ciudad como en el ecosistema donde está inserta se liga con la vida en general que habita dicho espacio y, por lo tanto, con la vida humana en dicha ciudad. El enfoque del MHU conecta los flujos del metabolismo hídrico del ecosistema con el de la ciudad, por lo tanto, hace evidente la dependencia de la realidad social urbana con su ecosistema, y así observar estimar sus afectaciones hacia al ecosistema y hacia a la sociedad humana.

El MHU observa a la ciudad como un organismo vivo, pero para su análisis con la Teoría de Sistemas Complejos fue necesario realizar recortes de la realidad propuesta en el Marco Epistémico. Se inicio con el Metabolismo Social como la dinámica de todo tipo de material que emerge de todo tipo de asentamiento social y, a partir de ahí se hicieron dos recortes conceptuales con el de Meta-

bolismo Urbano y Metabolismo Hídrico Urbano. El primero especifica el tipo de asentamiento urbano y el segundo el tipo de material, que es el agua. En el contexto actual del Cambio Climático fue importante relacionar la energía necesaria para los procesos hídricos y las emisiones de carbono relacionadas con la energía, a esta relación se conceptualiza como el Nexo Agua-Energía-Carbono. En la dimensión intangible se integraron los conceptos directrices para la gestión del agua en la sociedad como la Seguridad Hídrica, el Derecho Humano al Agua. Estos conceptos directrices marcan una ruta ideal para seguir en torno a la gestión del agua y por lo tanto, influirán en la configuración del MHU.

Con base en el modelo conceptual se elaboró un listado propuesto con indicadores para cuantificar el MHU y obtener información cualitativa del MHU para su interpretación. Del listado propuesto no está disponible toda la información, sin embargo, sirve de guía para posteriores cuantificaciones. En ese mismo sentido el listado puede incrementar conforme aumente el detalle del modelo a cuantificar.

4.4 Cuantificación del Metabolismo Hídrico Urbano de la ciudad de Puebla

“no hay estructura sin historia, ni historia sin estructura”

Jean Piaget (1979)

En la frase de Piaget se expresa la importancia del análisis diacrónico de los procesos que condujeron al sistema para alcanzar la organización que presenta en la actualidad (R. García, 2006). Por tal motivo, en el presente capítulo se inició con una descripción breve de algunos datos relacionados con la evolución del sistema hídrico en la ciudad de Puebla desde 1950 a 2018. Y posteriormente se describió el Metabolismo Hídrico Urbano de la ciudad de Puebla en la actualidad.

4.4.1 Apropiación del agua en la ciudad de Puebla a partir de 1950

Por efectos de la Segunda Guerra Mundial en años previos a 1950, la actividad textil en Puebla incrementó a una tasa anual aproximada del 10%, a la par del crecimiento de la producción agrícola. En la postguerra la industria poblana y nacional se vio afectada por el restablecimiento gradual de la capacidad industrial de los países contendientes que conllevó a que se requiriera menos de la industria poblana. En los 18 años posteriores a la guerra (aproximadamente 1945-1963) el crecimiento industrial en el estado de Puebla fue lento, y la industria poblana dependió en gran escala de los mercados internos y externos de artículos textiles (Vanegas, 2013). Tal estancamiento industrial en el estado de Puebla coincidió con la postguerra en el primer periodo de gobierno sexenal de Carlos Ignacio Betancourt iniciada en 1945. Esto se acompañó con una crisis en el campo que afectó los niveles de vida de la mayor parte de la población rural. Lo que propició corrientes migratorias hacia las zonas urbanas, primero hacia las principales ciudades del estado⁷³, después

⁷³ La ciudad de Puebla es la ciudad más importante del estado de Puebla, sin embargo, también lo son, Tehuacán en segundo lugar y San Martín Texmelucan en tercer lugar.

hacia la capital de la República y a Estados Unidos. La migración ocurrió a la par del detrimento de los ingresos de los agricultores a raíz del rezago de los precios de cultivos básicos debido a que se subsidió a la población urbana (Vanegas, 2013).

Alrededor del año 1950 se aceleró gradualmente el crecimiento demográfico en todo el país y el mundo donde 77 ciudades habían superado el millón de habitantes (SEGOB *et al.*, 2015). En el periodo de gestión del general Maximino Ávila Camacho para el estado de Puebla se registró una población de 1,295,000 habitantes, y 20 años después (1960) la entidad alcanzó 1,974,000 habitantes. Para el mismo periodo la población en la ciudad de Puebla incrementado de 148,701 a 289,049 habitantes. La tasa de crecimiento demográfico se aceleró como resultado de la disminución de la mortalidad infantil, el aumento de la esperanza de vida derivado de avances en las ciencias de la salud, y las mejoras en las condiciones de higiene derivadas de la introducción de redes de agua potable y alcantarillado en todas las poblaciones importantes (Vanegas, 2013). Además, en 1950 se impulsó una política de crecimiento poblacional, que incentivó con mayores salarios a los obreros que tuvieran esposas con más hijos (Tecuanhuey Sandoval, 1994).

El incremento poblacional en la ciudad de Puebla ocasionó la creciente necesidad de explotar los recursos hídricos. A inicios de la década de los 50's la ciudad de Puebla contaba con una población aproximada de 234,603 habitantes, con una captación de agua de 550 l/s. En aquel tiempo se proyectó proveer de 320 LPCD⁷⁴ a la población, sin embargo, solo se proveyó 202.55 LPCD, caudal que incluye a los usos industriales por lo que para el consumo doméstico debió ser menor (Ayuntamiento de Puebla, 1951). A pesar de que el caudal entregado *per cápita* fue superior a los 100 l/hab/día (cantidad actualmente se recomienda en el Derecho Humano al Agua) se registró escasez

⁷⁴ Litros *per cápita* por día.

hídrica en la población, en este sentido, en el informe municipal de 1953 se mencionó lo siguiente; “la ciudad pasa por la dolorosa situación donde la población tuvo que privar de un pedazo de pan a sus hijos, para invertir su importe en la compra de una cubeta de agua”. Lo citado revela la inseguridad hídrica que padeció la población marginada, y la consecuencia que esta tiene en otros aspectos importantes como la economía y la alimentación.

El problema de escasez citado se enfrentó con el uso de pipas (camiones cisterna) para transportar el agua hacia las zonas con necesidad, que incluyeron al Palacio Municipal en diversas ocasiones (Ayuntamiento de Puebla, 1953). En el trienio de Nicolás Vázquez Arreola se reportó el uso 11,419 pipas para suministrar agua a las colonias de la periferia de la ciudad que sufrían mayores problemas de escasez de agua, el caudal equivalente que la pipas movieron fue de 48.9 l/s (1.54 Hm/año), es decir, dicho caudal representó entre el 7 y el 9% del agua reportada como distribuida. La escasez hídrica y la falta de red de distribución se afrontó con las fuentes públicas, como en el caso de San Pablo Xochimehuacan, que es una colonia periférica al norte de la Ciudad de Puebla. Y en los lugares donde no existió otra alternativa el acceso al agua fue mediante la comercialización en cubetas (Ayuntamiento de Puebla, 1953).

En el 20 de noviembre de 1951 se inauguró una nueva planta cloradora para el servicio de agua potable en la ciudad. Para este año los procesos de potabilización por cloración llevaban un máximo de 20 años funcionando⁷⁵ en Puebla inició en la década de los 30's del siglo XX (Loreto-López, 2016). En estas fechas (1951) las galerías filtrantes⁷⁶ eran uno de los métodos de apropiación el agua del ambiente, su longitud fue de 3,119 metros de largo por 65 centímetros de ancho, con una profundidad media de 28 metros en el Conde y de 25 metros en Amalucan (Ayuntamiento de

⁷⁵ La cloración consiste en introducir productos clorados en el agua para matar los microorganismos en ella contenidos, y normalmente tras 30 minutos de actuación el agua se potabiliza.

⁷⁶ Galería filtrante es una obra hidráulica subterránea construida de forma horizontal y con cierta pendiente que sirven para captar y extraer el agua del acuífero, en toda su longitud las aguas subterráneas.

Puebla, 1951, 1952). Debido a la necesidad del líquido, el crecimiento de la red hídrica brindaba la oportunidad de crear de tomas clandestinas, mismas que se reportan en el informe del Ayuntamiento de Puebla (1954), que actualmente se conoce como huachicol de agua.

4.4.1.1 La Constancia y la relativa abundancia del agua en la ciudad de Puebla

Entre 1951 y 1957 la Guerra de Corea impulsó el segundo auge en la producción textil del estado de Puebla (Vanegas, 2013), que coincidió con las administraciones municipales de Nicolás Vázquez Arreola (1951-1953) y Arturo Perdomo Morán (1954-1957). A la par con el crecimiento urbano, se incrementó la necesidad de agua potable que derivó en obras de captación, mantenimiento y ampliación de las galerías filtrantes y la perforación de nuevos pozos. Desde 1953 se manifestó la preocupación por la deforestación en los bosques de las inmediaciones del volcán La Malinche bajo el argumento de que los bosques son importantes para la recarga para el acuífero, que es la principal fuente de abastecimiento de la ciudad (Ayuntamiento de Puebla, 1953). Sin embargo, a la fecha (70 años después) la deforestación no se detuvo.

En 1955 tras realizarse estudios geofísicos en la zona del volcán La Malinche, se hallaron grandes depósitos de agua (Ayuntamiento de Puebla, 1955), que posteriormente se explotaron para el suministro de agua de los desarrollos industriales instalados en la década de los 60's, los cuales, se situaron en las cercanías de estos. En la zona de La Malinche se captaba el agua por medio de galerías filtrantes que requerían mantenimiento continuo debido a los derrumbes internos, como el registrado en 1953 que causó la disminución del caudal captado en 15 l/s ($0.47\text{Hm}^3/\text{año}$) (Ayuntamiento de Puebla, 1953).

Para solventar el problema de escasez de agua a mediano y largo plazo que se padeció en el año de 1955, se inició una importante obra de captación que buscó incrementar el aforo de agua para la zona poniente de la ciudad. La obra se localizó en las cercanías de la fábrica La Constancia

ubicada fuera de la mancha urbana de ese entonces. Con la obra, inicialmente se proyectó sumar un caudal de 150 l/s (4.73 Hm³/año), sin embargo, una vez realizada la obra solo se proveyó un caudal de 84 l/s (2.65 Hm³/año), considerado insuficiente. La obra constó en la perforación de tres pozos profundos de donde se extrajo el agua que se bombeó hacia la ciudad de Puebla por una línea de 2,900 metros de tubería de fierro de 14", que se descargó el agua en un tanque con el fin de minimizar los golpes de ariete⁷⁷ causados por el bombeo. Más adelante el agua se trasladó por gravedad en un tubo de asbesto de 20" hasta un cárcamo⁷⁸ que se construyó en la esquina de las calles 4 poniente y 23 norte. Desde aquí con una bomba centrífuga con una presión de dos atmósferas se inyectó el caudal a un tubo de 14" de fierro de 80 metros de largo hasta la esquina de las calles 2 poniente y 23 norte, para entonces conectarse con las tuberías municipales de 8" de diámetro en la calle 2 poniente en sentido oriente y con las tuberías de 3" y 4" de diámetro en sentido poniente. Más adelante se tendió una tubería de 10" con 570 metros de longitud en la calle 23 Norte sentido sur y hacia la calle 23 Sur hasta la 11 Poniente sentido oriente y poniente.

El caudal obtenido en la obra de la Constancia fue superior al esperado inicialmente, con aproximadamente de 400 a 500 l/s (12.61 a 15.77 Hm³/año). Este hecho provocó una relativa abundancia del líquido y permitió el incremento del tiempo de servicio de agua potable de 7 a 8 horas diarias en las viviendas (Ayuntamiento de Puebla, 1954). El excedente de agua también incrementó la presión en las tuberías de la red de distribución y causó mayor número de fugas debido a su obsolescencia (Ayuntamiento de Puebla, 1957). Los problemas con las fugas motivaron que el Ayuntamiento iniciara una campaña de renovación de tuberías (Ayuntamiento de Puebla, 1958).

⁷⁷ El golpe de ariete es la sobrecarga de presión en el interior de una tubería cuando de forma repentina se detiene la inercia del movimiento del agua en el interior. Esta parada de flujo puede generarse por diversas razones, por ejemplo, el cierre de las válvulas.

⁷⁸ EL cárcamo hidráulico es un pozo de colecta, también llamado de succión, es el compartimiento destinado a recibir y acumular las aguas durante un periodo de tiempo.

La abundancia de agua que resultó de las obras en La Constanca llevó al ayuntamiento a considerar el problema de captación como temporalmente resuelto (Ayuntamiento de Puebla, 1959), por lo que prosiguió a renovar e incrementar el tamaño de la red de distribución, que para 1959 se logró instalar 20,207 metros de nueva tubería, siendo la mayor longitud de tubería instalada hasta ese entonces en la ciudad de Puebla (Ayuntamiento de Puebla, 1959). En ese mismo año previo a la transición industrial que ocurrió en la década de los 60's, se instaló la red de agua potable en la colonia San Sebastián de Aparicio⁷⁹, donde se habían abastecido del líquido por medio de un jagüey⁸⁰, debido a la carencia de red de distribución (Ayuntamiento de Puebla, 1959). Cabe señalar que un jagüey es un método de acumulación de agua prehispánico que sirvió como elemento de resiliencia ante el escenario de escasez hídrica que vivió la población (Loreto López, 2015).

4.4.1.2 Industrialización y transformación del municipio de Puebla en la década de los 60's

En la década previa a los 60's, la industria poblana se centró en la rama textil y la fabricación de cerámica, sin embargo, en aquella década la industria de la ciudad se transformó hacia el sector automotriz, metalúrgico, y de alimentos. La transformación se impulsó por la descentralización industrial de la ciudad de México promovida por el Gobierno Federal que ubicó a Puebla como un receptor importante para sus industrias (Cabrera Montiel & Delgado, 2019). A nivel estatal el gobernador Antonio Nava Castillo promovió un ambicioso programa de modernización económica en el estado de Puebla, que inició con la presentación de la iniciativa de la Ley de Fomento Industrial aprobada después de ser discutida por los principales grupos económicos de Puebla (Vanegas,

⁷⁹ Colonia de San Sebastián de Aparicio es un poblado a 11 kilómetros antes del poblado de San Miguel Canoa en las inmediaciones del volcán La Malinche.

⁸⁰ Jagüey se refiere a una zanja llena de agua creada natural o artificialmente. Que fue modelo del manejo de agua en la época prehispánica (Loreto-López, 2015).

2013). Esta ley señaló un conjunto de incentivos fiscales a largo plazo y una simplificación administrativa con el fin de hacer atractivo al estado para el establecimiento de nuevas empresas, así como la instalación de un Consejo Estatal de Promoción Industrial.

En el año de 1960 la construcción de la autopista entre México y Puebla más el mejoramiento de las comunicaciones terrestres posibilitó explotar la ubicación estratégica de la ciudad de Puebla entre la capital de la República y Veracruz como el principal puerto del Golfo de México. El crecimiento del corredor industrial entre Córdoba y Orizaba también fue aprovechado para atraer a la región de Puebla a empresas que se habían establecido en estas dos ciudades veracruzanas. La nueva autopista causó que se ignoraran los planes elaborados en el plan de 1959, por lo que, el desarrollo de la ciudad se centró en su industrialización en la zona norte de la ciudad (Cabrera Montiel & Delgado, 2019).

En 1960 60% de la inversión bruta de la industria manufacturera se destinaba al sector textil y 22.7% a la industria de alimentos, 15 años después esos porcentajes habían descendido a 19% y 12.4%, respectivamente en tanto que la industria automotriz había pasado a ser la principal rama industrial con 27.1% de la inversión, seguida de la producción de metales pesados con 18.9%. Las dos grandes empresas que operaban en esos sectores eran las Volkswagen que se instaló en 1965 en el municipio de Cuautlancingo y que abrió su planta de Puebla en 1967, más la fábrica de acero de HILSA de México que se instaló en 1967 en Xoxtla. Esta empresa hoy se denomina TERNIUM, y es de origen regiomontana, que aprovechó la buena relación entre los empresarios de Puebla y de Monterrey y los incentivos que ofrecía el gobierno del estado.

Otras empresas que negociaron con el Ayuntamiento de Puebla fueron las siguientes (Ayuntamiento de Puebla, 1965):

- Volkswagen S.A.
- Compañía Mexicana de Productos Plásticos S.A.
- Herramientas Universales S.A.

- Monsanto Mexicana S.A.
- National Cash Register Company de México S.A.
- Alumex S.A.
- Compañía Textil Anáhuac S.A.
- Metaloides Industriales S.A.
- Síntesis Orgánicos S.A.
- Compañía Federal Mogul de México S.A.
- Norton de México S.A.
- Pima Textil S.A.
- Compañía Harinera “El León” S.A.
- Compañía Industrial “La Pastora S.A.

La industrialización trajo consigo problemas con las juntas auxiliares, como la ocurrida en abril de 1964 en la Junta Auxiliar de Xochimehuacan, donde se depuso al presidente auxiliar para dar cumplimiento al decreto presidencial de expropiación de terrenos ejidales y establecer zona industrial en zona norte de Puebla. A su vez se mencionó anteriormente, se encontraron grandes yacimientos hídricos las faldas del volcán la Malinche (ubicada al norte de la ciudad de Puebla), zona donde se instalaron gran parte de las industrias en la ciudad.

Sin embargo, debido a problemas de carácter político el gobernador Nava Castillo presentó su renuncia en octubre de 1964 (Vanegas, 2013). Después de la estrepitosa caída del gobernador Nava Castillo, el gobernador Araón Merino Fernández estaba decidido a no meterse en líos, por lo cual se mantuvo una relación cordial con todos los sectores y dio continuidad a los proyectos de desarrollo industrial de su antecesor.

A partir de 1965, la Nacional Financiera inició un proyecto de inversiones en gran escala en el estado de Puebla, y en particular en el corredor que formaba la capital y las ciudades que se encontraban sobre el camino entre México y Veracruz. Los gobiernos federal y estatal invirtieron aproximadamente 1,500 millones de pesos en la construcción de parques industriales. El amplio

programa de inversiones de los gobiernos federal y estatal que iniciaron el presidente Díaz Ordaz y el gobernador Merino continuó hasta la década de los setenta. Entre 1964 y 1973, más de 102 compañías industriales se establecieron en Puebla, la gran mayoría en sectores que hasta entonces habían presentado poco o nulo desarrollo en el estado de Puebla.

En 1962 el Municipio de Puebla expandió su superficie de 123.17 km² a 540 km², con la anexión de 5 municipios aledaños completos y 2 fracciones de otros dos municipios (véase la Figura 43). En este periodo de transición también existió oposición por parte de los habitantes de Santorum y Chiautenco, quienes se opusieron a ser incluidos en el municipio de Puebla (Véase Cuadro 11 y Figura 43).

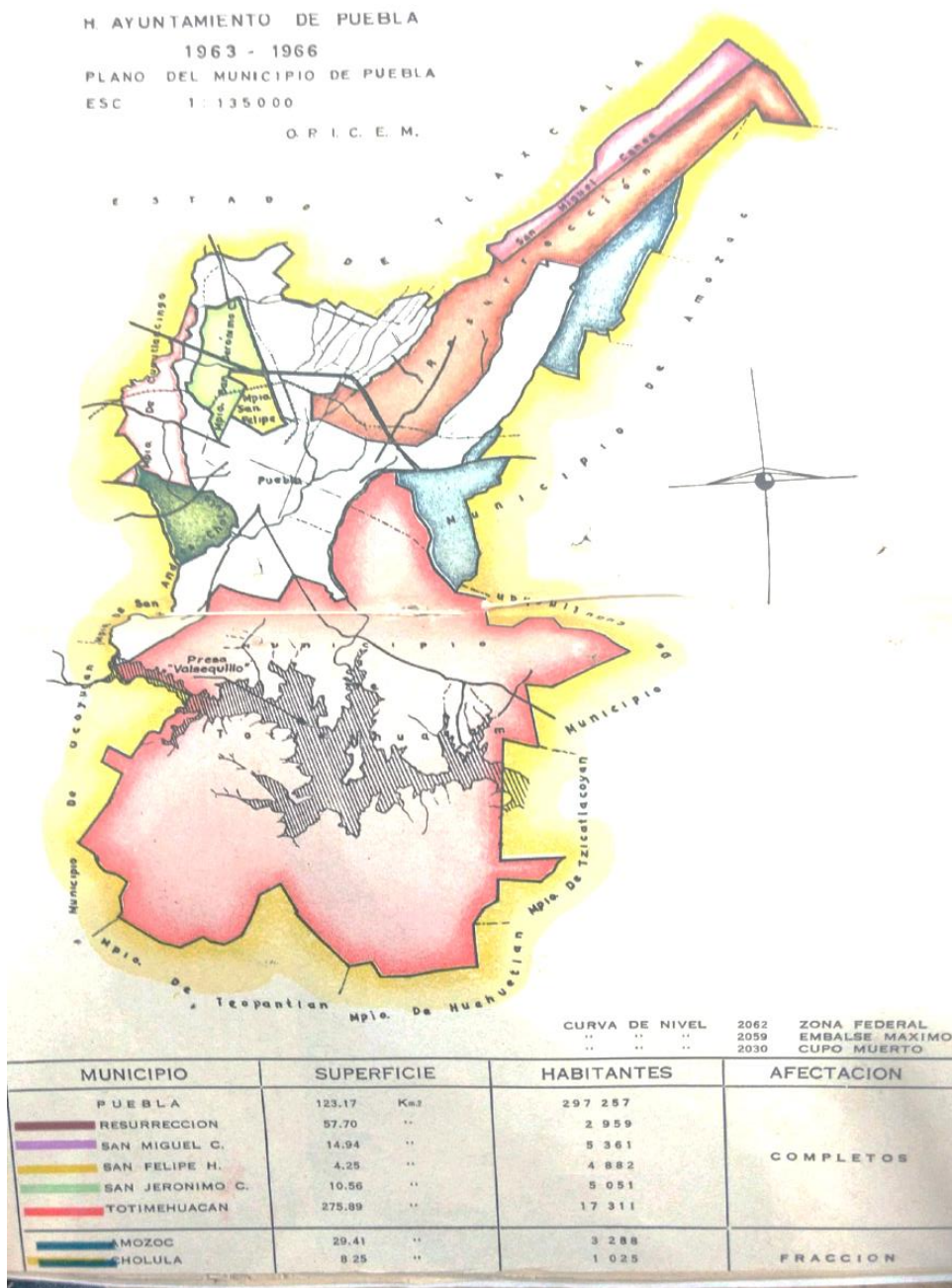
Cuadro 11 *Municipios anexados al Municipio de Puebla en 1962.*

Municipios completos	Fracciones de municipios
San Jerónimo Caleras	Amozoc
San Felipe Hueyotlipan	Cholula
San Miguel Canoa	
La Resurrección	
San Francisco Totimehuacan.	

Fuente: Archivo Histórico Municipal de Puebla.

Tras la anexión de los municipios, brotaron manifestaciones en desacuerdo por parte de los presidentes municipales quienes se pronuncian a favor de la industrialización, pero en contra la privación de su autonomía municipal, además argumentaron se han desatendido para las localidades absorbidas por el municipio de Puebla, y que la anexión se realizó con el fin de despojar las riquezas de su territorio (Tecuanhuey Sandoval, 1994). Dentro de estas riquezas, el agua es un recurso esencial.

Figura 43 Anexión de municipios Anexos al Municipio de Puebla



Fuente: (Ayuntamiento de Puebla, 1963).

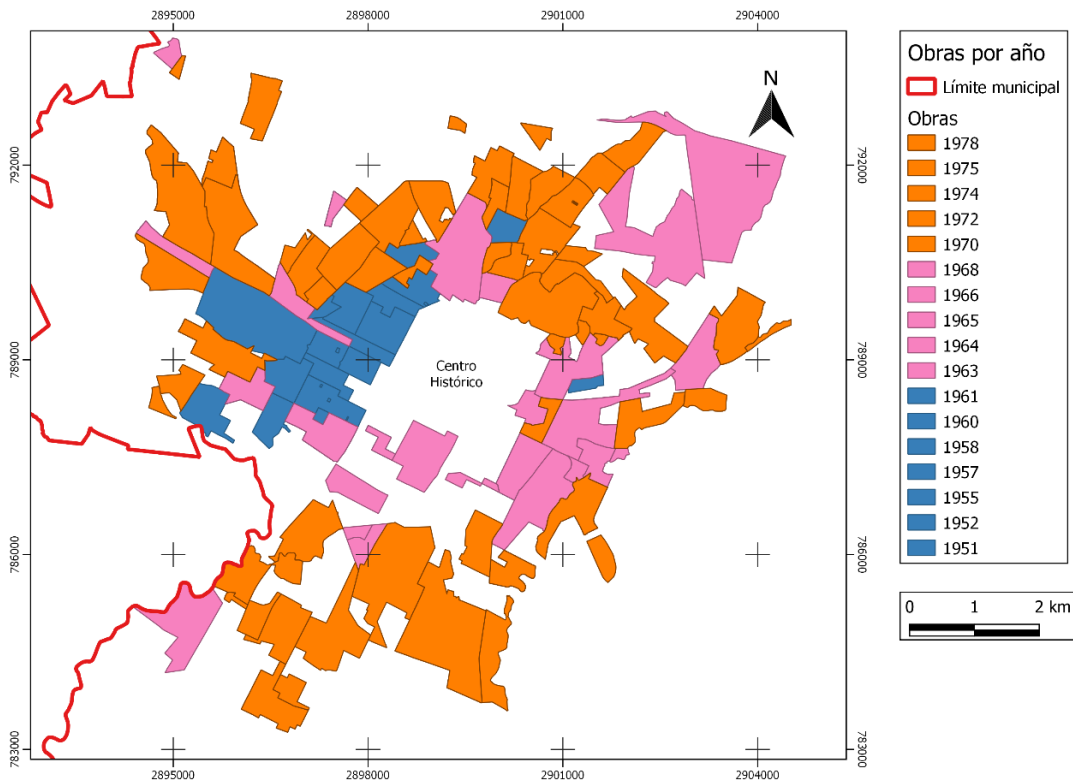
Derivado de testimonios en San Francisco Totimehuacan expresan que este proceso provocó la desaparición de sus Manantiales. Problema que hasta la fecha de hoy tienen con el Municipio de Puebla.

Con la llegada de la industrialización se requirió de mano de obra y personal capacitado para el trabajo técnico, esto trajo consigo que en la década de los 60's se iniciara el Instituto Tecnológico Regional, y a la par la Universidad de Puebla inició la construcción de su Ciudad Universitaria CU el 4 de junio de 1965 en un terreno de 100 hectáreas al sureste de la ciudad.

4.4.1.3 Embovedamiento del Río San Francisco

A partir de 1963 y 1964 inició el embovedamiento del Río San Francisco (Río Almoloya por su nombre en Nahuatl): Los dos principales motivos para realizar esta obra fueron de recuperar la circulación vehicular en el centro de la ciudad (Cabrera Montiel & Delgado, 2019), el cuidado de la salubridad en el centro histórico, así como el riesgo de inundaciones derivado de la experiencia con la inundación de 1939 (Cordero y Torres, 1978), desde donde se había previsto dicho embovedamiento junto con la Presa de Valsequillo, sin embargo, por asuntos presupuestales el proyecto solo se realizó parcialmente, cubriendo la instalación de la presa Manuel Ávila Camacho en finalizada en 1945. El embovedamiento también estuvo ligado con conflictos sociales como el ocurrido en San Pablo Xochimehuacan, donde se acusó a las autoridades de fomentar un movimiento de oposición a las obras del embovedamiento (Figura 44).

Figura 44. Superposición de colonias beneficiadas con obras relacionadas con el suministro hídrico de 1951 a 1978.

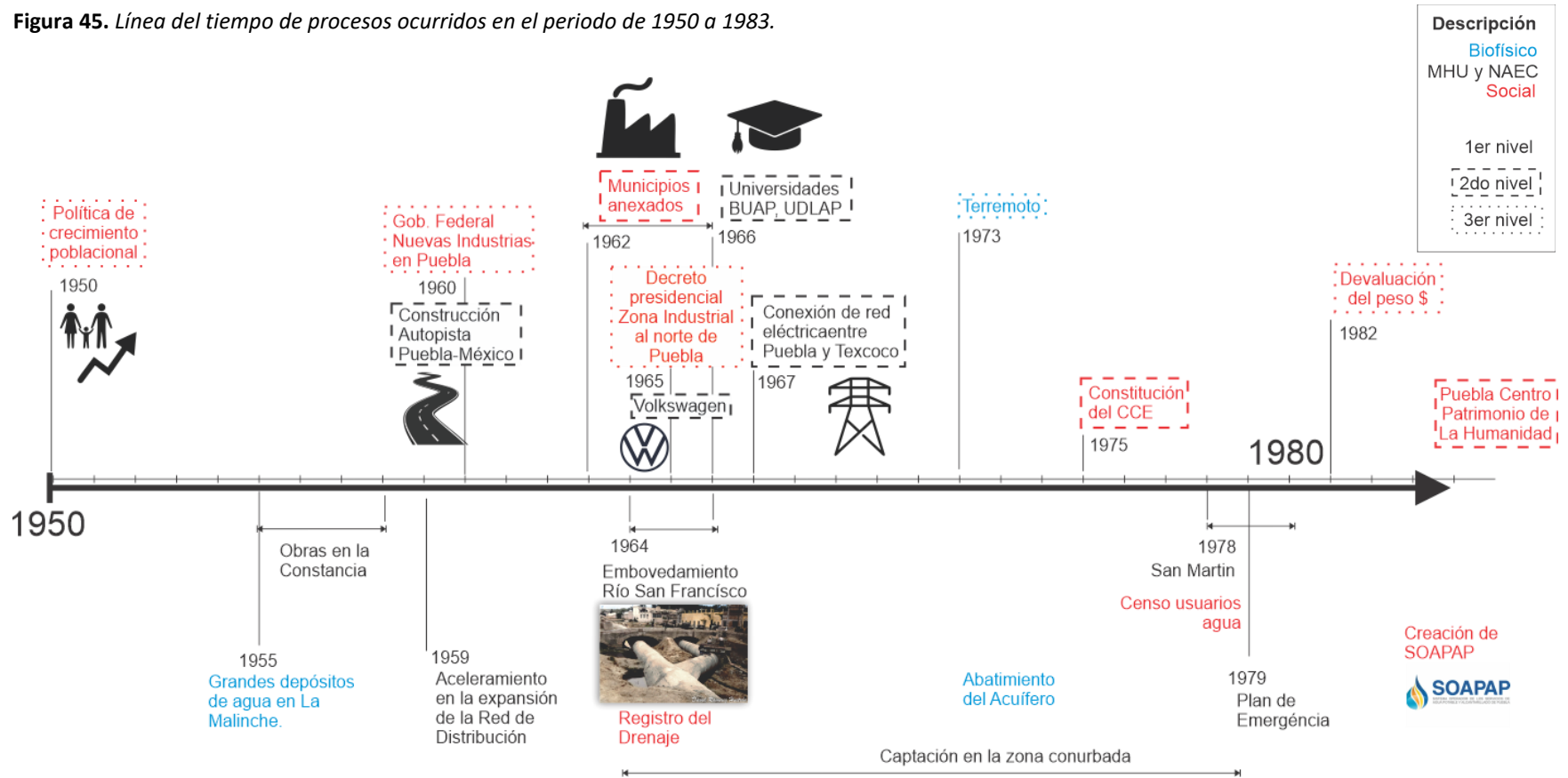


Fuente: Elaboración propia

4.4.1.4 Diagramas que resumen el incremento de la apropiación del agua y los eventos relacionados con el crecimiento.

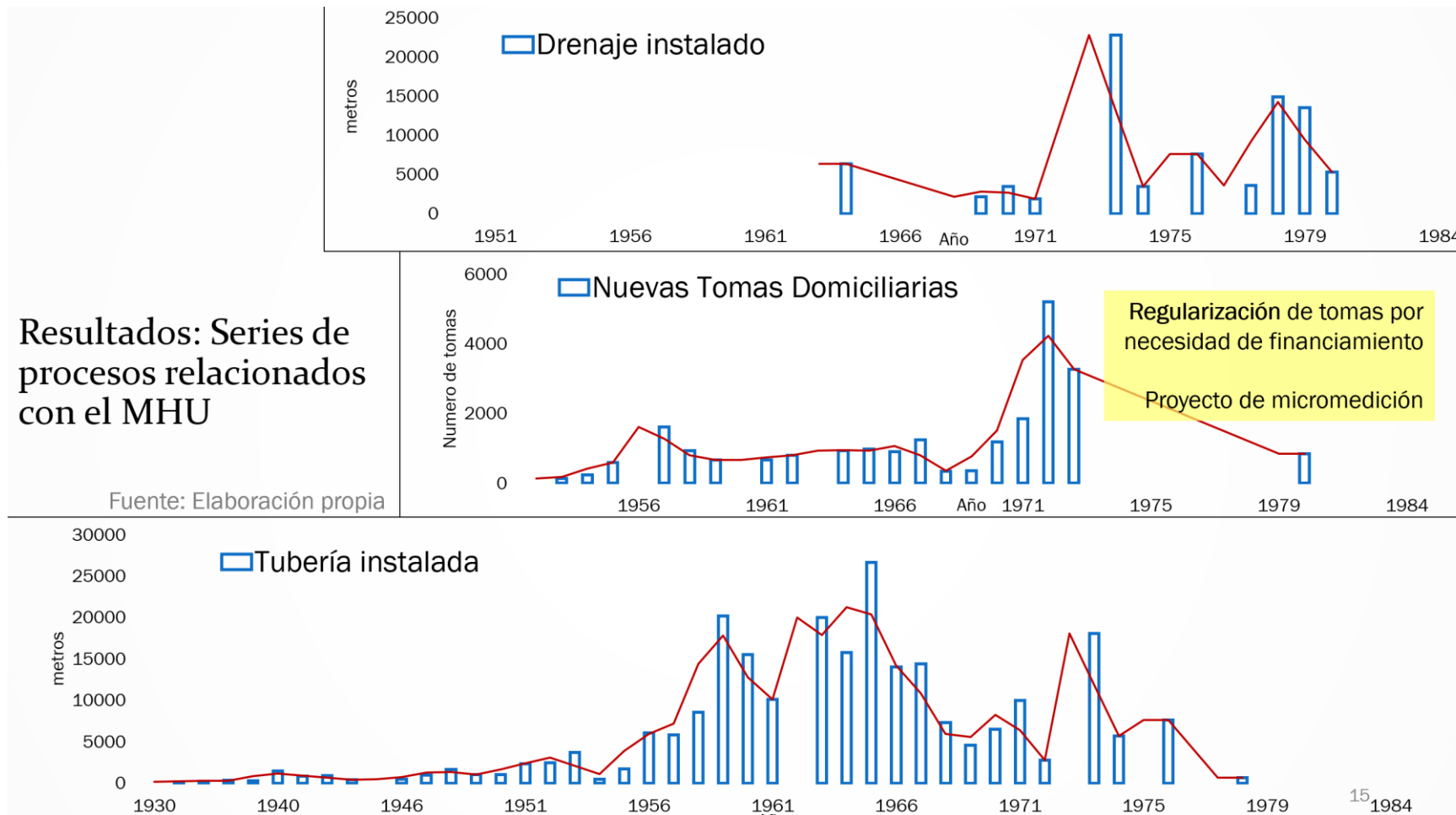
En el presente apartado se muestran dos diagramas que resumen la evolución de los fenómenos sociales relacionados con el crecimiento de la ciudad y el crecimiento de la apropiación del agua. Al final del documento, en el Anexo Histórico se adjuntó la Tabla 32 que contiene los datos que sustentan a la Figura 45, y también se adjuntaron los Cuadros 13 a 41 que contienen información de las obras y acciones relacionadas con el desarrollo de la infraestructura y servicios hídricos, y por tanto con el desarrollo del Metabolismo Hídrico Urbano.

Figura 45. Línea del tiempo de procesos ocurridos en el periodo de 1950 a 1983.



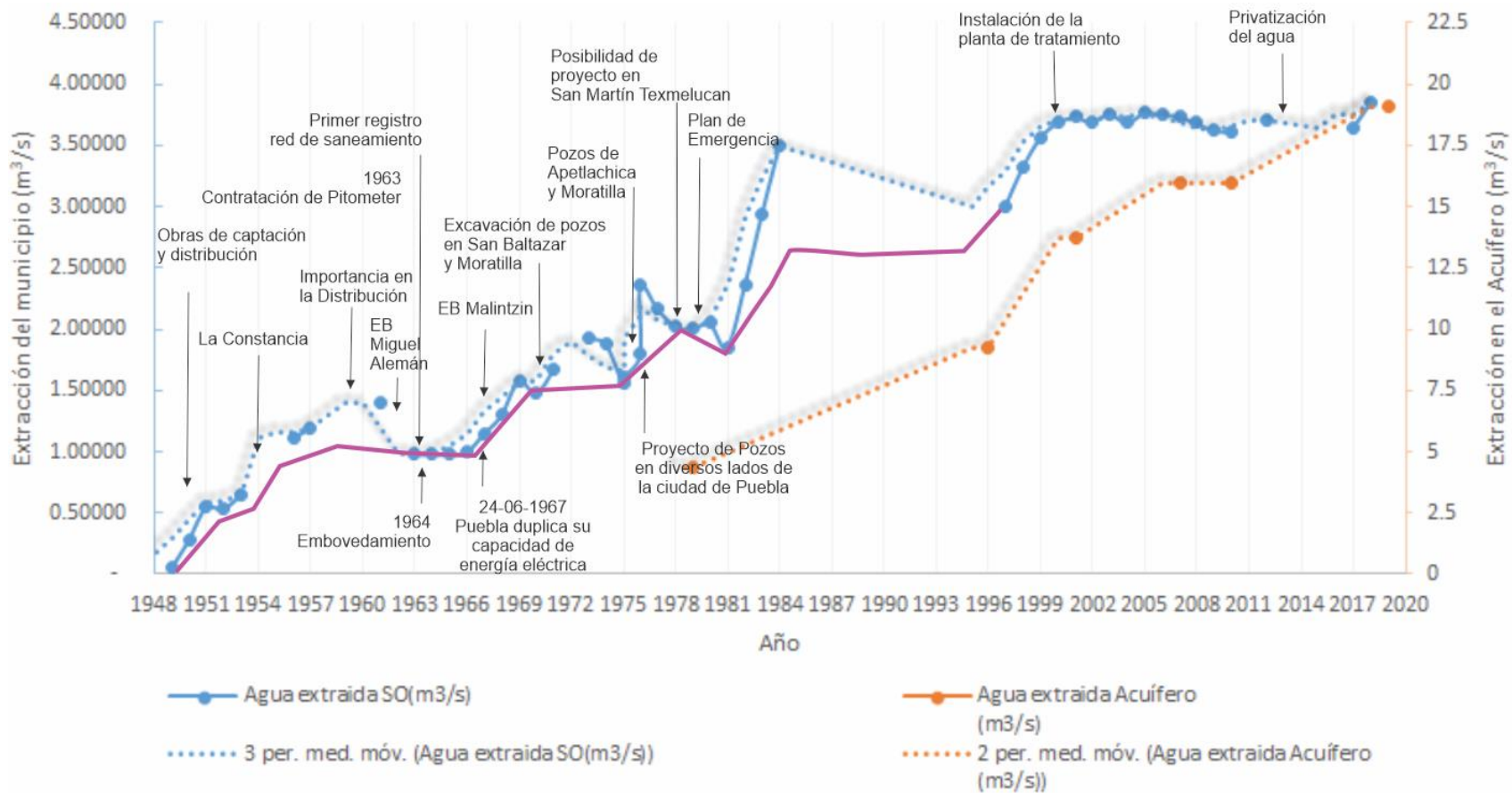
Fuente: Elaboración propia.

Figura 46. Metros de drenaje y tubería instalada, más el número de tomas domiciliarias instaladas o regularizadas entre 1950 y 1982.



Fuente: Elaboración propia con datos de los informes municipales de los años entre 1950 y 1982.

Figura 47. Línea del tiempo acoplada con la serie de datos de extracción de agua del acuífero, en la ciudad de Puebla y en el acuífero del valle de Puebla.



Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 El metabolismo hídrico urbano en la ciudad de Puebla

La descripción del Metabolismo Hídrico Urbano se inició con el ciclo hidrológico de la región estudiada (indicada en la propuesta metodológica), después se describió en estilo de caja negra las entradas y salidas de agua de los municipios aledaños a la ciudad central y finalmente se describe con mayor detalle el Metabolismo Hídrico de la ciudad central de Puebla. Los datos presentados se enriquecieron con otros elementos de la problemática hídrica en la región.

4.4.2.1 El ciclo hidrológico donde se inserta la ciudad de Puebla

El metabolismo Hídrico Urbano de la Metrópoli sobre el Valle de Puebla está inserto en el ciclo hidrológico de la región del Acuífero del valle de Puebla, que ingresan 2,011.21 Mm³/año de precipitación en su precipitación, que alimenta los escurrimientos superficiales con 305.95 Mm³/año, y 1,588.75 Mm³/año se evaporan.

El Acuífero del Valle de Puebla recibe 116.5 Mm³/año como recarga vertical, más 196.8 Mm³/año que entran como flujos horizontales de agua subterránea desde los acuíferos aledaños; 43.62 Mm³/año tienen ingreso al acuífero con origen antropogénico desde las fugas en las redes de distribución, drenaje más la irrigación. Los tres flujos anteriores suman 356.92 Mm³/a de recarga del acuífero total. La acumulación de agua en el acuífero decrece por 38.29 Mm³/año, provocando una caída del nivel estático de dos metros anuales, que en algunas áreas en el sur de la ciudad central de Puebla ha decrecido hasta 80 metros entre 1973 y 2002 (CONAGUA, 2020; Flores-Márquez *et al.*, 2006).

Actualmente las caídas en los niveles estáticos deben ser más severas debido a la mayor presión hídrica y con ello comprometiendo con ello la seguridad hídrica en la región (Gárfias *et al.*, 2010; Salcedo-Sánchez *et al.*, 2020). La sobreexplotación del acuífero implica riesgos en la mecánica

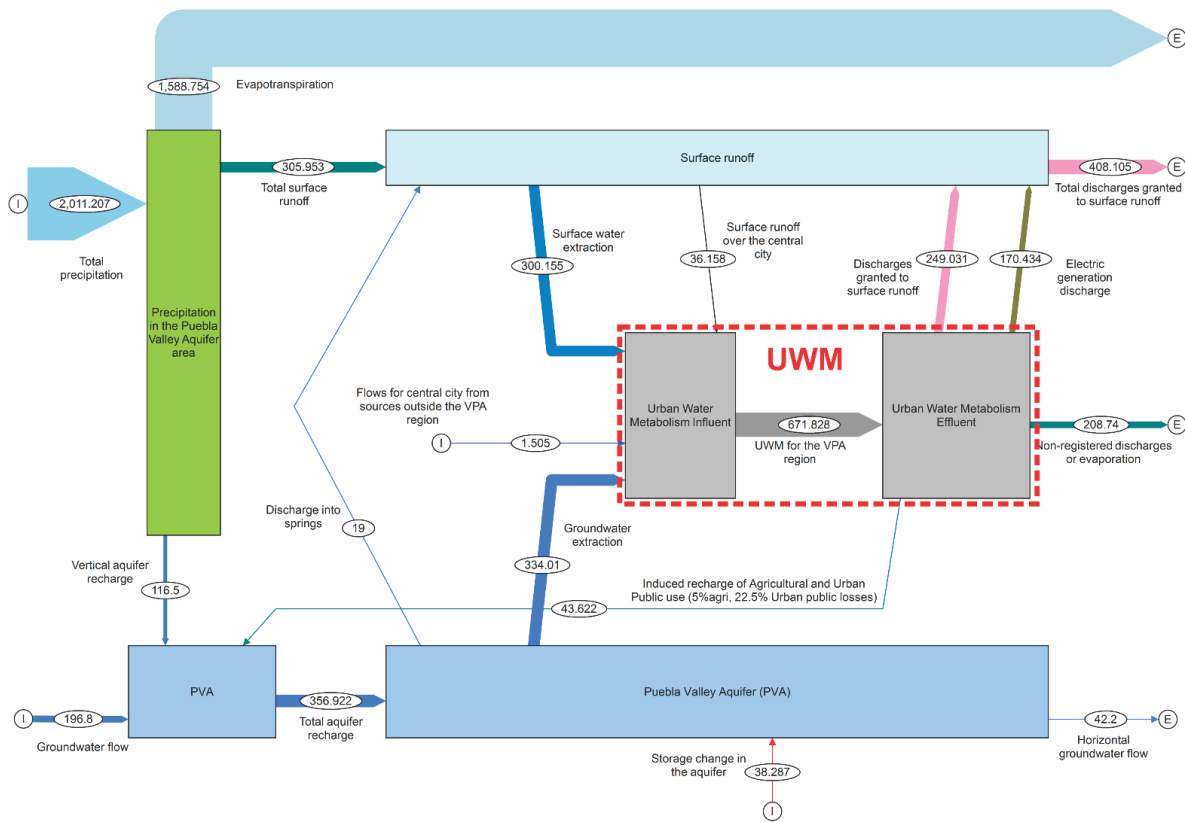
de sus suelos, que hacen potencial la ocurrencia de fenómenos como el socavón que apareció en 2021 en Santa María Zacatepec (Rodríguez-Espinosa *et al.*, 2022).

En el documento de la CONAGUA de la actualización de información del Acuífero del Valle de Puebla se halló un incremento en la recarga del acuífero de 20 Mm³/año entre los años de 2013 a 2016 (de 339 Mm³/año a 360 Mm³/año) (CONAGUA, 2015b, 2018, 2020). El dato anterior implicaría la ocurrencia improbable de hechos como el incremento de la precipitación anual, el decrecimiento de la mancha urbana, o la existencia de importantes cambios en las condiciones geofísicas del acuífero, todo lo anterior no han ocurrido. Si el dato de la recarga del Acuífero del Valle de Puebla hubiera permanecido con lo indicado en 2013, oficialmente ya no existiría agua disponible para concesionarse. El total del agua que ingresa a la región circunscrita por el Acuífero del Valle de Puebla es 662.88 Mm³/yr.

4.4.2.2 El Metabolismo Hídrico Urbano en la Metrópoli de Puebla y zonas aledañas

Un total de 634.32 Mm³/año de agua se extrajo desde el ambiente, que se desglosan en 300.16 Mm³/año de agua superficial y 334.01 Mm³/año de agua subterránea. Del agua extraída 35.2% es excretada como descargas concesionadas, el 8.4% como flujos relacionados con la recarga inducida, y 56% del agua no está definido cuanto pertenece a la evaporación, a la generación de electricidad, o a descargas no concesionadas. En la Figura 48 se indican unos flujos pequeños de 1.505 Mm³/año y otro de 36.156 Mm³/año que corresponden respectivamente al agua importada de fuera del acuífero por pipas, y los escurrimientos superficiales debidos a la lluvia en la ciudad central. Los dos flujos anteriores están citados porque corresponden al metabolismo hídrico de la ciudad central de Puebla, el cual, se describe con mayor detalle.

Figura 48 *Metabolismo Hídrico Urbano inserto en el ciclo hidrológico de la zona del Acuífero del Valle de Puebla.*

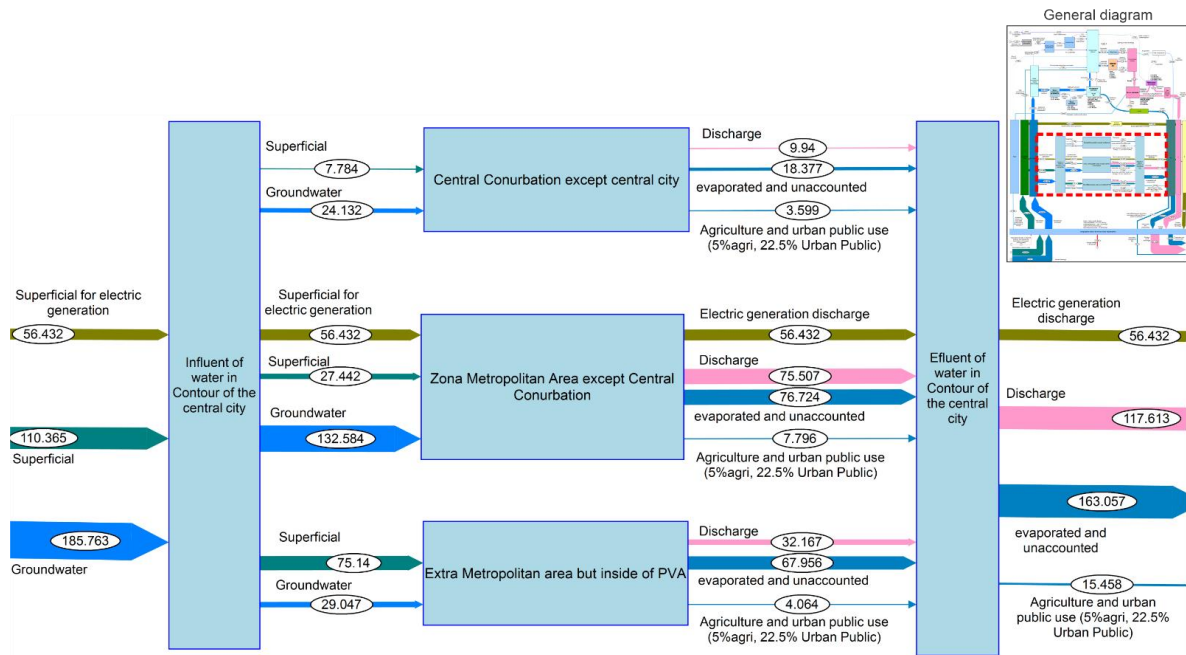


Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.3 El metabolismo Hídrico Urbano en la Metrópoli de Puebla, excepto en la ciudad central

El agua apropiada total en los asentamientos fuera de la ciudad central fue de 352.56 Mm³/año de agua, desglosada en 110.37 Mm³/año de agua superficial, 185.76 Mm³/año de agua subterránea, y 56.43 Mm³/año de agua superficial para generación de energía. Del agua extraída, el 33% son descargas concesionadas, el 4% corresponde a la recarga vertical inducida. 16% es relacionado a la generación de electricidad, y el 46% restante se indefine entre el agua evaporada, el agua que conforma a los alimentos cultivados en la zona, o a las descargas informales (Figura 49).

Figura 49 Metabolismo Hídrico Urbano en las afueras de la ciudad central de Puebla



Fuente: Elaboración propia.

El uso del agua superficial decrece mientras los asentamientos son más urbanizados, debido a la progresiva contaminación derivada de los problemas en el saneamiento (McDonald *et al.*, 2016). El Río Atoyac es el principal escurrimiento de la cuenca, y concentra la contaminación de la región, por tal motivo, ha sido considerado como un “infierno ambiental” por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT por sus siglas en inglés (IBERO Puebla, 2022). La contaminación afecta la salud de la población que vive cerca de los ríos, contrayendo enfermedades como la leucemia y el cáncer (Castresana *et al.*, 2018, 2019; A. Mora *et al.*, 2021).

4.4.3 El Metabolismo Hídrico de la ciudad central de Puebla

Se describirán por proceso

4.4.3.1 La apropiación del agua para la ciudad central de Puebla

Un total de 167.74 Mm³/año de agua extraída del ambiente, distribuida como sigue: 148.33 Mm³/año de agua subterránea; 19.36 Mm³/año de agua superficial; 0.052 Mm³/año de agua de

lluvia cosechada en las viviendas; y 33.85 Mm³/año de escurrimientos pluviales sobre la superficie construida, que más adelante se descargó en el Río Atoyac y Alseseca. La importación de agua purificada embotellada fue de 0.75 Mm³/año y 1.50 Mm³/año de agua subterránea distribuida por camiones cisterna para suministrar al 70 a 80% de los Negocios Pequeños de Agua Purificada Embotellada.

Los negocios pequeños de agua purificada embotellada se suministran principalmente del agua subterránea del área de San Pablo del Monte (Tlaxcala) y alrededores (localizado en las inmediaciones del volcán La Malinche), esto debido a la baja dureza del agua que les ayuda a reducir los costos de operación por mantenimiento, y que contrasta con la alta dureza del agua subterránea en la ciudad de Puebla (Flores-Márquez *et al.*, 2006; Salcedo-Sánchez *et al.*, 2020). Esto indica que la calidad de agua en las inmediaciones a La Malinche se relaciona con la salud pública en la ciudad de Puebla, ya que esta agua se bebe e ingiere en alimentos consumidos por gran parte de la población en la ciudad y su deterioro implicaría problemas en su salud. Por otro lado, el deterioro de estas fuentes de agua implicaría importar agua de lugares más lejanos, incrementando su huella de carbono, que a su vez provocaría un incremento en los precios del agua embotellada producida por los negocios pequeños.

En 2019 la empresa de agua extrajo 124.06 Mm³/año del Acuífero del Valle de Puebla, de los cuales el 63% se extrajo dentro de la jurisdicción del Municipio de Puebla y el 37% desde los municipios aledaños (Tabla 9). De forma alternativa a la empresa de agua 8.31 Mm³/año se extrajo y distribuyó en camiones cisterna por las empresas privadas, de los cuales 7.57 Mm³/año se destinó al consumo doméstico y 0.66 Mm³/año que se distribuyen por los negocios de pequeños de agua purificada embotellada. Otros 15.96 Mm³/año se extrajeron en pozos privados, incluyendo los comités de agua de las juntas auxiliares de la ciudad.

Tabla 9. Caudal extraído por la empresa de agua, desglosado por el municipio de origen.

Municipio desde donde se extrajo el agua	Caudal anual extraído por la empresa de agua (Mm ³ /a)	Porcentaje (%)
Puebla	78.657	63.4 %
Cuatlaningo	11.622	9.4 %
Coronango	9.988	8.1 %
Nealtican	9.472	7.6 %
San Pedro Cholula	4.944	4.0 %
San Andrés Cholula	4.605	3.7%
Tlaltenango	4.222	3.4 %
Juan C. Bonilla	0.339	0.3 %
Amozoc	0.214	0.2 %

Fuente: Elaboración propia basado en datos de SOAPAP 2019.

4.4.3.2 Tratamiento de agua por la empresa de aguas en la ciudad central de Puebla

La sobreexplotación y contaminación del Acuífero del Valle de Puebla ha deteriorado la calidad de su agua con metales pesados como el Boro y el Manganeso, que en moderadas y altas concentraciones causa problemas para la salud humana. La presencia del Boro en el agua puede originarse de forma natural con la intemperización de las rocas que lo contienen, pero también puede provenir de los productos de limpieza, los desechos industriales de pinturas y barnices, textiles, curtido de pieles, y dispositivos electrónicos, todos ellos son contaminantes descargados por las industrias en los ríos Alseseca y el Atoyac (A. Mora *et al.*, 2021; Salcedo Sánchez *et al.*, 2017). La dureza en el agua del AVP es otro problema en su calidad, que oscila entre 286 mg/L a 1,894 mg/L (Astudillo Ocampo, 2017).

El tratamiento que aplica la empresa de agua es la cloración, que es útil para eliminar microorganismos, pero no es efectiva para contaminantes como los metales pesados. En 2018 la empresa de agua suavizó 7.56% del agua extraída (9.57 Mm³/año) con la operación de 3 de 4 plantas suavizadoras disponibles. Sin embargo, extrabajadores de la empresa de aguas aseveraron que el método de suavizado se realiza sólo con cal, señalándolo como un método poco riguroso (Rivera González, 2020). En este sentido, se encontraron inconsistencias en la información de suavizado de

agua, que reportaban consumo de químicos donde sin reportar suavizado de agua y viceversa (Véase Tabla 10).

Tabla 10. Caudales de agua suavizados por la empresa de agua en la ciudad central de Puebla.

Planta suavizadora	Caudal suavizado anual (Mm ³ /a)	Porcentaje (%)	Cantidad de Químicos (Kton/a)	Consumo de químicos (Kg/m ³)
Quetzatcoatl	5.77	60.3 %	2.77	0.481
Sulfurosa	2.51	26.2 %	5.99	2.388
Jint	1.29	13.5 %	0	Dato inconsistente
Paseo del Río	0	0 %	0.07	Dato inconsistente

Fuente: Elaboración propia basada en datos de SOAPAP 2018.

4.4.3.3 Tratamiento de agua por los negocios pequeños de agua purificada embotellada

90% de los encuestados indicaron que beben agua embotellada debido a la desconfianza en la calidad del agua de llave, y 70% del agua embotellada consumida es suministrada por los negocios pequeños de agua purificada embotellada. Estos negocios se localizan en las viviendas o en locales donde ellos venden agua procesada por ultrafiltración. El precio de esta agua es menor que la mitad del precio del agua embotellada de marca reconocida, motivo por el cual optan por esta agua los habitantes de la ciudad que no pueden pagar el agua embotellada de marca reconocida.

Los negocios pequeños de agua embotellada se abastecen con un flujo de 2.25 Mm³/año de agua transportada en camiones cisterna; 1.88 Mm³/año son embotellados para su venta y 0.38 Mm³/año es agua que se consume en el proceso de purificación que incluye el lavado de los contenedores, filtros, etc. Los negocios pequeños de agua purificada embotellada encuestados consideran que más de la mitad de los negocios de esta rama son clandestinos, quienes venden un producto más barato que las empresas regularizadas, debido a que no aplican el proceso de purificación complete. Los encuestados mencionaron algunas de las prácticas insalubres que practican los negocios clandestinos, como el completado de los garrafones con agua de llave, o el llenado de los garrafones

sin tratamiento, directamente del camión cisterna. Este tipo de prácticas es un fraude, ya que el agua se vende como “purificada”.

4.4.3.4 Distribución del agua en la ciudad de Puebla

En la red de distribución el 40.66% del agua extraída se pierde en fugas y corresponde al 49.476 Mm³/año, por lo tanto, únicamente 74.59 Mm³/año es entregado a los usuarios. La cantidad de agua perdida en el proceso de distribución es equivalente al importado desde los municipios aledaños (37%. Esto sugiere la idea de que la mejora en la eficiencia física reduciría la desposesión del agua en los asentamientos aledaños de la ciudad de Puebla, lo que evitaría los conflictos socioambientales como los ocurridos en Nealtican o Coronango (López Zamora, 2013a; López Zamora & El Colegio de Tlaxcala, 2022). Por otro lado, las pérdidas en la red de distribución es 4.8 veces más grande que el agua distribuida por los camiones cisterna, por lo tanto, si las pérdidas se redujeran de 40% a 20% y se distribuyera equitativamente entre los usuarios, la necesidad de agua distribuida por camiones cisterna sería minimizada.

4.4.3.5 Caudales de agua embotellada y transportado en camión cisterna.

Los parámetros de entrada para la simulación de Monte Carlo se muestran en la Tabla 19. El caudal de agua embotellada de marcas reconocidas (0.75 Mm³/año) más el de negocios pequeños de agua purificada embotellada (1.88 Mm³/año) es principalmente consumido en viviendas y en negocios de alimentos (Tabla 11)

Tabla 11. *Magnitud de los caudales distribuidos por camiones cisterna y agua embotellada*

Caudal	Magnitud calculada	Total
Distribuido en camión cisterna		7.561 Mm ³ /año
Viviendas con tinaco	0.526 Mm ³ /año	
Viviendas con tinaco más cisterna	7.035 Mm ³ /año	
Agua embotellada de marca grande		0.753 Mm ³ /año
Garrafrones de 20L	0.687 Mm ³ /año	
Garrafas 5L	0.066 Mm ³ /año	
Botella 1.5L	0.072 Mm ³ /año	
Agua embotellada de purificadora pequeña		1.879 Mm ³ /año

Fuente: Elaboración propia.

El caudal distribuido en camiones cisterna fue de 7.56 Mm³/año. En las viviendas, el agua es comprada tanto individualmente como de forma colectiva para dividir los costos entre los diferentes usuarios. EL consumo por este medio se genera por: la inaccesibilidad del agua para los usuarios que viven fuera del área de cobertura en de la empresa de agua; por el incumplimiento del tandeo (que en algunos casos excede el mes sin el servicio) (Núñez, 2022); por los cortes debido a la falta de pago que se liga a la incapacidad económica de los usuarios o la falta de pago debido a las exorbitantes tarifas impuestas por la empresa de agua.

4.4.3.6 Consumo de agua e la ciudad de Puebla

Descontando las pérdidas en distribución, la suma de todos los flujos consumidos en la ciudad sumó 121.17 Mm³/año (Tabla 12). Del caudal anterior, únicamente 0.85% es agua tratada y reusada para el riego de jardines que tiene a cargo el Municipio de Puebla, por lo tanto, la circularidad en la ciudad de Puebla es prácticamente nula. Se estimó que la cosecha de lluvia en las viviendas corresponde a 0.04% del total del agua apropiada, que podría incrementar al 0.5% (0.6Mm³/año) en caso de aplicar lo propuesto por Martínez-Austria & Vargas-Hidalgo (2016). Por lo que esta alternativa no compensaría el déficit hídrico en la ciudad.

Tabla 12 Caudal consumido en la ciudad de Puebla

Fuente del caudal influente	Caudal Mm³/a	Porcentaje (%)
Empresa de agua	74.59	61.55
Agua superficial no extraída por la empresa de agua	19.36	15.97
Agua subterránea no extraída por la empresa de agua	15.96	13.17
Agua distribuida en viviendas por camiones cisterna	7.56	6.25
Negocio pequeño de agua purificada embotellada	1.88	1.56
Agua embotellada de empresas grandes	0.75	0.69
Agua reciclada desde las PTAR	1.03	0.85
Cosecha de lluvia en las viviendas	0.05	0.04
Total	121.17	
Descarga hacia el alcantarillado o cuerpos de agua	97.24	0.25
Agua evaporada en el proceso de consumo	24.31	20.06
Descarga del proceso de tratamiento de agua en los negocios pequeños de agua purificada.	- 0.38*	-0.31
Total	121.17	

Source: Own elaboration.

* Negative sign because it is wastewater that does not enter the uses.

Fuente: Elaboración propia

*El signo negativo indica que el flujo salió del proceso de consumo.

El agua superficial concesionada para la generación de energía en el Municipio de Puebla es de 114.00 Mm³/año. Este flujo se incluyó en el modelo de Metabolismo Hídrico Urbano, pero, no se incluyó en la Tabla 12 debido a dos inconsistencias: la primera es que un proceso de generación eléctrica requiere agua de mayor pureza que el agua potable, hecho improbable en una zona donde el agua superficial es altamente contaminada; la segunda, es también es improbable que la cantidad de agua concesionada para la generación eléctrica sea mayor al total de agua que anualmente suministra la empresa de agua para toda su zona de cobertura. La única planta de generación eléctrica que la Comisión Federal de Electricidad (CFE) tiene instalado en el municipio de Puebla es la planta de San Lorenzo potencia, y consume anualmente 0.021 Mm³/año, debido a que está diseñada con una tecnología de cero descargas. La planta de generación eléctrica se localiza a un kilómetro de la planta suavizadora de agua denominada "Jint", por lo que es más probable que se use agua suavizada en vez de agua superficial para el proceso de generación de energía.

4.4.3.7 Usos del agua en la ciudad de Puebla

En comparación con el total de agua extraída para la ciudad central, el 42% del agua es para el uso doméstico, 29% para otros usos, y las pérdidas en la red son de 29%. Si la comparación excluye las pérdidas en la distribución, el agua destinada para uso doméstico representa el 58.96%, y el restante el 41.04% es distribuido para los otros usos (Tabla 13).

Tabla 13 Caudales consumidos en la ciudad de Puebla diferenciados por usos.

Usos del agua	Caudal (Mm ³ /yr)	anualPorcentaje del total
Doméstico	71.45	(58.96%)
Público	17.75	(14.65%)
Comercial	13.05	(10.77%)
Industrial**	10.44	(8.61%)
Servicios	5.99	(4.92%)
Acuacultura	0.596	(0.49%)
Usos diferentes	0.514	(0.42%)
Uso doméstico externo a la empresa de agua	0.050	(0.04%)
Ganado	0.032	(0.03%)
Agua embotellada en usos no domésticos	0.263	(0.22%)
Agua reciclada para el riego de jardines municipales	1.03	(0.85%)
Agua para la generación de energía eléctrica	114.00 *	

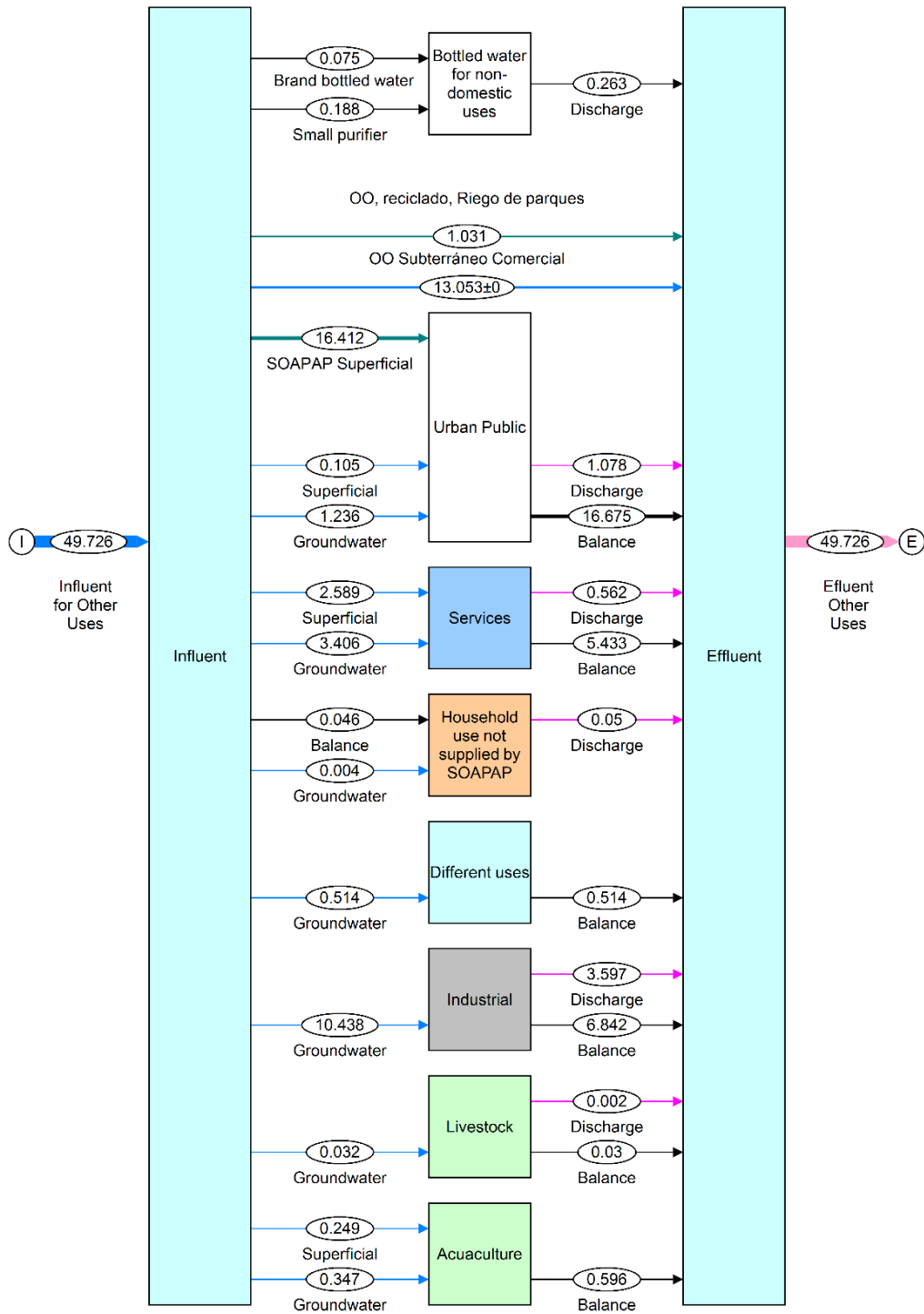
Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA 2019 y SOAPAP 2019.

* La generación de electricidad no se incluyó en los porcentajes.

** En la información obtenida

En el modelo mostrado en la Figura 50, se balanceo la extracción y la descarga con un flujo llamado “balance”. Por ejemplo, el porcentaje de descargas del uso industrial en comparación con su aprovechamiento corresponden al 34.46%, ello indica que el 65.54% del agua excretada no está concesionada y está indicada con un flujo de nombre balance. Lo anterior se puede entender como que el agua pudo haberse evaporado, pero su magnitud que es mayor al 50% pudiese indicar que existen descargas de agua residual no concesionadas en el uso industrial. Lo anterior podría ser una arista del grave problema de contaminación en el área, por lo que la atención en los flujos de nombre “balance” podría ser útil para regular las descargas informales.

Figura 50 Usos del agua en la ciudad central



Fuente: Elaboración propia.

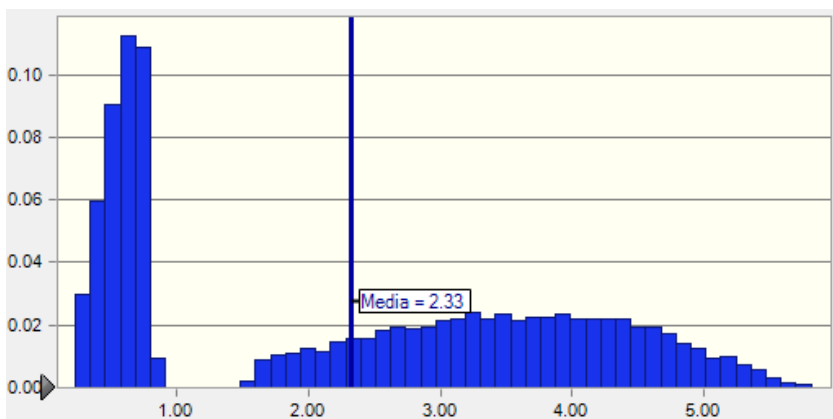
El porcentaje de micromedición reportado por la empresa de agua es 19.18 (CONAGUA *et al.*, 2021), y esto implica que no exista precisión en la estimación del agua consumida y las pérdidas. Un mayor porcentaje de micromedición incrementaría la certidumbre del volumen perdido y su localización. Sin embargo, los usuarios se niegan a la instalación de medidores debido a que se cobra una tarifa elevada para su instalación, y además relacionan los medidores con el abuso con las tarifas excesivas en el cobro de agua (Valeria, 2019).

Los montos elevados en los cobros del agua provocan que los usuarios no paguen el servicio, que a su vez provoca cortes de agua en los usuarios morosos. Los cortes de agua son el motivo de conflictos entre usuarios y la empresa de agua y organizaciones como la “Asamblea Social del Agua”, la “Colectiva por el Bienestar Social” y activistas independientes, académicos se han manifestado en defensa del Derecho Humano al agua para los ciudadanos.

4.4.3.7.1 Capacidad de acumulación de agua en la ciudad

La capacidad de acumulación de agua en la empresa de agua es 0.246 Mm³, y la capacidad de acumulación de agua en las viviendas se estimó en 2.33 Mm³. La suma de la capacidad de acumulación de agua de la empresa de agua más la de las viviendas resulta en 2.57 Mm³.

Figura 51 *Distribución de probabilidad de la capacidad de acumulación del agua en las viviendas*



Fuente: Elaboración propia.

Nota: La unidad en el eje de las abscisas se refiere a los Mm³, y para el eje de las ordenadas se refiere a la probabilidad.

En la Figura 51 se muestran dos distribuciones de probabilidad, la primera a la izquierda se relaciona con la acumulación de agua en las viviendas con tinacos, pero sin cisterna, y la distribución a la derecha se relaciona con las viviendas con cisterna.

4.4.3.8 Excreción del agua en la ciudad de Puebla

El drenaje y alcantarillado de la ciudad de Puebla comparten la misma infraestructura, donde las descargas domésticas e industriales confluyen y favorecen que los contaminantes como los medicamentos (Castro-Pastrana *et al.*, 2021), microplásticos (Paulo Henrique Prado Stefano *et al.*, 2022; Shruti *et al.*, 2019), contaminantes emergentes (Paulo Henrique Prado Stefano *et al.*, 2022), y metales pesados (Castresana *et al.*, 2019), se mezclen y tenga el potencial de producir reacciones químicas que generen nuevos contaminantes, los cuales no serán tratados en las PTAR.

Un máximo de 97.24 Mm³/año de agua residual fluye en la red de drenaje y alcantarillado, mas 33.85 Mm³/año de escurrimientos pluviales, sumando un total de 131.09 Mm³/año. Las PTAR de la empresa de agua trataron 63.91 Mm³/año de agua residual y 67.18 Mm³/año fluyeron sin tratamiento hacia el ambiente. No se contabilizó la cantidad de agua tratada en el uso industrial. La suma del agua tratada más el agua sin tratar es 129.90 Mm³/año.

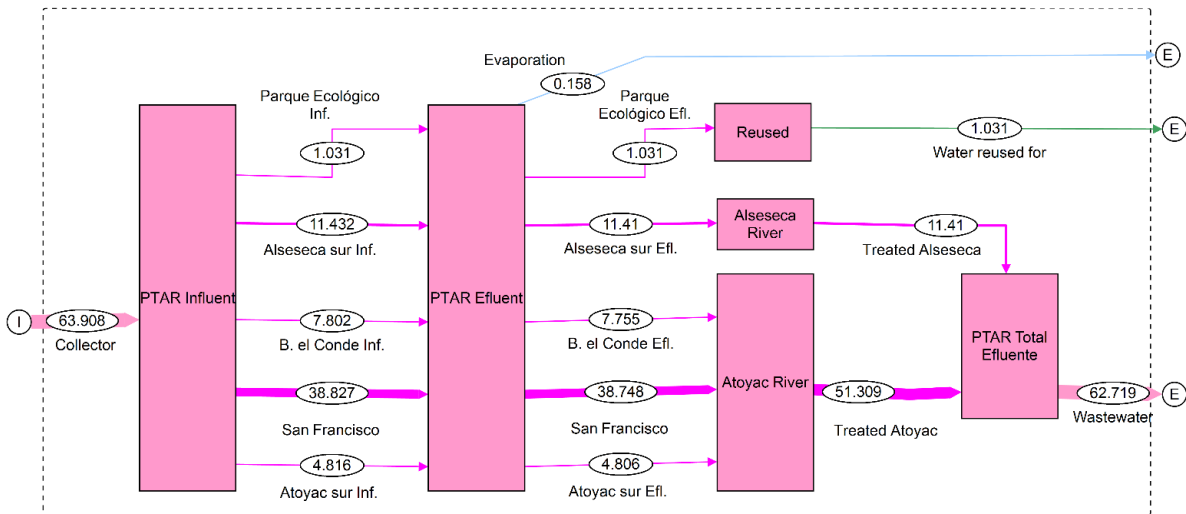
La red de drenaje y alcantarillado intercambia agua con su entorno mediante el fenómeno de la infiltración y exfiltración (Ellis & Revitt, 2002), su magnitud en la ciudad de Puebla es desconocido, sin embargo, es esencial ser conscientes de este fenómeno para cuidar la calidad del agua del acuífero, ya que es trascendente para la sostenibilidad hídrica de la ciudad.

4.4.3.9 Tratamiento de agua residual en la ciudad de Puebla

El total de la capacidad de diseño de las cinco PTAR es 116 Mm³/año, sin embargo, la capacidad total de diseño de las PTAR no es utilizada. En 2018 las PTAR en su totalidad operaron al 55% (63.91 Mm³/año). De este caudal solo 1.03 Mm³/año se reportó con tratamiento secundario y reusado para el riego de jardines que el municipio tiene a cargo. Las otras cuatro PTAR tratan 62.72 Mm³/año con tratamiento primario; 51.31 Mm³/año que se descargaron en el Río Atoyac y 11.41 Mm³/año al Río Atoyac (Figura 52).

A pesar de lo anterior, el Metabolismo Hídrico de la ciudad de Puebla tiene un patrón lineal, debido a que solo el 1.6% del agua residual tratada se reportó como reciclada para el riego de jardines, sin embargo, es posible que no opere la única planta que tiene esta función (Parque Ecológico) y que la circularidad sea del 0%. Esto contrasta con el ejemplo de la ciudad de México donde el 83% del agua tratada se utiliza para el riego de las áreas verdes (Delgado-Ramos, 2015b).

Figura 52 *Tratamiento de agua residual ejecutado por la empresa de agua*



Fuente: Elaboración propia.

Desde antes de ingresar a la ciudad de Puebla, el Río Alseseca y el Río Atoyac ya están altamente contaminados. En la ciudad recogen los contaminantes de esta y finalmente se drena en la presa Manuel Ávila Camacho, que tienen una capacidad de 303.1 Hm³ (CONAGUA.SEMARNAT, 2018; Morales-García *et al.*, 2017). La presa tiene una función de vaso de sedimentación que depura los metales debido a la disminución de la velocidad en el flujo, y como un biofiltro debido al efecto que tiene el lirio acuático (Rodríguez-Espinoza *et al.*, 2011). El agua en la presa se usa para el riego en la producción de alimentos que se consumen en la ciudad de Puebla y otros lugares, y esto representa otro factor de riesgo para la salud pública (Domínguez-Mariani *et al.*, 2004; Mancilla-Villa *et al.*, 2011).

4.4.3.10 Evaporación del agua en la ciudad

El agua de lluvia evaporada sobre la superficie de la ciudad central se estimó en 177.85 Mm³/año, y la evaporación en el proceso de consumo se estimó en 24.31 Mm³/año. La contaminación descargada en los ríos se volatiliza en el aire formando Componentes Orgánicos Volátiles (COVs), algunos de ellos son potencialmente carcinógenos y están relacionados con enfermedades

como la leucemia o el cáncer que padecen las personas que viven en los espacios aledaños a los ríos donde se descargan los contaminantes (Estrada *et al.*, 2022; López-Vargas *et al.*, 2018).

4.4.3.11 Aproximación al Nexo Agua Energía Carbono en la ciudad de Puebla.

La energía consumida por los sistemas de la empresa de agua en 2018 fue de 103.36 GWh, representando 4.31% del total de la energía consumida por el municipio de Puebla en el mismo año. De aquella energía, el 87.11% se consumió para impulsar el agua, y 12.46% para el tratamiento tanto de agua potable como de agua residual. El consumo de energía de todo el sistema generó un total de 54.47 KtCO₂e en emisiones; que se desglosan en 47.45 KtCO₂e relacionados con el impulso de agua, y 6.79 KtCO₂e con el tratamiento de agua potable y residual. El consumo de energía per cápita relacionada con el agua fue de 55.15 kWh/p/año (Véase Tabla 14).

Tabla 14. Energía consumida y emisiones de carbono relacionadas con el servicio de agua en la ciudad de Puebla.

Procesos	Porcentaje	Energía consumida GWh	Mm ³ /año (hm ³ /año)	KWh/m ³	KtCO ₂ e	KgCO ₂ e/m ³
Extracción	68.78%	71.09	124.06	0.5730	37.47	0.3020
Tratamiento de agua	4.69%	4.85	9.57	0.5066	2.55	0.2670
Bombeo	17.71%	18.31	124.06	0.1476	9.65	0.0778
Alcantarillado	0.62%	0.64	97.25	0.0065	0.34	0.0034
Tratamiento de agua residual	7.77%	8.03	63.91	0.1257	4.23	0.0662
Servicios generales	0.43%	0.44	124.06	0.0036	0.23	0.0019
Empresa de agua		103.36	124.06	0.8331	54.47	0.4391

La intensidad energética en el saneamiento de todo el estado de Puebla es 0.60 kWh/m³ (CONAGUA & SEMARNAT, 2016a). El valor anterior hace anómalo el dato de intensidad energética del saneamiento del sistema de la empresa de agua de 0.1257 kWh/m³, que es alrededor de una

quinta parte del reportado por CONAGUA, también es menor al reportado en ciudades como San Purísima del Rincón (0.38 Kwh/m³) (Landa-Cansigno *et al.*, 2020), Oslo (1.32 Kwh/m³), Nantes (0.87 Kwh/m³), Toronto (1.44 Kwh/m³) and Turin (0.94 Kwh/m³) (Venkatesh *et al.*, 2014). Bajo el escenario de que la intensidad energética en el tratamiento de aguas residuales fuera la misma que la reportada como el promedio en el estado, entonces el volumen tratado sería solo de una quinta parte (13.39 Mm³/yr) del reportado (63.91 Mm³/yr), y en ese escenario resultaría que solo el 10% del agua que fluye en la red de drenaje y alcantarillado sería tratada. Esta anomalía en los datos de saneamiento es consonante con las quejas expresadas por los activistas que acusan a la empresa de agua de fraude, debido a que señalan que el saneamiento no es realizado mientras las tarifas son cobradas, y que esto además de afectar al ambiente por no realizar el saneamiento, también afecta la capacidad adquisitiva de los usuarios (Daniela, 2022).

Las pérdidas de agua en la red implican que 42.09 GWh de energía hayan sido desperdiciados de forma indirecta, y con ello se liga la emisión de 22.18 KtCO₂e. Esto genera costos de operación que la empresa de aguas transfiere a los usuarios por medio de las tarifas, afectando la asequibilidad del agua (CONAGUA & SEMARNAT, 2016b).

4.4.3.12 Otros flujos materiales relacionados con el Metabolismo Hídrico Urbano en la ciudad de Puebla

El Metabolismo Hídrico Urbano se liga con otros flujos materiales que conforman la infraestructura hídrica, los químicos para el tratamiento, y los materiales disueltos y transportados desde el proceso de consumo hacia los procesos de saneamiento y excreción.

4.4.3.12.1 Químicos para el tratamiento del agua

El suavizado del agua requiere de 8,824.7 kg/año de químicos que comprenden al cloruro de sodio, ácido sulfúrico, hidróxido de calcio, polímero aniónico, polímero catiónico, hipoclorito só-

dico, antiincrustante, genefloc, hidróxido sódico, metabisulfito. El tratamiento de agua residual requiere de 3,298.06 kg/año de químicos que incluyen el cloruro férrico, polímero aniónico y polímero catiónico. El incremento en la necesidad del tratamiento en el agua potable y residual generará mayores requerimientos de químicos para el tratamiento del agua.

4.4.3.13 Elementos del Derecho Humano al agua desde el modelo de Metabolismo Hídrico Urbano

De acuerdo con los datos de SOAPAP en 2019 la empresa de agua proveyó a 506,024 viviendas que albergan aproximadamente a 1,874,084 habitantes. La cantidad de agua extraída se estimó en 181.37 litros *per cápita* por día (LPCD). El dato *per cápita* anterior es usualmente publicado en reportes oficiales, sin embargo, se considera impreciso porque implica la inexistencia de pérdidas en la red y la ausencia de los usos no domésticos. Por tal motivo, se sustrajeron las pérdidas en la red y los usos no domésticos en el cálculo y resultó en que la empresa de agua entregó aproximadamente 105.53 LPCD para el uso doméstico, desglosado en 90.71 LPCD (86%) provisto por la empresa de agua y 14.83 LPCD (14%) distribuido en camiones cisterna y agua embotellada.

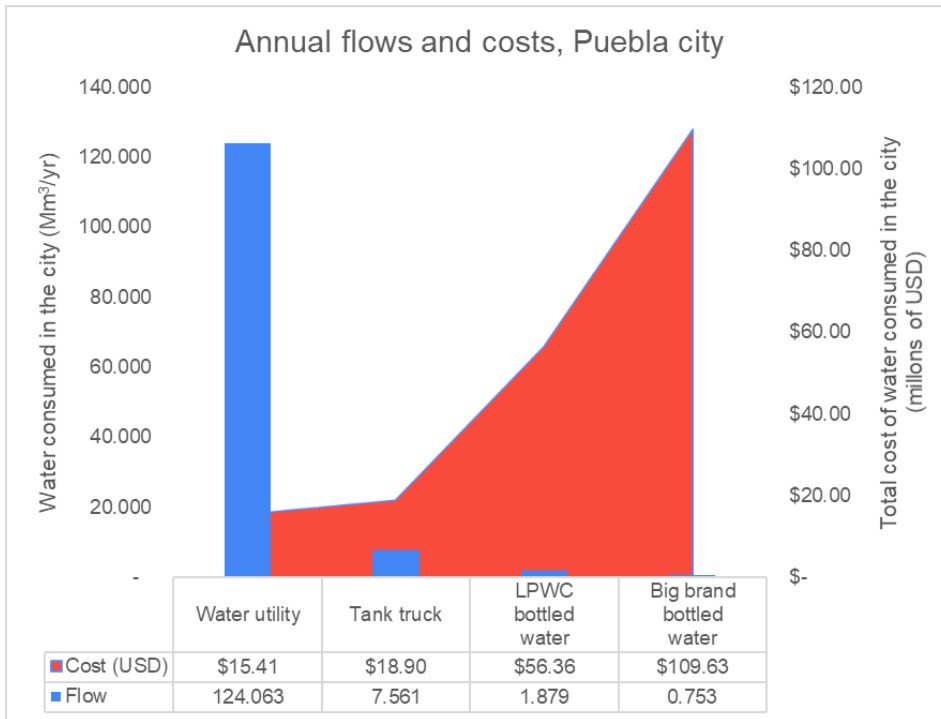
Bajo el escenario hipotético de recuperar el agua perdida en la red y distribuirla de forma equitativa en la población se conseguiría un extra de 72.33 LPCD para ser suministrado. La cantidad *per cápita* perdida en la pérdida de agua es mayor que la que es recibida por los habitantes de lugares como Kenya, Tanzania o Senegal. (Dessu *et al.*, 2014; Hall *et al.*, 2014).

4.4.3.13.1 Accesibilidad, asequibilidad y del agua en la ciudad de Puebla

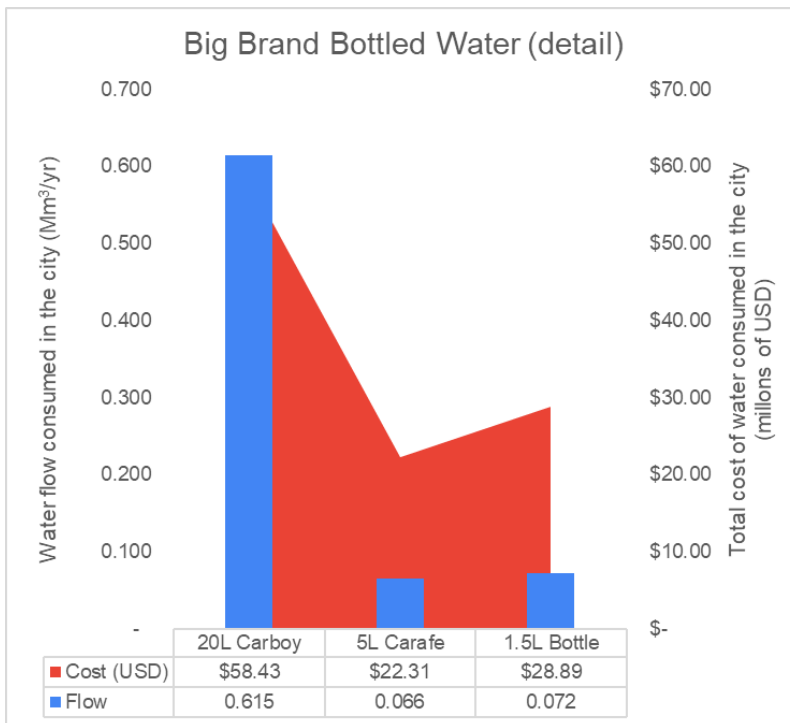
Los costos anuales pagados por los usuarios para la distribución de agua en pipas y el agua embotellada fue estimado en 200.31 millones de dólares, que es 1.285% más alto que lo que en la empresa de agua recaudó en 2019 por el pago adelantado (15.41 millones de dólares) con una eficiencia de recaudación que oscila el 30%.

Si se comparan los caudales de agua distribuida por las marcas grandes de agua embotellada, los negocios pequeños de agua embotellada y el agua distribuida por camiones cisterna con el agua distribuida por la empresa de agua, corresponden respectivamente al 0.67%, 1.52%, y 6.10% de este último. En cambio, si la comparación se hace con el monto recaudado por cada tipo de distribución en comparación con lo que recauda la empresa de aguas resultó que: para la distribución de agua embotellada de marca grande es 8 veces mayor; entre 3 y 4 veces mayor para el conjunto de negocios pequeños de agua embotellada; y para el servicio de camiones cisterna es equivalente (véase Figura 53).

Figura 53. *Caudales y sus cotos anuales en la ciudad de Puebla.*



a)



b)

Fuente: Elaboración propia.

Lo anterior revela que el costo pagado por las formas alternativas de adquirir agua es varias veces superior a lo que se recauda la empresa de agua, lo que indica que la falta de calidad en el servicio de agua afectar directamente la asequibilidad del agua, por lo tanto, la falta de accesibilidad y aceptabilidad del agua en la ciudad de Puebla genera que existen problemas de asequibilidad, y en consecuencia no se garantice el Derecho Humano al Agua, al mismo tiempo que se generan ganancias para las empresas privadas relacionadas con los servicios alternativos del agua.

Lo anterior expone como los problemas de aceptabilidad y accesibilidad del agua generan problemas de asequibilidad, que resulta en la no garantía del Derecho Humano al Agua de la población de la ciudad de Puebla, a la par que se generan grandes ganancias para las empresas privadas que ofrecen servicios de agua alternativos a la empresa de aguas.

El consumo de agua embotellada en tres estudios de Metabolismo Hídrico Urbano en ciudades mexicanas fue inversamente proporcional a su tamaño. Por ejemplo, para la ciudad de México el consumo osciló alrededor 0.65 LPCD (Delgado-Ramos, 2015b), para la ciudad de Puebla en este estudio fue de 3.85 LPCD, y para la ciudad de Tepic fue de 7.09 LPCD (Gutiérrez-Espinosa, 2016). Las diferencias entre las tres magnitudes se interpretan como la falta de precisión en las estimaciones del consumo de agua embotellada, ya que para asegurar que existe una tendencia sería necesario que más estudios indiquen esta magnitud. Lo anterior expone la relación entre los problemas de aceptabilidad del agua y como abonan a los problemas de asequibilidad, que también afecta al Derecho Humano al Agua.

4.4.3.14 Comentarios acerca de la recolección de datos

En la elaboración de modelos de Metabolismo Urbano en general es común encontrar ausencias e inconsistencias en los datos recogidos (Zhang, 2013). En el caso de esta investigación se considera que los problemas con la información son coincidentes con los problemas en la gestión del agua en la ciudad de Puebla, por ejemplo: el incongruente incremento en la disponibilidad del

agua entre 2013 y 2016 (CONAGUA, 2015b, 2018, 2020), implica que no exista un límite claro para la sobreexplotación del acuífero; los datos incongruentes con el tratamiento del agua residual es coincidente con que la zona es la segunda más contaminada del país (Domínguez-Mariani *et al.*, 2004; Estrada *et al.*, 2022; López-Vargas *et al.*, 2018; Mancilla-Villa *et al.*, 2011; Rodríguez-Espinoza *et al.*, 2011), y con los conflictos socioambientales relacionados con ello (López Zamora, 2013b; López Zamora & El Colegio de Tlaxcala, 2022); la ausencia de información del consumo de agua embotellada y agua transportada por camiones cisterna oculta las consecuencias negativas para la asequibilidad del agua DHAS. En general los problemas con la información esconden problemas en la gestión del agua.

En la era de las tecnologías de la información y la comunicación existe la posibilidad de implementar un monitoreo automático y transparente de las variables hídricas. Esto permitiría a los interesados a generar nuevo conocimiento, conciencia y una toma de decisiones ágil en los temas hídricos de la ciudad. En este punto el enfoque del MHU es útil para integrar las variables y reducir la complejidad de aquellas magnitudes para hacerlas más entendibles para todos los interesados y el público.

4.5 Conclusión referente a la cuantificación (Objetivo 2 y 3)

Objetivo 2

Basado los datos de apropiación de agua para la ciudad de Puebla se observó cómo el crecimiento de la demanda de agua para la ciudad se sincronizó con los cambios del modelo económico implementado en la misma. En los 50's del siglo XX la actividad económica se centró en los textiles y a mediados de los 60's se transformó hacia la industria automotriz y de alimentos, fue hasta los

90's cuando se adoptó un modelo que incluyó al sector terciario. Los desarrollos industriales y comerciales se ubicaron en las zonas al norte de la ciudad con mayor cercanía a la Malinche y que cuentan con agua de mejor calidad. Desde la década de los 50's el crecimiento urbano no siguió los planes de desarrollo urbano previos ya que el crecimiento urbano se centró en albergar la mano de obra para las industrias al norte de la ciudad. Por lo anterior, se induce que el desarrollo de la ciudad de Puebla no se centró en el bienestar de la población, sino que la prioridad fue la generación de capital y riqueza, donde la población fue un recurso más a explotar, ya sea como mano de obra en el sector industrial o comercial, o como consumidores.

Al igual que en la actualidad, en la periferia de la ciudad se concentró gran parte de la población más pobre, que a su vez también padeció de escasez hídrica. En los años 60's se encontraron prácticas culturales tradicionales como los jagueyes que sirvieron como un elemento de resiliencia ante la escasez hídrica que afectó a la ciudad y en especial a las comunidades de la periferia de la ciudad de Puebla. Estas prácticas no son deseables en términos de salubridad, sin embargo, su función de almacenamiento de agua ayudó a paliar los estragos de la sequía. Este dato es interesante y resalta la función de las prácticas culturales tradicionales en la resiliencia de las poblaciones ante las perturbaciones climáticas y de desigualdad social.

Objetivo 3

Bajo el contexto de los actuales problemas ambientales y el cambio climático es crucial entender de forma holística los retos relacionados con el agua en las ciudades. La cuantificación de un modelo de Metabolismo Hídrico Urbano para la ciudad de Puebla provee una guía para identificar los problemas hídricos que trascienden a los de eficiencia y rendimiento, que incluyen problemas ambientales con el sistema de suministro de agua, conflictos socioambientales, retos con la garantía del Derecho Humano al Agua y Saneamiento, y la ausencia de información importante para el diseño de políticas y la toma de decisiones.

Con el modelo de Metabolismo Hídrico Urbano en el abordaje de los problemas hídricos urbanos ayudó a relacionar elementos sociales y ambientales. Por ejemplo, se relacionó que la no garantía del Derecho Humano al Agua en la población puede tener como consecuencia a que nexo agua-energía incremente su intensidad energética, al promoverse las condiciones favorables para el acrecentamiento en las ventas de empresas relacionadas con la venta de productos hídricos, particularmente el agua embotellada de marcas grandes (pero también los sistemas de filtración domésticos), mismos que requieren de procesos más intensivos energéticamente en comparación con empresa de aguas. Otra relación que se observó fue que la empresa de agua importa una cantidad similar a la que importa desde los poblados aledañas, lo cual es incongruente en términos de justicia ambiental y energéticamente ineficiente. En términos generales, existe una relación entre la justicia ambiental y el nexos agua-energía-carbono.

Considerando lo anterior, una suposición atrevida es que la garantía del Derecho Humano al agua y la búsqueda de la justicia ambiental contribuye indirectamente a la mitigación del cambio climático, escenario que no es económicamente favorable para las empresas relacionadas con el agua. Es necesario discutir la idea anterior en el sentido de que el aseguramiento del Derecho Humano al Agua bajo las condiciones actuales conlleva costos energéticos adicionales (además de los costos económicos que son parcialmente cargados en los usuarios finales del agua). En cualquier caso, lo dicho anteriormente demuestra la conexión inseparable entre los aspectos sociales y los físicos.

Al respecto de la inducción de agua trasladada en envases y camiones cisterna, somos conscientes de las limitaciones del método de muestreo de bola de nieve empleado para realizar la simulación de Monte Carlo de los flujos de agua embotellada y camión cisterna, sin embargo, con-

sideramos que nuestros hallazgos del modelo de MFA en general son significativos debido al reducido peso de dichos flujos. No obstante, el uso de un método de muestreo probabilístico podría mejorar la confiabilidad de los resultados, que quizá sea relevante para diseñar mecanismos de intervención específicos para mejorar el Derecho Humano al Agua, iniciando por las áreas más críticas en la ciudad. Esta posibilidad sugiere que es factible generar estimaciones valiosas para la toma de decisiones sobre los flujos indocumentados utilizando datos asociados al comportamiento de los consumidores. Este enfoque podría ayudar a superar el obstáculo de la insuficiencia de información, que es un problema generalizado en las ciudades de México y otros países en desarrollo.

El modelo de Metabolismo Hídrico Urbano para la ciudad de Puebla fue una primera aproximación. Por lo tanto, no se enfocó en los escenarios futuros. Sin embargo, sirvió como una línea base potencialmente mejorable, ya sea en la calidad o detalle de la información, que provee la oportunidad de enfocarse a problemas hídricos específicos en un contexto en el que la especialización de las dinámicas y desigualdades prevalecientes pueden ser particularmente relevantes para el diseño de políticas y la toma de decisiones. Nuestros hallazgos pueden servir como una base para un futuro modelo de previsión que nos ayude a identificar el potencial de diferentes políticas en intervenciones para mejorar a diferentes escalas la eficiencia y sostenibilidad de los flujos metabólicos, a la par de que se cumple el Derecho Humano al Agua.

Concluimos que el enfoque holístico que otorga la perspectiva del Metabolismo Hídrico Urbano permite en cambio un entendimiento más robusto de la complejidad embebida en los sistemas urbanos, como se muestra en el caso de la ciudad de Puebla. Además de permitir la generación de información y datos específicos para la toma de decisiones técnicas, también puede ayudar a evaluaciones más entendibles que pueden ayudar a identificar no solo los retos actuales y potenciales escenarios futuros, sino también quienes son o podrían ser los actores con mayor afectación o be-

neficio. Tales evaluaciones más digeribles podrían de utilidad para las partes interesadas no especializadas como los hacedores de políticas públicas, pero también instrumentos de empoderamiento de a través de la información para la movilización de la sociedad en general.

La concientización social informada de los retos hídricos prevaecientes puede permitir cambios de comportamiento del uso del agua en la población, construcción de consensos, la generación de asociaciones y alianzas, y la cogeneración de soluciones, que sean parte de un (nuevo) modelo participativo de gobernanza para un modelo de Metabolismo Hídrico Urbano más sustentable, climate-ready, justo, e inclusivo en la ciudad de Puebla.

Coincidimos con Delgado y Blanco (Delgado-Ramos & Blanco, 2018), quienes señalaron para otros estudios de caso metabólicos del agua que los retos actuales y futuros del agua urbana requerirán de una “gobernanza hídrica”, es decir, una que logre integrar, a diferentes escalas, tres aspectos centrales: (i) aspectos de políticas o institucionales; (ii) aspectos de política o de relaciones de poder en el lugar; y (iii) las políticas o los mecanismos e instrumentos para lograr ciertos resultados deseables.

Finalmente, creemos que los estudios de Metabolismo Hídrico Urbano contribuyen significativamente, aunque no exhaustivamente, en el empeño de la puesta en práctica del Derecho a la Ciudad (UN HABITAT, n.d.). Construir ese cambio de paradigma exige, por tanto, hibridar el Metabolismo Hídrico Urbano con otras perspectivas y cambios del conocimiento, incluyendo la política ecológica urbana, los estudios institucionales y de capacitación, y los estudios conductuales, entre otros. Con esto en mente, hemos abordado la cuestión de los recursos hídricos como un componente estructural de nuestro enfoque de la gestión del agua urbana, lo que nos permite abordar los aspectos políticos y normativos antes mencionados, aunque sin agotarlos. En un modelo dinámico de previsión de la gestión de los recursos hídricos, la incorporación explícita de los tres aspectos de

la gobernanza híbrida será sin duda relevante para dilucidar la viabilidad de las acciones transformacionales a diferentes escalas, y para escenarios alternativos, un contexto en el que los indicadores de rendimiento multicriterio- cuantitativos y cualitativos- tendrán que seguir desarrollándose y probándose para informar con solidez los procesos de toma de decisiones (como aconsejan Renouf *et al.* Y Serrao-Neuman *et al.* (Renouf *et al.*, 2017; Serrao-Neumann *et al.*, 2019)).

5 Conclusión General

La relación entre la sociedad y la naturaleza se expresa en la configuración del MHU. El MHU es una alteración del ciclo hidrológico natural de una región y su configuración obedece a múltiples factores sociales, de los cuales, se resaltan los socioeconómicos y los políticos. Es decir, que la alteración del ciclo hidrológico obedece a los factores socioeconómicos y políticos, lo cual, manifiesta claramente la relación entre la sociedad y la naturaleza.

En el presente trabajo se propuso, construyó y cuantificó un el modelo de MHU para la ciudad de Puebla basados en la Teoría de Sistemas Complejos, donde se demostró que la TSC y la metáfora del MHU son compatibles y complementarios, ya que la primera es una teoría que sirve para plantear y analizar un sistema socioambiental (que es por ende complejo), y la segunda es una metáfora que sirve para aproximarse al entendimiento de la realidad material que emerge de los factores intangibles que configuran a la sociedad. Para el presente trabajo el modelo conceptual propuso al MHU como un subsistema del sistema socioambiental planteado desde lo sugerido con la TSC, lo cual, es congruente puesto que el MHU se interdefine a diferentes escalas con otros elementos materiales e inmateriales como lo es la intensidad energética en el primer caso y con el concepto como el Derecho Humano al Agua en el segundo caso, entre otros ejemplos.

El análisis histórico evidenció cómo el crecimiento de la ciudad tuvo como prioridad al desarrollo económico (manufactureros o comerciales) y el bienestar de la población quedó relegado en

prioridad, ya que los desarrollos industriales se ubicaron en los espacios con mejor accesibilidad a las fuentes de agua de mejor calidad y los desarrollos inmobiliarios para la residencia de la población urbana se ubicaron cerca de los desarrollos industriales, pero en segundo lugar en cercanía a las mejores fuentes de agua. Lo anterior podría parecer una estrategia correcta y eficiente en el sentido de los traslados de la población hacia su trabajo, sin embargo, subyace la premisa de que la población es sólo un recurso por explotar para la industria y con ello se cosifica, y la cosificación implica la deshumanización de la población. La idea anterior es atrevida, pero congruente cuando se advierten las asimetrías en la distribución del agua para la población tanto en cantidad como en calidad, donde gran parte de la población no tiene garantizado su Derecho Humano al Agua, a la par, de que la industria consume mayor cantidad y calidad de agua.

La cuantificación del modelo de MHU para 2018 a 2020 con el método de MFA desveló la magnitud aproximada del agua que consume la ciudad de Puebla tanto en su ciudad central como en su zona metropolitana. Esta cuantificación se realizó principalmente con información oficial por lo que las cantidades de agua usadas por la ciudad son cercanas a lo reportado en los informes oficiales de CONAGUA. En el modelo se reunieron las magnitudes hídricas de los procesos desde la extracción de agua del ambiente hasta su excreción al mismo y en los datos se evidenciaron los problemas de sobreexplotación del acuífero, la importación de agua de las poblaciones aledañas, la cantidad de agua que distribuye el organismo operador de Puebla y la que no se extrajo por este medio, la cantidad de agua tratada previo al uso, las pérdidas de distribución, los usos, y la cantidad de agua tratada en agua residual.

El modelo cuantificado evidencia problemas materiales en el sistema socioambiental, como en el caso de la ineficiencia física en la distribución del organismo operador y lo relaciona con el desperdicio de energía que a su vez genera emisiones de gases de efecto invernadero que abonan

al cambio climático, o también la cantidad de agua residual que se excreta al ambiente sin tratamiento, que es una práctica que reduce la intensidad energética del proceso pero genera graves afectaciones al ambiente y a la salud humana. Sin embargo, problemas hídricos trascienden lo puramente material, por ejemplo: la cantidad de agua que se extrae de los poblados aledaños (37% de la extraída por el Organismo Operador) se relaciona con conflictividad social permanente en las localidades aledañas; la desconfianza en el consumo del agua de la llave provoca el consumo de agua embotellada y detona enormes gastos para la población que afectan la asequibilidad del agua, y a su vez esta agua se relaciona con mayores emisiones de GEI; la falta de suficiencia en el servicio de agua provoca la demanda de agua distribuida en camiones cisterna que también afecta económicamente a la población y también genera mayores emisiones de GEI; la competencia entre los usos del agua se relaciona a su vez con la falta de suficiencia y con la problemática social derivada de la escasez de agua; la falta de tratamiento del agua se relaciona con graves problemas de salud que incluye enfermedades como el cáncer en la población que vive en las inmediaciones de los cuerpos de agua contaminados.

Derivado de lo anterior, se evidencia cómo un simple número dentro del modelo de MHU tiene fuertes implicaciones socioambientales que incluyen temas relevantes a nivel local y hasta global como en el caso del cambio climático. Sin embargo, también en el proceso de elaboración del modelo se hallaron problemas de transparencia de la información que representó una dificultad en la realización de este. Estos problemas de transparencia se relacionaron con el contexto conflictivo que se vive en la ciudad y los problemas generados por el COVID-19. Esto deja claro como en un fenómeno socioambiental el investigador no funge como un observador puro y sin influencia en el fenómeno observado, más bien, el investigador es un elemento dentro del sistema y se interdefine con él.

La metodología de simulación de Monte Carlo en combinación con una encuesta para cuantificar los flujos hídricos que no se encuentran registrados en instituciones oficiales es una aportación metodológica para subsanar los obstáculos en la consecución de la información. La metodología es mejorable, sobre todo en la aplicación de la encuesta, ya que, en nuestro trabajo se aplicó a una muestra no estadística por razones de viabilidad dentro del contexto de la pandemia de COVID-19. Además, los flujos simulados se relacionan con prácticas de informalidad, y la informalidad escapa comúnmente a los modelos de MHU cuantificados, por lo que, la aportación metodológica si se desarrolla más puede ayudarnos a introducirnos al MHU informal, que regularmente escapa a los modelos de MHU en el mundo.

El modelo de MHU para la ciudad de Puebla permitió relacionar elementos de las dimensiones tangibles e intangibles del sistema socioambiental que nos ayudó a tener una perspectiva integradora de este, sin embargo, se considera como una primera aproximación al sistema socioambiental bajo este enfoque, ya que conforme se desarrolle y detalle el modelo se prevén potenciales productos que describan otro tipo de problemas socioambientales como la justicia ambiental que relaciona la ecología industrial con la ecología política.

LITERATURA CITADA

- Aboites, L., & Superiores, E. (2010). Aboites Aguilar, L. (2009), La decadencia del agua de la nación. Estudio sobre la desigualdad social y cambio político en México, segunda mitad del siglo XX. *Investigaciones Geográficas*, 72, 145–148.
- Adriaanse, A., Bringezu, S., Hammond, A., Moriguchi, Y., Rodenburg, E., Rogich, D., & Schütz, H. (1997). Resource Flows: The Material Base of Industrial Economies. In *World Resources Institute Wuppertal Institute Netherlands Ministry of Housing Spatial Planning and Environment Japans National Institute for Environmental Studies Washington DC World Resources Institute Report*. http://pdf.wri.org/resourceflows_bw.pdf
- Agua de Puebla. (2023). *Concesiones Integrales S.A. de C. V.*
- Ahmad, N. (2020). Human right to water under international law regime: an overview. *Commonwealth Law Bulletin*, 46(3), 415–439. <https://doi.org/10.1080/03050718.2020.1770618>
- Alvarez, C. J. D. (2016). METABOLISMO Y ENTROPÍA EN LAS CIUDADES, ANÁLISIS Y GESTIÓN PARA LA SUSTENTABILIDAD. In *Los Desafíos De La Ciudad Del Siglo XXI* (p. 561).
- Anderson, D. G., Maasch, K. A., & Sandweiss, D. H. (2007). Climate Change and Cultural Dynamics. In *Climate Change and Cultural Dynamics*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-088390-5.X5001-8>
- Arora, M., Yeow, L. W., Cheah, L., & Derrible, S. (2022). Assessing water circularity in cities: Methodological framework with a case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 178, 106042. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106042>
- Astudillo Ocampo, A. (2017). *Impactos en la calidad del agua que abastece a la ciudad de Puebla por efecto de la explotación del acuífero* [Instituto Mexicano de Tecnología del Agua]. <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1670>
- Ayres, R. U., & Kneese, A. V. (1969). *Pollution and environmental quality*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1951). *1er Informe de Gobierno de Nicolás Vásquez Arreola*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1952). *2do Informe de Gobierno de Nicolás Vásquez Arreola*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1953). *3er Informe de Gobierno de Nicolás Vásquez Arreola*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1954). *1er Informe de Gobierno de Arturo Perdomo Morán*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1955). *2do Informe de Gobierno de Arturo Perdomo Morán*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1956). *3er Informe de Gobierno de Arturo Perdomo Morán*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1957). *1er Informe de Gobierno de Rafael Artasánchez Romero*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1958). *2do Informe de Gobierno de Rafael Artasánchez Romero*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1959). *3er Informe de Gobierno de Rafael Artasánchez Romero*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1960). *1er Informe de Gobierno de Francisco Rodríguez Pacheco*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1961). *2do Informe de Gobierno de Francisco Rodríguez Pacheco*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1963). *1er Informe de Gobierno de Carlos Vergara Soto*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1964). *2do Informe de Gobierno de Carlos Vergara Soto*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1965). *3er Informe de Gobierno de Carlos Vergara Soto*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1966). *1er Informe de Gobierno de Arcadio Medel Marín*.

- Ayuntamiento de Puebla. (1967). *2do Informe de Gobierno de Arcadio Medel Marín*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1968). *3er Informe de Gobierno de Arcadio Medel Marín*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1969). *1er Informe de Gobierno de Carlos J. Arruti y Ramírez*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1970). *2do Informe de Gobierno de Carlos J. Arruti y Ramírez*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1972). *1er Informe de Gobierno de Luis Vásquez Lapuente*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1973). *2do Informe de Gobierno de Luis Vásquez Lapuente*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1974). *3er Informe de Gobierno de Luis Vásquez Lapuente*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1975). *1er Informe de Gobierno de Eduardo Cué Merlo*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1976). *2do Informe de Gobierno de Eduardo Cué Merlo*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1977). *3er Informe de Gobierno de Eduardo Cué Merlo*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1978). *1er Informe de Gobierno Miguel Quiroz Pérez*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1979). *2do Informe de Gobierno Miguel Quiroz Pérez*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1980). *3er Informe de Gobierno Miguel Quiroz Pérez*.
- Ayuntamiento de Puebla. (1982). *2do Informe de Gobierno de Victoriano Álvarez García*.
- Ayuntamiento de Puebla. (2010). *4 Épocas 85 Lugares Para Conocer Puebla* (Vol. 1).
- Baccini, P. (1997). A city's metabolism: Towards the sustainable development of urban systems. *Journal of Urban Technology*, 4(2), 27–39.
- Bai, X. (2007). Industrial ecology and the global impacts of cities. *Journal of Industrial Ecology*. <https://doi.org/10.1162/jie.2007.1296>
- Baldassarre, B., Schepers, M., Bocken, N., Cuppen, E., Korevaar, G., & Calabretta, G. (2019). Industrial Symbiosis: towards a design process for eco-industrial clusters by integrating Circular Economy and Industrial Ecology perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 216, 446–460. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.091>
- Banco-Mundial. (2015). *Consumo de energía procedente de los combustibles fósiles*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.COMM.FO.ZS?end=2015&start=1960&view=chart>
- Becerra, G., & Castorina, J. (2016). Acerca de la noción de “marco epistémico” del constructivismo. Una comparación con la noción de “paradigma” de Kuhn. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad - CTS*, 11(31), 9–28.
- Bertalanffy, L. Von. (1976). *Teoría general de los sistemas: fundamento, desarrollo, aplicaciones*. Fondo de Cultura Económica. (Obra original publicada en 1968).
- Biro, D., Inoue-Nakamura, N., Tonooka, R., Yamakoshi, G., Sousa, C., & Matsuzawa, T. (2003). Cultural innovation and transmission of tool use in wild chimpanzees: Evidence from field experiments. *Animal Cognition*. <https://doi.org/10.1007/s10071-003-0183-x>
- Brenes, R., Cadena, A., & Ruiz-Guerrero, R. (2011). Monitoreo de la concentración de nitrato en el acuífero del valle de Puebla. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(4), 323–332.
- Bringezu, S. (2015). Possible target corridor for sustainable use of global material resources. *Resources*. <https://doi.org/10.3390/resources4010025>
- Bristow, D. N., & Kennedy, C. A. (2013). Urban metabolism and the energy stored in cities: Implications for resilience bristow and kennedy the energy stored in cities. *Journal of Industrial Ecology*. <https://doi.org/10.1111/jiec.12038>

- Broto, V. C., Allen, A., & Rapoport, E. (2012). Interdisciplinary Perspectives on Urban Metabolism. *Journal of Industrial Ecology*. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00556.x>
- Brunner, P. H. (2000). Books: Regionaler Stoffhaushalt: Erfassung, Bewertung, Steuerung [Regional Materials Management: Analysis, Evaluation, Control]. *Journal of Industrial Ecology*, 4.
- Brunner, P. H., & Helmut, R. (2005). Practical Handbook of Material Flow Analysis. In *Complete Casting Handbook*. CRC press. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-809-9.10003-9>
- Cabrera Montiel, L., & Delgado, J. (2019). Sector inmobiliario y estructura urbana en la ciudad de Puebla 1900-2010. *Secuencia*, 103(e1512), 37. <https://doi.org/10.18234/secuencia.v0i103.1512>
- Canclini, N. G. (2004). *Diferentes, desiguales y desconectados: mapas de la interculturalidad* (Vol. 302542). Editorial Gedisa.
- Castañares Maddox, E. J. (2009). *Sistemas complejos y gestión ambiental: el caso del Corredor Biológico Mesoamericano México*.
- Castorina, J. A. (2019). El Marco Epistémico en la Toria Constructivista de Rolando García. Una Interpretación para la Investigación Psicológica. In *¡No está muerto quien pelea! Homenaje a la obra de Rolando V. García Boutigue* (pp. 63–89).
- Castresana, G. P., Flores, V. T., Reyes, L. L., Aldana, F. H., Vega, R. C., Perales, J. L. M., Suastegui, W. A. G., Fonseca, A. D., & Silva, A. H. (2018). Atoyac River pollution in the metropolitan area of Puebla, México. *Water (Switzerland)*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/w10030267>
- Castresana, G. P., Roldán, E. C., Suastegui, W. A. G., Perales, J. L. M., Montalvo, A. C., & Silva, A. H. (2019). Evaluation of health risks due to heavy metals in a rural population exposed to Atoyac River pollution in Puebla, Mexico. *Water (Switzerland)*, 11(2), 1–14. <https://doi.org/10.3390/w11020277>
- Castro-Pastrana, L. I., Cerro-López, M., Toledo-Wall, M. L., Gómez-Oliván, L. M., & Saldívar-Santiago, M. D. (2021). Análisis de fármacos en aguas residuales de tres hospitales de la ciudad de Puebla, México. *Ingeniería Del Agua*, 25(1), 59. <https://doi.org/10.4995/ia.2021.13660>
- CEASPUE. (2023). *Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de Puebla*. <https://ceaspue.puebla.gob.mx/>
- Chen, B., & Chen, S. (2015). Urban metabolism and nexus. In *Ecological Informatics*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2014.09.010>
- Chen, B., & Lu, Y. (2015). Urban nexus: A new paradigm for urban studies. In *Ecological Modelling*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.10.010>
- Chigeza, P. (2019). *Water-Energy-Carbon Systems: Transitioning from linear to Circular Economy* (First Edit). Austing Maculey Publishers LLC. www.austinmacauley.com
- Chrysoulakis, N. (2008). Urban Metabolism and Resource Optimisation in the Urban Fabric: The BRIDGE Methodology. *EnvironInfo*, 301–309.
- Clark, D. (1996). Urban world/global city. In *Urban world/global city*.
- COFEPRIS. (2023). *Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios*. <https://www.gob.mx/cofepris>
- CONAGUA. (2015a). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Vallde De Puebla (2104), Estado de Puebla*. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5424749&fecha=09/02/2016#gsc.tab=0

- CONAGUA. (2015b). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle De Puebla (2104), Estado de Puebla*. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5424749&fecha=09/02/2016#gsc.tab=0
- CONAGUA. (2018). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle De Puebla (2104) Estado de Puebla*. (Vol. 3, Issue September).
- CONAGUA. (2020). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de Puebla (2104), estado de Puebla (Issue ii)*. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/puebla/DR_2104.pdf
- CONAGUA. (2023). *Comisión Nacional del Agua*. <https://www.gob.mx/conagua>
- CONAGUA, & SEMARNAT. (2016a). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Eficiencia Energética, Uso Eficiente y Ahorro de la Energía. In *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. <http://mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro25.pdf>
- CONAGUA, & SEMARNAT. (2016b). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Estructuras Tarifarias. In *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. <http://mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro25.pdf>
- CONAGUA, SEMARNAT, & IMTA. (2021). *Programa de Indicadores de Gestión de Organismo Operadores*. <http://www.pigoo.gob.mx/organismosoperadores.jsp>
- CONAGUA.SEMARNAT. (2018). *Estadísticas del Agua en México 2018*.
- CONANP, S. (2013). Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Volcán Tacaná. *Mexico City: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas*.
- CONEVAL, C. N. de E. de la P. de D. S. (2020). *Informe de pobreza y evaluación 2020*.
- Cordero y Torres, E. (1978). *Historia del Río San Francisco, Embobedamiento y Bulebard "Héroes 5 de Mayo."*
- Covarrubias-López, A. C., García-Suastegui, W. A., Valencia-Quintana, R., Avelino-Flores, F., Méndez-Bermúdez, A., & Handal-Silva, A. (2023). Human Impact in the Watershed of the Atoyac River in the Metropolitan Area of Puebla, Mexico. *Sustainability (Switzerland)*, 15(13). <https://doi.org/10.3390/su151310565>
- Daniela, H. (2022). *Activistas buscan demanda colectiva contra Agua de Puebla por servicio de mala calidad*. El Sol de Puebla. <https://www.elsoldepuebla.com.mx/local/activistas-buscan-demanda-colectiva-contra-agua-de-puebla-por-servicio-de-mala-calidad-8352378.html>
- Decker, E. H., Elliott, S., Smith, F. A., Blake, D. R., & Rowland, F. S. (2000). Energy and material flow through the urban ecosystem. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1), 685–740.
- Delgado-Ramos, G. C. (2014). El negocio del agua embotellada: apropiación y generación desigual de pasivos socioambientales * Economía y ecología. *Realidad Económica*, 281, 80–98. https://www.iade.org.ar/system/files/ediciones/realidad_economica_281.pdf
- Delgado-Ramos, G. C. (2015a). Complejidad e interdisciplina en las nuevas perspectivas socio-ecológicas: el caso de la ecología política urbana anclada en nociones metabólicas. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 17, 108–130. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.17.2015.1442>

- Delgado-Ramos, G. C. (2015b). Water and the political ecology of urban metabolism: the case of Mexico City. *Journal of Political Ecology*, 22(1), 98–114. <https://doi.org/10.2458/v22i1.21080>
- Delgado-Ramos, G. C. (2019). Real Estate Industry as an Urban Growth Machine: A Review of the Political Economy and Political Ecology of Urban Space Production in Mexico City. *Sustainability*, 11(7), 1980. <https://doi.org/10.3390/su11071980>
- Delgado-Ramos, G. C. (2021). Climate-Environmental Governance in the Mexico Valley Metropolitan Area: Assessing Local Institutional Capacities in the Face of Current and Future Urban Metabolic Dynamics. *World*, 2(1), 32–48. <https://doi.org/10.3390/world2010003>
- Delgado-Ramos, G. C., & Blanco, H. (2018). La transformación de la infraestructura de agua ante el Cambio Climático. In *Ciudades sensibles al cambio climático* (Primera ed, pp. 265–320).
- Delgado-Ramos, G. C., Maryke van, S., & Franco Villaseñor, E. (2018). Diálogo Mexicano de Talanoa. In *Animal Genetics* (Primera ed, Vol. 39, Issue 5). CEIICH.
- Delgado-Ramos Gian Carlo. (2021). Sobre la ecología política urbana: una revisión panorámica. In *Ecología política urbana ante el cambio climático* (FLACSO, pp. 23–36). FLACSO. <https://www.flacso.edu.ec/cambioclimatico/publicaciones/ecologia-politica-urbana-ante-el-cambio-climatico/#:~:text=Ante%20las%20desigualdades%20y%20relaciones%20de%20poder%20que,en%20ciudades%20de%20Am%C3%A9rica%20Latina%20y%20el%20Caribe.>
- Dessu, S. B., Melesse, A. M., Bhat, M. G., & McClain, M. E. (2014). Assessment of water resources availability and demand in the Mara River Basin. *Catena*, 115, 104–114. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.11.017>
- Diaz, J. L. (2011). El cerebro, enjambre de la conciencia. In *Encuentros con la complejidad* (pp. 178–198). Siglo XXI Editores.
- Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, 1 (2018). <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1120700020921110%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.reuma.2018.06.001%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.arth.2018.03.044%0Ahttps://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1063458420300078?to-ken=C039B8B13922A2079230DC9AF11A333E295FCD8>
- DOF, D. O. de la F. (2019). *ACUERDO por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del acuífero Valle de Puebla, clave 2104, en el Estado de Puebla, Región Hidrológico-Administrativa Balsas*.
- Domínguez-Mariani, E., Carrillo-Chávez, A., Ortega, A., & Orozco-Esquivel, M. T. (2004). Wastewater reuse in Valsequillo agricultural area, Mexico: Environmental impact on groundwater. *Water, Air, and Soil Pollution*, 155(1–4), 251–267. <https://doi.org/10.1023/B:WATE.0000026531.37877.f8>
- du Plessis, C. (2008). Understanding cities as social-ecological systems. *World Sustainable Building Conference*.
- Duan, C., & Chen, B. (2016). Energy-water-carbon Nexus at Urban Scale. *Energy Procedia*, 104, 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.032>
- Duvigneaud, P., & Denayeyer-De Smet, S. (1977). The Brussels urban ecosystem. International Biological Programme. *International Government Publication, Paris, France*.

- Ellis, J. B., & Revitt, D. M. (2002). Sewer losses and interactions with groundwater quality. *Water Science and Technology*, 45(3), 195–202. <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0079>
- England, J. L. (2016). *Entropy and Irreversible Change: The Thermodynamics of Evolutionary Adaptation [Video]*. Chautauqua Lecture Videos. 3. <https://encompass.eku.edu/chautauquavideos/3>
- Erkman, S. (1997). Industrial ecology: An historical view. *Journal of Cleaner Production*, 5(1–2), 1–10. [https://doi.org/10.1016/s0959-6526\(97\)00003-6](https://doi.org/10.1016/s0959-6526(97)00003-6)
- Ernstson, H., & Swyngedouw, E. (2018). Urban political, ecology in the anthropo-obscene: Interruptions and possibilities. In *Urban Political Ecology in the Anthropo-obscene: Interruptions and Possibilities* (pp. 1–272). <https://doi.org/10.4324/9781315210537>
- EscenarioTlaxcala. (2022, February 20). *Así pierde su verde La Malinche: De 2000 a 2020 vista satelital lo muestra*.
- Estrada, A., García, W. A., Chavez, E., Castelan, R., Zayas, M. T., Treviño, S., Diaz, A., & Handal, A. (2022). Mixture of Toxic Metals and Volatile Organic Compounds in a River Induces Cytotoxicity. *Journal of Chemistry*, 2022, 1285826. <https://doi.org/10.1155/2022/1285826>
- Estrada-Rivera, A., Díaz Fonseca, A., Treviño Mora, S., García Suastegui, W. A., Chávez Bravo, E., Castelán Vega, R., Morán Perales, J. L., & Handal-Silva, A. (2022). The Impact of Urbanization on Water Quality: Case Study on the Alto Atoyac Basin in Puebla, Mexico. *Sustainability (Switzerland)*, 14(2), 1–15. <https://doi.org/10.3390/su14020667>
- Eubanks, M. W. (2006). Corn: Origin, History, Technology and Production. *Economic Botany*. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2006\)60\[200a:cohtap\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2006)60[200a:cohtap]2.0.co;2)
- Eurostat. (2001). Economy-wide material flow accounts and derived indicators. In *Fuel*. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.07.028>
- Fan, J.-L., Kong, L.-S., Wang, H., & Zhang, X. (2019). A water-energy nexus review from the perspective of urban metabolism. *Ecological Modelling*, 392(May 2018), 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.11.019>
- Fernández Durán, R. (1995). El Antropoceno (La crisis ecológica se hace mundial). In *Papers on Social Representations: Electronic Version* (Vol. 4, Issue 2).
- Fernández, J. E. (2010). *Urban metabolism of ancient Caral, Peru*. Massachusetts Institute of Technology: Cambridge, MA.
- Ferrao, P., & Fernández, J. E. (2013). *Sustainable Urban Metabolism* (MIT Press). The Massachusetts Institute of Technology Press.
- Fischer-Kowalski, M. (1997a). Society's metabolism: on the childhood and adolescence of a rising conceptual star. In *The International Handbook of Environmental Sociology* (pp. 119–137). Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.4337/9781843768593>
- Fischer-Kowalski, M. (1997b). The international handbook of environmental sociology. In *Society's metabolism: on the childhood and adolescence of a rising conceptual star*. Elgar Cheltenham.
- Fischer-Kowalski, M. (1998a). Society's metabolism: The intellectual History of Materials Flow Analysis, Part I, 1870-1970. *Journal of Industrial Ecology*, 2(1), 61–78. <https://doi.org/doi:10.1162/jiec.1998.2.1.61>

- Fischer-Kowalski, M. (1998b). Society's metabolism The intellectual History of Materials Flow Analysis, Part II, 1970-1998. *Journal of Industrial Ecology*, 2(1), 61–78. <https://doi.org/doi:10.1162/jiec.1998.2.1.61>
- Fischer-Kowalski, M., & Haberl, H. (1997). Tons, joules, and money: Modes of production and their sustainability problems. *Society and Natural Resources*, 10(1), 61–85. <https://doi.org/10.1080/08941929709381009>
- Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., & Pallua, I. (2014). A sociometabolic reading of the anthropocene: Modes of subsistence, population size and human impact on Earth. *Anthropocene Review*, 1(1), 8–33. <https://doi.org/10.1177/2053019613518033>
- Flores-Márquez, E. L., Jiménez-Suárez, G., Matínez-Serrano, R. G., Chávez, R. E., & Silva-Pérez, D. (2006). Study of geothermal water intrusion due to groundwater exploitation in the Puebla Valley aquifer system, Mexico. *Hydrogeology Journal (2006)*, 14, 1216–1230. <https://doi.org/10.1007/s10040-006-0029-0>
- Flórez, A., & Thomas, J. (1987). *La teoría general de sistemas*. IV(1), 111–137.
- Forman, R. T. T. (2014). *Urban Ecology: science of cities* (Vol. 1). Cambridge University Press.
- Galef, B. G. (1992). The question of animal culture. *Human Nature*. <https://doi.org/10.1007/BF02692251>
- Gandy, M. (2004). Rethinking urban metabolism: water, space and the modern city. *City*. <https://doi.org/10.1080/1360481042000313509>
- García Aguilar, J. M., & Salcedo de Lara, M. C. (2003). Esferas terrestres: revisión de 16 conceptos usados en la enseñanza de las Ciencias de la tierra, Las. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 11(1), 22–27.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, E., & CONABIO. (1998). Precipitación total anual. In *Precipitación total anual*.
- García, R. (2000). *El conocimiento en construcción: De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos* (Primera ed). Editorial Gedisa. <http://www.gedisa.com>
- García, R. (2006). *Sistemas complejos* (Primera ed). Editorial Gedisa, S.A. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- García-Marín, A., Jiménez-Hornero, F., & Ayuso, J. L. (2008). LA CRITICALIDAD AUTOORGANIZADA Y EL ANALISIS DE DATOS HISTÓRICOS DE LLUVIA EN ORDOBA (ANDALUÍA). *Ingeniería Del Agua*.
- García-Serna, M., Morales-Pinzón, T., & Guerrero Erazo, J. (2014). Análisis de Flujos de Agua en Áreas Metropolitanas desde la Perspectiva del Metabolismo Urbano. *Luna Azul*, 39, 234–249. <https://doi.org/10.17151/luaz.2014.39.14>
- Gárfias, J., Arroyo, N., & Aravena, R. (2010). Hydrochemistry and origins of mineralized waters in the Puebla aquifer system, Mexico. *Environmental Earth Sciences*, 59(8), 1789–1805. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0161-y>
- Giampietro, M., & Mayumi, K. (2000). Multiple-scale integrated assesment of societal metabolism: Introducing the approach. *Population and Environment*, 22(2), 109–153. <https://doi.org/10.1023/A:1026691623300>
- Gigch, J. P. Van. (1987). *Teoría General de Sistemas*. Trillas.
- Girardet, H. (2004). *Cities People Planet*. John Wiley & Sons Ltd.

- Gleick, P. H., & Palaniappan, M. (2010). Peak water limits to freshwater withdrawal and use. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(25), 11155–11162. <https://doi.org/10.1073/pnas.1004812107>
- González de Molina, M., & Toledo, V. M. (2014). *The Social Metabolism: A Socio-Ecological Theory of Historical Change* (Vol. 3). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06358-4>
- González, J. A. (2018). *¡No está muerto quien pelea! Homenaje a la obra de Rolando V. García Boutigue* (Issue February 2020). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gridi-Papp, M., Rand, A. S., & Ryan, M. J. (2006). Complex call production in the túngara frog. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/441038a>
- Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). Global change and the ecology of cities. In *Science* (pp. 756–760). <https://doi.org/10.1126/science.1150195>
- Gutiérrez-Espinosa, G. M. (2016). *Material Flow Analysis of the Urban Water System in Tepic Mexico: Integral Evaluation and Improvement Options*. <http://www.gfeu.org>
- Haberl, H. (2001a). The Energetic Metabolism of Societies Part I: Accounting Concepts. *Journal of Industrial Ecology*, 5(1), 11–33. <https://doi.org/10.1162/108819801753358481>
- Haberl, H. (2001b). The Energetic Metabolism of Societies: Part II: Empirical Examples. *Journal of Industrial Ecology*, 5(2), 71–88. <https://doi.org/10.1162/10881980152830141>
- Hall, R. P., Van Koppen, B., & Van Houweling, E. (2014). The Human Right to Water: The Importance of Domestic and Productive Water Rights. *Science and Engineering Ethics*, 20(4), 849–868. <https://doi.org/10.1007/s11948-013-9499-3>
- Hendriks, C., Obernosterer, R., Müller, D., Kytzia, S., Baccini, P., & Brunner, P. H. (2000). Material flow analysis: a tool to support environmental policy decision making. Case-studies on the city of Vienna and the Swiss lowlands. *Local Environment*, 5(3), 311–328.
- Hernández, J. H. C. (2021). Historical origin of water pollution and legal analysis of the Atoyac river. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 12(1), 133–191. <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2021-01-05>
- Heynen, N., Kaika, M., & Swyngedouw, E. (2006). In the Nature of Cities: Urban Political Ecology and the Politics of Urban Metabolism. In *Urban Geography* (Vol. 28, Issue 2). <https://doi.org/10.2747/0272-3638.28.2.206>
- Hirschberg, J. (1978). La Fundación De Puebla De Los Ángeles—Mito Y Realidad. *Historia Mexicana*, 28(2), 185–223.
- Hong, Y., & Park, J. (2023). Exploring circular water options for a water-stressed city: Water metabolism analysis for Paju City, South Korea. *Sustainable Cities and Society*, 89, 104355.
- Huang, C. L., Vause, J., Ma, H. W., & Yu, C. P. (2013). Urban water metabolism efficiency assessment: Integrated analysis of available and virtual water. *Science of the Total Environment*, 452–453, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.044>
- Huang, S.-L. (1998). Urban ecosystems, energetic hierarchies, and ecological economics of Taipei metropolis. *Journal of Environmental Management*, 52(1), 39–51.
- Ibarrán, M. E., Saldaña-Vázquez, R. A., & Pérez-García, T. (2021). The Cost of Pollution in the Upper Atoyac River Basin: A Systematic Review. *ArXiv Preprint ArXiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.00095>

- IBERO Puebla, N. (2022). *Los otros costos del deterioro en el Atoyac*. https://www.iberopuebla.mx/noticias_y_eventos/noticias/los-otros-costos-del-deterioro-en-el-atoyac
- INECC. (2016). *Programa de gestión federal para mejorar la calidad del aire de la Megalópolis* (Vol. 15, Issue 2).
- INEGI. (2016). *Anuario estadístico y geográfico de Puebla 2016*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022 - Impacts, Adaptation and Vulnerability - Summary for Policymakers*. In P. Hans-Otto, D. Roberts, M. M. B. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbelck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lössche, V. Möller, A. Okem, & B. Rama (Eds.), *ipcc*. www.ipcc.ch
- Johansen Bertoglio, O. (1993). *Introducción a la teoría general de sistemas* (Octava reimpresión). Limusa.
- Juárez Flores, J. J. (2015). Entre fulgores de ángeles y máculas de tizne: Energía, metabolismo y degradación ecológica en el Valle de Puebla-Tlaxcala, 1530-1820. *Historia Caribe*, 10(26), 175–210. <https://doi.org/10.15648/hc.26.2015.7>
- Julián, C., & Álvarez, D. (2014). Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de las ciudades / Urban metabolism: a tool for the sustainability of cities. *INTERdisciplina*, 2(2), 51–70.
- Kane, A. E., & Sinclair, D. A. (2019). Epigenetic changes during aging and their reprogramming potential. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 54:1, 61–83. <https://doi.org/10.1080/10409238.2019.1570075>
- Kennedy, C. A., Stewart, I., Facchini, A., Cersosimo, I., Mele, R., Chen, B., Uda, M., Kansal, A., Chiu, A., & Kim, K. (2015). Energy and material flows of megacities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(19), 5985–5990.
- Kennedy, C., Cuddihy, J., & Engel-yan, J. (2007a). The Changing Metabolism of Cities. *Journal of Industrial Ecology*, 11(2).
- Kennedy, C., Cuddihy, J., & Engel-yan, J. (2007b). *The Changing Metabolism of Cities*. 11(2).
- Kenway, S., Gregory, A., & McMahon, J. (2011). Urban water mass balance analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 15(5), 693–706. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00357.x>
- Kenway, S. J. (2013). *The Water-Energy Nexus and Urban Metabolism - Connections in Cities* (Issue 100).
- Kopps, A. M., Ackermann, C. Y., Sherwin, W. B., Allen, S. J., Bejder, L., & Krützen, M. (2014). Cultural transmission of tool use combined with habitat specializations leads to fine-scale genetic structure in bottlenose dolphins. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.3245>
- Krebs, J. R. (2009). The gourmet ape: Evolution and human food preferences. *American Journal of Clinical Nutrition*, 90(3), 707–711. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.27462B>
- Kumar, P., & Saroj, D. P. (2014). Water-energy-pollution nexus for growing cities. *Urban Climate*, 10(P5), 846–853. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.07.004>
- Landa-cansigno, O., Behzadian, K., & Cano, D. D. (2018). *Water-Energy-Pollutant Nexus Assessment of Water Reuse Strategies in Urban Water Systems using Metabolism Based Approach*. 44(0).
- Landa-Cansigno, O., Behzadian, K., Davila-Cano, D. I., & Campos, L. C. (2020). Performance assessment of water reuse strategies using integrated framework of urban water metabolism and water-energy-pollution nexus. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(5), 4582–4597. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05465-8>

- Lee, M., Keller, A. A., Chiang, P. C., Den, W., Wang, H., Hou, C. H., Wu, J., Wang, X., & Yan, J. (2017). Water-energy nexus for urban water systems: A comparative review on energy intensity and environmental impacts in relation to global water risks. *Applied Energy*, 205(June), 589–601. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.002>
- López Zamora, R. de J. (2013a). Gestión del agua urbana e industrialización en la ciudad de Puebla. *Desarrollo Local Sostenible*, 1–14.
- López Zamora, R. de J. (2013b). *Sujetos sociales, conflictos y gestión de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en el “espacio social-natural” de la ciudad de Puebla 1984-2010*. <http://www.eco.buap.mx/posgrado/index.php/publicaciones/tesis/item/sujetos-sociales-pequeñas-obras-hidraulicas-procesos-productivos-y-desarrollo-el-caso-de-los-jagueeyes-y-la-acuacultura-rural-en-tlaxcala>
- López Zamora, R. de J., & El Colegio de Tlaxcala, A. C. (2022). *La Privatización de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en la Ciudad de Puebla y Zona Conurbada: Gestión y Movimiento Social por el Agua en México* (Issue 1). Montiel & Soriano Editores S.A. de C.V.
- López-Vargas, R., Méndez-Serrano, A., Albores-Medina, A., Oropeza-Hernández, F., Hernández-Cadena, L., Mercado-Calderón, F., Alvarado-Toledo, E., Herrera-Morales, S., Arellano-Aguilar, O., García-Vargas, G., & Montero-Montoya, R. (2018). Oxidative stress index is increased in children exposed to industrial discharges and is inversely correlated with metabolite excretion of voc. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 59(7), 639–652. <https://doi.org/10.1002/em.22207>
- Loreto López, R. (2015). *Cartografía histórica de Puebla siglos XVI-XX*.
- Loreto-López, R. (2016). Escasez, guerras y desigualdad social. El proyecto modernizador del sistema de abasto hídrico de una ciudad mexicana: Puebla, siglos XVII-XX. *Agua y Territorio*, 7, 75. <https://doi.org/10.17561/at.v0i7.2964>
- Lovelock, J. E., & Rioja, A. J. (1983). *Gaia: una nueva visión de la vida sobre la tierra*. Hermann Blume Madrid.
- Luna Nemecio, J. (2015). El Metabolismo Urbano-Rural del Agua, actores sociales y gestión de los recursos hídricos público urbano de la ciudad de Cuatla, Morelos (2006-2013). *Revista de Geografía Espacios*, 5(10), 43–62. <https://doi.org/10.25074/07197209.10.695>
- Luna-Nemecio, J. (2021). *Sustentabilidad y economía política del agua en Morelos: Relaciones de poder, problemas e inconsistencias en la contabilidad hídrica oficial por parte del Estado mexicano*. LXIII Legislatura, C. de D. (2016). *La megalópolis: ideas, propuestas y paradojas* (Issue 5). <http://www5.diputados.gob.mx/index.php/esl/content/download/60606/306184/file/CE-SOP-IL-14-CIMegalopolisIdeasPropuestasyParadojas161010.pdf>
- Mancilla-Villa, Ó. R., Ortega-Escobar, H. M., Ramírez-Ayala, C., Uscanga-Mortera, E., Ramos-Bello, R., & Reyes-Ortigoza, A. L. (2011). Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(1), 39–48.
- Mandelbrot, B. B., & Mandelbrot, B. B. (1982). *The fractal geometry of nature (Vol. 1)*. WH freeman.
- Mankin, J. S., Seager, R., Smerdon, J. E., Cook, B. I., & Williams, A. P. (2019). Mid-latitude freshwater availability reduced by projected vegetation responses to climate change. *Nature Geoscience*, 12(12), 983–988. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0480-x>

- Martínez Morales, M., Salcedo, E. R., Hoyos, S. G., & Esteller, M. V. (2015). Simulación de diferentes alternativas de gestión de los recursos hídricos del acuífero de Puebla-Atoyac. *Ingeniería: Revista Académica de La Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán*, 19(1), 62–72.
- Martínez-Alier, J. (2003). Ecología Industrial y Metabolismo Socioeconómico: Concepto y evolución histórica. *Economía Industrial*, 3(351), 15–26. <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/351/Economia02.pdf>
- Martínez-Austria, P. F., & Vargas-Hidalgo, A. (2016). Modelo dinámico adaptativo para la gestión del agua en el medio urbano. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, VII, 139–154.
- Martinez-Tavera, E., Rodriguez-Espinosa, P. F., Shruti, V. C., Sujitha, S. B., Morales-Garcia, S. S., & Muñoz-Sevilla, N. P. (2017). Monitoring the seasonal dynamics of physicochemical parameters from Atoyac River basin (Puebla), Central Mexico: multivariate approach. *Environmental Earth Sciences*, 76(2). <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6406-2>
- Matthews, E., Amann, C., & Bringezu, S. (2000). The weight of nations: material outflows from industrial economies, 2000. In *World Resources Institute, Washington, DC*. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:THE+WEIGHT+OF+NATIONS+MATERIAL+OUTFLOWS+FROM+INDUSTRIAL+ECONOMIES#5>
- McCulligh, C., & Fregoso, G. V. (2019). Defiance from Down River: Deflection and dispute in the urban-industrial metabolism of pollution in Guadalajara. *Sustainability*, 11(22). <https://doi.org/10.3390/su11226294>
- McDonald, R. I., Weber, K. F., Padowskic, J., Boucher, T., & Shemie, D. (2016). Estimating watershed degradation over the last century and its impact on water-treatment costs for the world's large cities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(32), 9117–9122. <https://doi.org/10.1073/pnas.1605354113>
- Meng, F., Liu, G., Liang, S., Su, M., & Yang, Z. (2019). Critical review of the energy-water-carbon nexus in cities. *Energy*, 171, 1017–1032. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.048>
- Moleschott, J. (1852). *Der Kreislauf des Lebens. Physiologische Antworten auf J. Liebig's chemische Briefe*. Zabern.
- Moleschott, J. (2012). *Physiologie des Stoffwechsels in Pflanzen und Tieren*. BoD—Books on Demand.
- Mora, A., García-Gamboa, M., Sánchez-Luna, M. S., Gloria-García, L., Cervantes-Avilés, P., & Mahlknecht, J. (2021). A review of the current environmental status and human health implications of one of the most polluted rivers of Mexico: The Atoyac River, Puebla. *Science of the Total Environment*, 782, 146788. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146788>
- Mora, T., & Bialek, W. (2011). Are Biological Systems Poised at Criticality? In *Journal of Statistical Physics*. <https://doi.org/10.1007/s10955-011-0229-4>
- Morales-García, S. S., Rodríguez-Espinosa, P. F., Shruti, V. C., Jonathan, M. P., & Martínez-Tavera, E. (2017). Metal concentrations in aquatic environments of Puebla River basin, Mexico: natural and industrial influences. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(3), 2589–2604. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8004-3>
- Morin, E. (1977). *La nature de la nature* (Vol. 123). Seuil Paris.
- Mullins, P., Natalier, K., Smith, P., & Smeaton, B. (1999). Cities and consumption spaces. *Urban Affairs Review*, 35(1), 44–71.

- Murrieta, F. D. A., & Hernández, N. (2015). Las aristas de la urbanidad en la Megalópolis (Version preliminar). *Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública*, 185(January 2016), 24. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4072.0400>
- Musango, J. K., Currie, P. K., & Brent, A. C. (2016). Potential electricity futures for the City of Cape Town: A system dynamics approach. *4th Annual System Dynamics Conference*, 20.
- Napoletano, B. M., Paneque-Gálvez, J., Méndez-Lemus, Y., & Vieyra, A. (2019). Geographic Rift in the Urban Periphery, and Its Concrete Manifestations in Morelia, Mexico. *Journal of Latin American Geography*, 18(1), 38–64. <https://doi.org/10.1353/lag.2019.0002>
- Nelson, G., Rosegrant, M., Palazzo, A., & Gray, I. (2010). Food security, farming, and climate change to 2050: challenges to 2050 and beyond. *International Food Policy Research Institute (IFPRI)*, 66.
- Newcombe, K., Kalma, J. D., & Aston, A. R. (1978). The metabolism of a city: the case of Hong Kong. *Ambio*, 3–15.
- Newman, P. W. G. (1999). Sustainability and cities: Extending the metabolism model. *Landscape and Urban Planning*, 44(4), 219–226. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(99\)00009-2](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(99)00009-2)
- Nima, N., mostafa Tiz ghadam, Mehdi Zarghami, & Maryam Abbasi. (2023). *Urban Metabolism: Theory, Methods and Applications* (1st ed.). Springer Singapore. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-19-9123-3>
- Niza, S., Rosado, L., & Ferrdo, P. (2009). Urban metabolism methodological advances in urban material flow accounting based on the lisbon case study. *Journal of Industrial Ecology*, 13(3), 384–405. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2009.00130.x>
- Núñez, E. (2022, March 24). *15 mil habitantes de cuatro colonias no tienen servicio de agua, señalan que Concesiones integrales les ha cortado el servicio*. La Jornada de Oriente. <https://www.lajornada-deoriente.com.mx/puebla/concesiones-agua-colonias-del-sur/>
- El Derecho al Agua, 32 *Revue juridique de l'Environnement* 264 (2008). <https://www.ohchr.org/Documents/Publications/FactSheet35sp.pdf>
- Parnell, S., & Oldfield, S. (2014). The routledge handbook on cities of the global south. In *The Routledge Handbook on Cities of the Global South*. <https://doi.org/10.4324/9780203387832>
- Paul, R., Kenway, S., McIntosh, B., & Mukheibir, P. (2018). Urban Metabolism of Bangalore City: A Water Mass Balance Analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 22(6), 1413–1424. <https://doi.org/10.1111/jiec.12705>
- Paulo Henrique Prado Stefano, Roisenberg, A., Santos, M. R., Dias, M. A., & Montagner, C. C. (2022). Unraveling the occurrence of contaminants of emerging concern in groundwater from urban setting: A combined multidisciplinary approach and self-organizing maps. *Chemosphere*, 299. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134395>.
- Piaget, J. (1979). *Tratado de lógica y conocimiento científico*. Paidós.
- Pincetl, S., Chester, M., Circella, G., Fraser, A., Mini, C., Murphy, S., Reyna, J., & Sivaraman, D. (2014). Enabling future sustainability transitions: An urban metabolism approach to Los Angeles. *Journal of Industrial Ecology*, 18(6), 871–882.
- PNUMA. (2021). *El Peso de Las Ciudades en América Latina y el Caribe: Requerimientos Futuros de Recursos y Potenciales Rutas de Actuación*. <https://doi.org/10.18356/515d02d7-es>

- Podos, J., & Nowicki, S. (2004). Beaks, adaptation, and vocal evolution in Darwin's finches. In *BioScience*. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0501:BAAVEI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0501:BAAVEI]2.0.CO;2)
- Popper, K. (2014). *Conjectures and refutations: The growth of scientific knowledge*. routledge.
- PPD, P. de P. para el D. (2017). *Características de las Regiones Socioeconómicas del estado de Puebla*. <http://planeader.puebla.gob.mx/index.php/inicio/7-regiones>
- Preston, C. J. (2019). The Synthetic Age. In *The Synthetic Age*. <https://doi.org/10.7551/mitpress/11466.001.0001>
- Prigogine, I. (1995). Ciencia y azar. *Zona Erógena*, 23, 1–6.
- PROFEPA. (2023). *Procuraduría Federal de Protección al Ambiente*. <https://www.gob.mx/profepa>
- Puebla, E. S. de. (2017, December 28). *Alerta Cenapred actividad volcánica en La Malinche*. <https://www.periodicocentral.mx/2017/municipio/item/24297-alerta-cenapred-actividad-volcanica-en-la-malinche>
- Reddy, B. S. (2013). *Metabolism of Mumbai-expectations, impasse and the need for a new beginning*.
- Renouf, M. A., Serrao-Neumann, S., Kenway, S. J., Morgan, E. A., & Low Choy, D. (2017). Urban water metabolism indicators derived from a water mass balance – Bridging the gap between visions and performance assessment of urban water resource management. *Water Research*, 122. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.05.060>
- Retamal, M. L., Abey Suriya, K., Turner, A. J., & White, S. (2009). *Water energy nexus literature review*.
- Rivera González, B. (2020, May 6). Sarro en suministro de Agua de Puebla tapa tuberías de Santa Catarina, acusan. *Ángulo7*. <https://www.angulo7.com.mx/2020/05/06/acusan-sarro-en-tuberias-de-santa-catarina-causado-por-agua-de-puebla/>
- Rockström, J., Steffen, K., Noone, A., Persson, F., Chapin, I., Lambin, T. M., Lenton, M., Scheffer, C., Folke, H., Shellnhuber, B., Nikvist, C. A., De Wit, T., Hughes, S., Vander Leeuw, H., Rodhe, S., Sorlin, P. D., Snyder, R., Costanza, U., Svedin, M., ... Foley. (2009). Planetary Boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, XXXIII(2), 81–87. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Rodríguez-Espinosa, P. F., Morales-García, S. S., Jonathan, M. P., Navarrete-Lopez, M., Bernal-Campos, A. A., Gonzales-Cesar, A., & Muñoz-Sevilla, N. P. (2011). Servicio Ambiental de la Presa Valsequillo para las cuencas de los Ríos del Atoyac-Zahuapan y Alseseca, Puebla, Tlaxcala, México. *Inst Nac Ecol y Cambio Clim (INECC) Secr Medio Ambient y Recur Na*, 1–10.
- Rodríguez-Espinosa, P. F., Ochoa-Guerrero, K. M., Milan-Valdes, S., Teran-Cuevas, A. R., Hernandez-Silva, M. G., San Miguel-Gutierrez, J. C., & Diaz, S. C. (2022). Origin of a Recent Sinkhole (Socavón) in an Agricultural Field Central Mexico. Concurrence of Natural and Anthropogenic Conditions. *SSRN Electronic Journal*, November, 1–15. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3979507>
- Rodríguez-Espinoza, P. F., Morales-García, S. S., Jonathan, M. P., Navarrete-Lopez, M., Bernal-Campos, A. A., Gonzales, C., & Muñoz-Sevilla, N. P. (2011). *Servicio Ambiental de la Presa Valsequillo para las cuencas de los Ríos del Atoyac-Sahuapan y Alseseca , Puebla , Tlaxcala , México* . Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climatico (INECC). Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2011_cnch2_mon_prodriguez.pdf
- Rojas-Ramírez, J. J. P. (2019). Periurbanity in metropolitan zones of Guadalajara and Ocotlan, Jalisco. *Bitacora Urbano Territorial*, 29(1), 23–32. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v29n1.67254>

- Rosado, L., Niza, S., & Ferrão, P. (2014). A Material Flow Accounting Case Study of the Lisbon Metropolitan Area using the Urban Metabolism Analyst Model. *Journal of Industrial Ecology*. <https://doi.org/10.1111/jiec.12083>
- Rzedowski, J. (1994). Geographical affinities of the riparian trees of Mexico. *Mémoires Société de Biogéographie*, 3a(4), 37–44.
- Salazar, R., Rojano, A., & López, I. (2012). Energy and environmental costs related to water supply in Mexico City. *Water Science and Technology: Water Supply*, 12(6), 768–772. <https://doi.org/10.2166/ws.2012.051>
- Salcedo Sánchez, E. R., Garrido Hoyos, S. E., Esteller, M. V., Martínez Morales, M., & Ocampo Astudillo, A. (2017). Hydrogeochemistry and water-rock interactions in the urban area of Puebla Valley aquifer (Mexico). *Journal of Geochemical Exploration*, 181, 219–235. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.07.016>
- Salcedo-Sánchez, E. R., Esteller, M. V., Garrido Hoyos, S. E., & Martínez-Morales, M. (2013). Groundwater optimization model for sustainable management of the Valley of Puebla aquifer, Mexico. *Environmental Earth Sciences*, 70(1), 337–351. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-2131-z>
- Salcedo-Sánchez, E. R., Ocampo-Astudillo, A., Garrido-Hoyos, S. E., & Otazo-Sánchez, E. M. (2020). Effects on Groundwater Quality of the Urban Area of Puebla Aquifer. In E. M. Otazo-Sánchez, A. E. Navarro-Frómata, & V. P. Singh (Eds.), *Water Availability and Management in Meico* (1st ed., pp. 201–214). Springer International Publishing.
- Schnoor, J. L. (2011). Water-energy nexus. *Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1021/es2016632>
- Schremmer, C., & Stead, D. (2009). Sustainable urban metabolism for Europe (SUME). *World Bank's Fifth Urban Research Symposium Marseille, France June 28e30*.
- Scott, C. A. (2011). The water-energy-climate nexus: Resources and policy outlook for aquifers in Mexico. *Water Resources Research*, 47(12). <https://doi.org/10.1029/2011WR010805>
- Secretaría de Economía. (2020). *Data México*. <https://datamexico.org/>
- SEDATU, SEGOB, & CONAPO. (2018). *Sistema Urbano Nacional 2018*. <https://www.google.com.mx/maps/place/México/>
- SEGOB, SEDATU, CONAPO, & INEGI. (2015). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015*.
- SENER. (2019). *Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional, 2018*.
- Serrao-Neumann, S., Renouf, M. A., Morgan, E., Kenway, S. J., & Low Choy, D. (2019). Urban water metabolism information for planning water sensitive city-regions. *Land Use Policy*, 88(February), 104144. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104144>
- Shruti, V. C., Jonathan, M. P., Rodriguez-Espinosa, P. F., & Rodríguez-González, F. (2019). Microplastics in freshwater sediments of Atoyac River basin, Puebla City, Mexico. *Science of the Total Environment*, 654, 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.054>
- Sieferle, R. P. (2001). The subterranean forest: energy systems and the industrial revolution. In *The subterranean forest: energy systems and the industrial revolution*. White Horse Press. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20023179820>

- Sieferle, R. P. (2011). Cultural evolution and social metabolism. *Geografiska Annaler, Series B: Human Geography*, 93(4), 315–324. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0467.2011.00385.x>
- SOAPAP. (2023). *Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Puebla*. <https://www.soapap.gob.mx/>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., De Vries, W., De Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramathanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015a). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223). <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., De Vries, W., De Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramathanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015b). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223). <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Sterelny, K. (2006). The evolution and evolvability of culture. *Mind and Language*. <https://doi.org/10.1111/j.0268-1064.2006.00309.x>
- Swyngedouw, E., & Heynen, N. C. (2003). Urban political ecology, justice and the politics of scale. In *Antipode*. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8330.2003.00364.x>
- Tecuanhuey Sandoval, A. (1994). *Cronología Política del Estado de Puebla 1910 - 1991*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Timmerman, P., & White, R. (1997). Megahydropolis: coastal cities in the context of global environmental change. *Global Environmental Change*, 7(3), 205–234.
- Toledo, V., & González de Molina, M. (2007). El metabolismo social: las relaciones entre la sociedad y la naturaleza. ... En *Las Ciencias Sociales*, 1–23. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2391582>
- Toledo, V. M. (2015). ¿De qué hablamos cuando hablamos de sustentabilidad? Una propuesta ecológico política. *INTERdisciplina*, 7, 35–55. vtoledo@cieco.unam.mx
- Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. (2008). *La Memoria Biocultural*. Icaria. <https://www.socla.co/wp-content/uploads/2014/memoria-biocultural.pdf%5Cnhttp://www.unich.edu.mx/wp-content/uploads/2013/09/Art.-Notas-a-la-Memoria-Biocultural-de-Victor-Toledo.pdf>
- Townsend, D. A., Sušnik, J., & van der Zaag, P. (2020). Domestic water supply vulnerability to climate change and the role of alternative water sources in Kingston, Jamaica. *Atmosphere*, 11(12), 1–21. <https://doi.org/10.3390/atmos11121314>
- UN. (1986). *Declaration on the Right to Development*. <https://www.ohchr.org/en/professionalinterest/pages/righttodevelopment.aspx>
- UN. (2010). *Resolución aprobada por la Asamblea General el 28 de julio de 2010. 64/292. El derecho humano al agua y el saneamiento. 660, 9–11.*
- UN. (2014a). La situación demográfica en el mundo. Informe conciso. *Madrid: Departamento de Asuntos Económicos y Sociales*, 1–30. <https://doi.org/www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/trends/.../es.pdf>
- UN. (2014b). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights, Departement of Economic and Social Affairs. In *New York, United*. <https://doi.org/10.4054/DemRes.2005.12.9>
- UN. (2018a). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. In *Department of Economic and Social Affairs* (Vol. 12). <https://doi.org/10.4054/demres.2005.12.9>

- UN HABITAT. (n.d.). *The Right to the City: Bridging the Urban Divide*. Retrieved August 19, 2023, from <https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-05/wuf-5.pdf>
- UN, U. N. (1979). *Convention on the Elimination of All Forms of Discrimination against Women*. <https://www.un.org/womenwatch/daw/cedaw/text/econvention.htm#article1>
- UN, U. N. (2018b). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (Key facts). *United Nations Economic & Social Affairs*, 1–2.
- UN, U. N., & DEPA, D. of E. and S. A. (2018). The World 's Cities in 2018. In *The World's Cities in 2018 - Data Booklet (ST/ESA/SER.A/417)*.
- UNEP. (2013). *City-Level Decoupling Urban resource flows*. <https://doi.org/978-92-807-3298-6>
- UNEP. (2018). The Weight of Cities: Resource Requirements of Future Urbanization. In *International Resource Panel*. www.karlschulschenk.com%0Awww.internationalresourcepanel.org
- UNESCO. (1977). *United Nations Water Conference Resolutions* (Vol. 1977, Issue March). <http://www.ielrc.org/content/e7701.pdf>
- Un-Habitat. (2021). *Global Environment for Cities-GEO for Cities: Towards Green and Just Cities*.
- UN-Water. (2013). *Water Security & the Global Water Agenda* (Issue 9).
- Valeria, G. (2019, August 9). *Medidores de Agua de Puebla significan otro sangrado más a la población: ASA*. Diario Cambio de Puebla. <https://www.diariocambio.com.mx/2019/secciones/metropolis/item/27684-medidores-de-agua-de-puebla-significan-otro-sangrado-mas-a-la-poblacion-asa>
- Vanegas, L. (2013). *Breve historia de Puebla*.
- Vargas Castro, D. A. (2017). *Gestión y análisis de conflictos por agua en Puebla*. BUAP.
- Vargas Castro, D. A., López Romero, A., Domínguez Cuanal, D. del C., & López Vargas, L. V. C. (2021). Discriminación de precios en las tarifas de agua potable en la ciudad de Puebla. *Aqua-LAC*, 13(1), 58–80. <https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2021-v13-1-05>
- Venkatesh, G., Chan, A., & Brattebø, H. (2014). Understanding the water-energy-carbon nexus in urban water utilities: Comparison of four city case studies and the relevant influencing factors. *Energy*, 75, 153–166. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.111>
- Villarroel Walker, R., Beck, M. B., Hall, J. W., Dawson, R. J., & Heidrich, O. (2014). The energy-water-food nexus: Strategic analysis of technologies for transforming the urban metabolism. *Journal of Environmental Management*, 141, 104–115. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.054>
- Wachsmuth, D. (2012). Three Ecologies: Urban Metabolism and the Society-Nature Opposition. *Sociological Quarterly*. <https://doi.org/10.1111/j.1533-8525.2012.01247.x>
- Weisz, H. (2007). Combining Social Metabolism and Input-Output Analyses to Account for Ecologically Unequal Trade. In J. M. A. Alf Hornborg, John Robert McNeill (Ed.), *Rethinking Environmental History: World-system History and Global Environmental Change* (Ilustrada, p. 283 a 306 de 408).
- Wolman, A. (1965). The Metabolism of Cities. *Scientific American*, 213(3), 178–193. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Yarza de De la Torre, E. (2003). Los volcanes del sistema volcánico transversal. *Investigaciones Geográficas*, 50, 221–234.
- Zahavi, D. (2003). *Husserl's phenomenology*. Stanford University Pres.

- Zhang, Y. (2013). Urban metabolism: a review of research methodologies. *Environmental Pollution (Barking, Essex : 1987)*, 178, 463–473. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.052>
- Zucchetto, J. J. (1975). *Energy basis for Miami, Florida, and other urban systems*. University of Florida, Gainesville, FL 32601.

A1 ANEXO METODOLÓGICO

En el presente anexo se describe con detalle las metodologías realizadas para la consecución de los tres objetivos de la investigación.

A1.1 Obtención de datos

La obtención de los datos se realizó por métodos diversos, ya que los objetivos tienen una cota de tiempo longitudinal y transversal. Por otro lado, la información hídrica es generada por instituciones diversas, con métodos diversos, y para la presente investigación también utilizó información generada a partir de encuestas para los usuarios del Organismo Operador, y negocios pequeños de purificación de agua, e información procesada conforme la norma NMX.

A1.1.2 Revisión bibliográfica y documental para obtención de datos en el periodo de tiempo longitudinal

Para la obtención de datos en el periodo de tiempo entre 1950 y 2018, se realizó una consultó principalmente el Archivo Histórico Municipal y en el Repositorio Físico de Tesis BUAP, aunque también se buscó información de instituciones como INEGI y PIGOO de CONAGUA. Los procesos de búsqueda presenciales y mediante el portal de transparencia se obstaculizaron por el cese de las actividades en la pandemia de COVID-19. En el procesamiento de la información se homogenizaron las unidades a $\text{Hm}^3/\text{año}$ y se ordenó de forma cronológica para realizar series de datos y gráficas que mostraran la evolución de la apropiación del agua en Puebla en el periodo estudiado (Cuadro 12).

Cuadro 12 Fuentes de información para el periodo de 1950 a 2018

Fuente	Comentario
Archivo histórico municipal	El Archivo Histórico Municipal fue una de las principales fuentes de información, ya que los informes municipales del Municipio de Puebla a partir de 1951 contienen información cuantitativa y cualitativa útil para aproximarse al desarrollo del metabolismo hídrico en el transcurso del tiempo.
Repositorio físico de tesis de la BUAP	En las tesis desde 1950 en adelante que se consultaron se encontró información útil que rellenó huecos de la información del archivo histórico municipal. En estas tesis se corroboró la misma información de los documentos. Y hubo información de proyectos hídricos que no se realizaron para el municipio de Puebla, pero que fueron pensados para solucionar los problemas hídricos.

Fuente: Elaboración propia

También se recabó información de los metros de tubería instalada de servicio de agua potable y drenaje, la población, el tamaño de la ciudad, registros de precipitación y temperatura de las estaciones climatológicas ubicadas en la ciudad de Puebla. Respecto a la información cualitativa se buscó información de los procesos relacionados con el metabolismo urbano, es decir, procesos del crecimiento de la ciudad en relación con el agua como las obras hídricas de la red de agua potable y drenaje, las colonias donde se ubicaron dichas obras, la industrialización de la ciudad, políticas de crecimiento poblacional, entre otras. La información cualitativa se ordenó de forma cronológica para estudiarlo a la par de la serie de datos cuantitativa conforme a su sincronía de eventos.

A1.1.3 Recolección de datos para modelo de Metabolismo Hídrico Urbano en el periodo de tiempo transversal

Se recabó información en REPDA de CONAGUA, mediante la plataforma de transparencia para SOAPAP, INEGI, en el Ayuntamiento de Puebla para conocer información hídrica de las juntas auxiliares, en CFE y SENER para obtener información de consumo energético, también se buscó in-

formación en consultorías privadas, y se incluyeron catálogos comerciales de tuberías para aproximar el cálculo del peso de la tubería en la red. La búsqueda que requirió contacto personal y del portal de transparencia se vio afectado por la pandemia de COVID-19.

A1.1.3.1 Contacto personal y transparencia

Se realizó un acercamiento con el personal del SOAPAP y con la empresa de Agua de Puebla, donde se expuso el objetivo de la investigación y se justificó por qué se requería información de todos los procesos del sistema. Se logró un acuerdo con el personal de SOAPAP para obtener la información mediante el portal de transparencia, y se obtuvo directamente información cartográfica de las zonas y subsistemas que opera la empresa de agua. También se estableció contacto personal con una consultoría relacionada con obras hídricas, con el fin de obtener guía en el lenguaje hídrico. Se contactó a activistas en defensa del Derecho Humano al Agua. Todos los procesos de interacción personal se obstaculizaron por las consecuencias de la pandemia de COVID-19.

Gran parte de la información se obtuvo mediante transparencia, con previo acuerdo con el personal de SOAPAP. Las solicitudes en la plataforma de transparencia se obstaculizaron por la pandemia por COVID-19, generando una tardanza de 1 año y 3 meses entre solicitud y respuesta.

En la ciudad de Puebla se vive un ambiente conflictivo en el tema hídrico, con una pugna entre la empresa de agua y activistas que luchan entre la privatización y desprivatización del sistema hídrico, y sus consecuencias. El conflicto provoca desconfianza de parte de la empresa de agua en la entrega de información sensible a críticas. Del lado activista, la desunión y los intereses propios de cada grupo genera desconfianza y se convierte en un obstáculo para conseguir información por este medio. Además de que varios grupos activistas sesgan su lucha hacia temas político-partidistas.

A1.1.4 Encuestas aplicadas para la obtención de información

La obtención de información mediante encuestas fue la alternativa para sortear los obstáculos que representó la pandemia de COVID-19, y para ello se diseñaron dos encuestas que recolectaron información la cuantitativa y cualitativa. La primera para conocer la percepción en los usuarios del servicio de agua que brinda el organismo operador, y la segunda para aproximarse a la operación de los negocios pequeños de purificación de agua. Las dos encuestas se describirán a continuación.

A1.1.4.1 Encuesta de percepción de los consumidores sobre el servicio de agua en la vivienda

La primera encuesta consistió en 30 preguntas dirigidas al público general para recolectar información de su percepción acerca del servicio de agua potable y alcantarillado y su consumo del agua en las viviendas. Se distribuyó en línea usando Google Forms⁸¹, los informantes se seleccionaron utilizando el método de bola de nieve⁸². La encuesta se escribió en lenguaje coloquial con respuestas en opción múltiple acompañado con imágenes para facilitar el entendimiento del público no especializado. Se estructuró de acuerdo con diferentes ejes temáticos que incluyeron la información de la estructura hídrica de la vivienda, los hábitos de almacenamiento de agua, los hábitos de consumo, el consumo de agua transportada en camión cisterna y agua embotellada. Se aplicó a 256 residentes de viviendas en la ciudad.

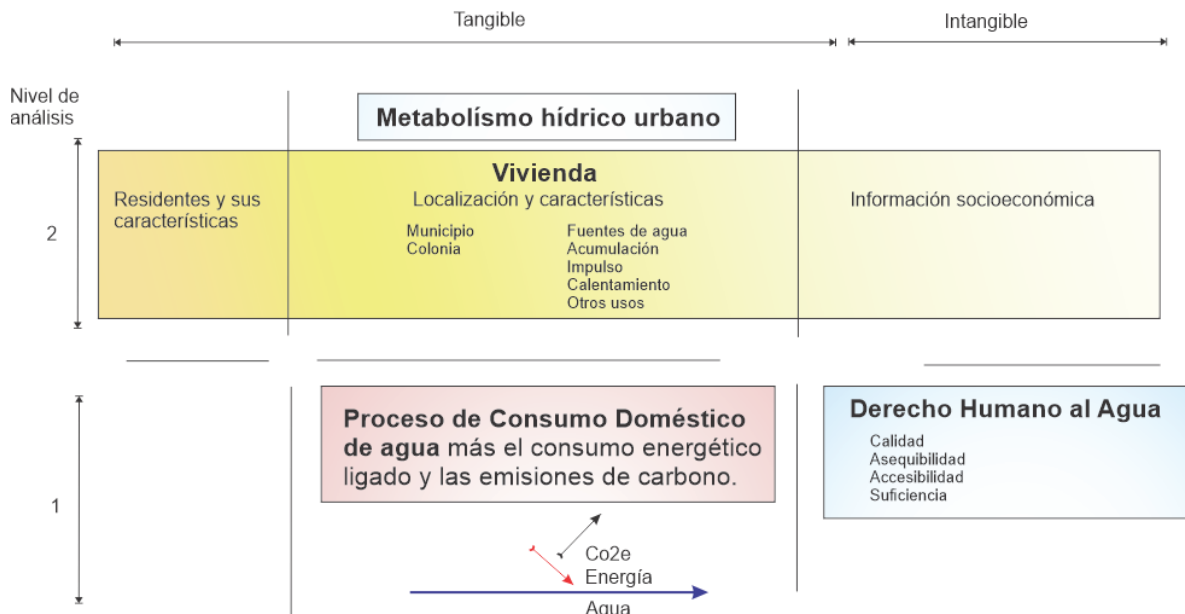
Las preguntas se plantearon centrándose en los subsistemas del primer nivel de análisis. Es decir, se enfocaron en conocer aspectos del Metabolismo Hídrico Urbano y el Nexa Agua-Energía-

⁸¹ Los Formularios de Google (en inglés, Google Forms) es un software de administración de encuestas que se incluye como parte del conjunto gratuito de Google Docs Editor basado en la web que ofrece Google. La liga de la encuesta es ((liga: https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfRlOKB6i5WSg9Rxiv-K_CYPfPp-DkDLFHUyyoROgTalhSAs5Q/viewform?usp=sf_link).

⁸² También es conocido como muestreo en cadena. Es un método de muestreo no probabilístico donde un conjunto reducido de sujetos recluta a futuros sujetos de entre sus conocidos. De este modo la muestra estadística crece con un efecto de bola de nieve o efecto dominó.

Carbono en la vivienda, junto con aspectos del Derecho Humano al Agua. Sin embargo, también se recabó información del segundo nivel de análisis como las características de la vivienda y sus residentes, así como información socioeconómica. En la Figura 54 se esquematiza lo mencionado.

Figura 54 Niveles de análisis aplicados al subsistema de consumo doméstico.



Fuente: Elaboración propia.

A1.1.4.1.1 Descripción de estructura del cuestionario aplicado

El cuestionario se tituló “El agua en las viviendas de la ciudad de Puebla”. Posteriormente se le colocó la siguiente presentación.

INFORMACION SOBRE LA PRESENTE ENCUESTA

Soy David Pérez González (david.perezgo@alumno.buap.mx), estudiante del Posgrado en Ciencias Ambientales de la BUAP. Solicito que participe en esta encuesta en apoyo del estudio académico de nombre “Metabolismo Hídrico Urbano en la Ciudad de Puebla”, el cual servirá para conocer información relacionada con el agua en las viviendas de la ciudad de Puebla.

El tiempo medio de respuesta es de 5 minutos.

Tu participación es voluntaria, y tus respuestas son anónimas. Si tienes alguna duda, puedes escribir a mi correo (arriba indicado). Es muy importante que respondas con sinceridad a todas las preguntas.

Al final no olvides pulsar el botón "ENVIAR". Se te indicará que se registró tu participación.

COMPARTE LA ENCUESTA A TUS CONOCIDOS QUE VIVAN EN LA CIUDAD DE PUEBLA.

Muchas gracias por tu apoyo.

(logotipo de la BUAP)

Los 32 datos recogidos en la encuesta se describen más adelante junto con su opción de respuesta y en algunas se colocó una breve justificación.

2. Fecha (cargada automáticamente por el sistema)
3. ¿Cuál es su edad?
 - Opciones desplegadas con valores del 1 al 100
4. Sexo:
 - Opción múltiple, con valores
 - Femenino
 - Masculino
 - Otro (opción de responder libremente)
5. ¿Cuál es su escolaridad? (Opción múltiple)
 - Opción múltiple, con valores
 - Sin estudios
 - Primaria
 - Secundaria
 - Preparatoria o Bachiller
 - Licenciatura
 - Maestría
 - Doctorado
 - Otro (opción de responder libremente)

6. ¿Cuál es su ocupación?

- Opción múltiple, con los valores
 - Labores del hogar
 - Estudiante
 - Oficio (Carpintero, soldador, pintor, albañil, etc.)
 - Profesión (abogado, ingeniero, administrador, arquitecto, etc.)
 - Desempleo
 - Otro (opción de responder libremente)

Con esta pregunta se buscó conocer su posible cercanía e involucramiento con las actividades del hogar.

7. ¿En qué municipio vive?

- Opción múltiple, con los valores
 - Puebla
 - San Pedro Cholula
 - San Andrés Cholula
 - Cuautlancingo
 - Amozoc
 - Otro (opción de responder libremente)

8. ¿En qué colonia vive?

- Cuadro de texto

Con esta pregunta se buscó obtener un dato para ubicar la información en el espacio geográfico de la ciudad.

9. ¿Cuántas personas residen en su vivienda?

- Desplegable, con valores del 1 al 15. El último valor es “16 y más”.

Es necesario este dato para los valores per cápita de agua, costos, energía y carbono que se inducirán posteriormente.

10. En su casa viven:

- Cuadrícula de opciones, con opción de responder si o no en los siguientes casos.
 - Mujer embarazada
 - Menores de edad
 - Personas de la 3ra edad

- Personas con alguna discapacidad física o mental
- Personas con alguna enfermedad crónica (VIH, diabetes, cáncer, etc.)
- Ha habido casos de COVID-19

*Esta pregunta es útil para identificar posibles aspectos de incumplimiento del **DHA** en grupos vulnerables y COVID-19.*

11. ¿Tiene servicio de drenaje y alcantarillado?

- Opción múltiple, con los valores
 - Si
 - No
 - Otro (opción de responder libremente)

*Esta pregunta es útil para aproximarse a la percepción del servicio de drenaje en determinada colonia. Relacionado al aspecto de **accesibilidad** del **DHA**.*

12. ¿En su vivienda hay toma de agua potable?

- Opción múltiple, con los valores
 - Si, con SOAPAP (Agua de Puebla)
 - Si, con SOSAPACH (San Pedro Cholula)
 - Si, con el Ayuntamiento de San Andrés Cholula
 - Si, con el Ayuntamiento de Cuautlancingo
 - Si, con el Ayuntamiento de Amozoc
 - Si, con el Ayuntamiento de Juan C. Bonilla
 - Otro (opción de responder libremente)

La pregunta es útil para diferenciar al proveedor del servicio de agua potable. Las respuestas incluyen al organismo operador debido a que SOAPAP también provee en algunas colonias de municipios adyacentes al municipio de Puebla. Por lo que, aunque estén fuera del municipio de Puebla pueden ser provistas de agua por SOAPAP.

13. ¿Con que frecuencia cae el agua en su casa?

- Opción múltiple, con los valores
 - Todos los días
 - 6 días por semana
 - 5 días por semana
 - 4 días por semana
 - 3 días por semana
 - 2 días por semana
 - 1 día por semana
 - Una vez por quincena
 - Una vez por mes

*Es útil para inducir el caudal de agua provisto a la vivienda, ligado con el aspecto de **suficiencia** del **DHA**. Además de que puede ser contrastado con los datos oficiales.*

14. El día que cae agua en su casa, ¿Cuántas horas cae?

- Desplegable, con los valores del 1 al 24

*Para conocer la percepción del suministro de agua en la vivienda, ligado con el aspecto de **suficiencia del DHA**.*

15. En su vivienda ¿Utiliza tanque o cisterna?

- Opción múltiple, con los valores
 - Tinaco en azotea 450 litros
 - Tinaco en azotea 750 litros
 - Tinaco en azotea 1,100 litros
 - Cisterna de 2,000 litros
 - Cisterna de 3,000 litros
 - Cisterna de 4,000 litros
 - Cisterna de 5,000 litros
 - Cisterna de 6,000 litros
 - Cisterna de 7,000 litros
 - Cisterna de 8,000 litros
 - Cisterna de 9,000 litros
 - Cisterna de 10,000 litros
 - Una Cisterna elevada para varios departamentos en edificio de condominio (6000 litros)
 - Otro (opción de responder libremente)

*Para aproximar la capacidad de almacenamiento en la vivienda, ligado con el aspecto de **suficiencia del DHA**.*

16. Además del tinaco o la cisterna, ¿Utiliza algún método para almacenar más agua en su vivienda?

- Opción múltiple acompañadas con imágenes, con los valores
 - Sí, utilizo botes y cubetas para almacenar más agua.
 - Pileta
 - No utilizo
 - Otro (opción de responder libremente)

Para aproximarse a extras en acumulación de agua en la vivienda.

17. ¿Ha tenido problemas con tu proveedor de agua potable?

- Casillas seleccionables, con los valores

- Corte del agua
- Corte del drenaje
- Cuotas excesivas
- No he tenido problemas
- Otro (opción de responder libremente)

*Para aproximarse a los problemas más comunes con el servicio de agua potable en la ciudad. Relacionado con los aspectos de **accesibilidad** y **asequibilidad** del **DHA**.*

18. ¿Bebes el agua de llave?

- Opción múltiple, con los valores
 - Si
 - Si, pero sólo si la hiervo
 - Si, pero uso filtro
 - No

*Para inducir la percepción en la calidad del agua en términos de si es aceptable para ingerirla, relacionado con el **DHA**.*

19. Del 1 al 10 ¿Cómo considera la calidad del agua potable en su vivienda?

- Escala de Lickert con valores del 1 al 10.

*Para inducir la percepción del agua en general, en relación con todos los usos en la vivienda, relacionado con el **DHA**.*

20. ¿Qué problemas reconoces en el agua que recibes en su vivienda?

- Casillas seleccionables con imágenes, con los valores
 - Exceso de sarro (tapa las tuberías)
 - Con azufre (olor a huevo)
 - Muy clorada
 - Con tierra
 - Ninguno
 - Otro (opción de responder libremente)

*Para aproximarse a la percepción de los problemas de calidad comunes en el agua provista a la vivienda, relacionado con el **DHA**.*

21. ¿Ha padecido algún problema de salud debido al uso o consumo del agua de llave?

- Casillas seleccionables con imágenes, con los valores
 - Problemas digestivos (Diarrea, cólera, disentería etc.)
 - Hepatitis
 - Fiebre tifoidea
 - Resequedad en la piel
 - Prurito en la piel (comezón)

- Dermatitis (irritación en la piel)
- No he tenido problemas de salud
- Otro (opción de responder libremente)

Inducir la relación percibida entre el agua y las enfermedades por parte de los consumidores del agua en la vivienda.

22. ¿Compra pipa o tiene pozo?

- Opción múltiple con imágenes, con los valores
 - Si, compro pipas de agua
 - Si, tengo pozo de agua
 - Tengo pozo y compro pipa
 - Ninguno, sólo utilizo el agua de la llave
 - Otro (opción de responder libremente)

*Para estimar el porcentaje de viviendas que adquieren el agua con pipa, o tienen pozo, etc. También se puede inducir la **accesibilidad** del **DHA**.*

23. En caso de comprar pipas con agua, ¿con que frecuencia compra pipas?

- Opción múltiple, con los valores
 - No compro pipas
 - 2 pipas al mes
 - 1 pipa al mes
 - 1 pipa cada dos meses
 - 1 pipa cada 3 meses
 - 1 pipa cada 6 meses
 - 1 pipa por año
 - Otro (opción de responder libremente)

*Para aproximarse a el porcentaje de viviendas que requieren el servicio de pipa e inducir los posibles caudales del agua transportada por este medio. Relacionado con la **suficiencia** del **DHA**.*

24. ¿Cuántos garrafones se consumen en su vivienda a la semana?

- Cuadrícula de varias opciones con imágenes, con los valores del 1 al 10 para las siguientes opciones.
 - Relleno mis garrafones
 - Garrafones de marca (Epura, Bonafont, etc.)
 - Garrafa (4 a 19 litros)
 - Botellas de agua (600ml a 2L, etc.)

*Para aproximarse posible caudal de agua embotellada consumida en las viviendas. Relacionado con la **suficiencia** y la **aceptabilidad** del **DHA**.*

25. ¿Utiliza algún método alternativo de los indicados abajo para ahorrar agua?

- Casillas seleccionables con imágenes, con los valores.
 - Cosecha de agua de lluvia
 - Baño seco (tipo letrina)
 - Reutilizar agua de la lavadora para otros usos
 - Ninguna
 - Otro (opción de responder libremente)

Para aproximarse a la proporción utilización de métodos de ahorro de agua como cosecha de agua de lluvia, baño seco, o algún otro método alternativo.

26. Otros usos del agua

- Casillas seleccionables con imágenes, con los valores
 - Riego mi jardín o macetas
 - Tengo mascotas acuáticas, (peces, tortugas, etc)
 - Ninguno
 - Otro (opción de responder libremente)

Para aproximarse al porcentaje de usos alternativos para el agua en las viviendas.

27. ¿Utilizas los siguientes aparatos en tu vivienda?

- Cuadrícula de varias opciones con imágenes, con las opciones de Si y No para los siguientes valores
 - Lavadora
 - Lavavajillas
 - Bomba (sube el agua de la cisterna al tinaco)
 - Hidroneumático (no necesita tinaco en la azotea)

Para conocer dispositivos que utilizan energía y están relacionados con el agua.

28. En su vivienda ¿utiliza gas de tanque o Maxigas?

- Opción múltiple con imágenes, con los valores
 - Gas en tanque
 - Maxigas (sin tanque, por tubería)
 - Otro (opción de responder libremente)

Para diferenciar el uso del gas LP y el gas natural relacionado con el agua

29. Palomeé el tipo de calentador que utilizas.

- Casillas seleccionables con imágenes, con los valores

- Tradicional
- De paso
- Instantáneo
- Solar
- Eléctrico
- Con la estufa
- Otro (opción de responder libremente)

Relacionado con la eficiencia de la forma de uso energético por cada dispositivo.

30. ¿Aproximadamente a cuánto ascienden sus ingresos familiares mensuales?

- Opción múltiple, con los valores
 - \$ 3,500 o menos
 - \$ 3,500 a 7,000
 - \$ 7,000 a 11,000
 - \$ 11,000 a 15,000
 - \$ 15,000 a 20,000
 - \$ 20,000 a 30,000
 - \$ 30,000 a 40,000
 - \$ 40,000 o más
 - Otro (opción de responder libremente)

*Para aproximarse a la capacidad adquisitiva de la vivienda y así estimar lo posibles problemas de **asequibilidad del DHA**.*

31. ¿Cuánto paga cada mes por el servicio de agua potable?

- Cuadro de texto, escritura libre

*Para aproximarse a los cobros por el servicio de agua y aproximarse al cumplimiento de la **asequibilidad del DHA**.*

32. Del 1 al 10 ¿Cómo considera el costo del agua potable?

- Escala lineal de Lickert, con valores del 1 al 10, siendo el 1 Muy barato y el 10 Muy caro.

*Para aproximarse a la percepción de los cobros por el servicio de agua, relacionado con la **asequibilidad del DHA**.*

33. Queja, comentario o sugerencia acerca del servicio de agua potable en la ciudad de Puebla.

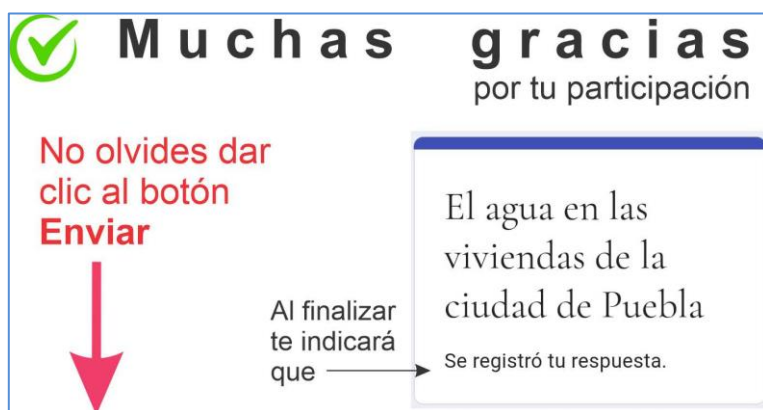
(opcional)

- Pregunta no obligatoria con cuadro de texto.

Para capturar información extra que el encuestado quiera expresar en relación con el agua en las viviendas.

Debido a que en las pruebas piloto de la encuesta solía no presionarse el botón enviar al finalizarse, se colocó una imagen al final de la encuesta que les recordara a los encuestados presionar dicho botón (Figura 55).

Figura 55. Imagen al final de la encuesta como recordatorio de presionar el botón enviar



Fuente: Elaboración propia

A1.1.4.1.2 Aplicación del método de bola de nieve.

Dentro del contexto de la pandemia de COVID-19 existió un gran obstáculo para realizar las encuestas, por lo que, el método de bola de nieve se hizo por medio de las redes sociales como WhatsApp y Facebook. En WhatsApp la liga se compartió con familiares, amigos, y profesores, quienes la hicieron llegar a los usuarios. Por parte de la red social de Facebook, del 30 de octubre al 8 de diciembre se realizaron 148 publicaciones en grupos de colonias de la ciudad de Puebla, para así alcanzar a usuarios que estuvieran fuera de la red de contactos personales. En la Tabla 15 se muestra la relación de veces que se publicó el cuestionario en cada grupo de Facebook.

Tabla 15 Relación de publicaciones del cuestionario en grupos de Facebook.

Nombre del Grupo en Facebook	Veces que se publicó el cuestionario
Soy Chachapa (Venta , Compra , Noticias y más)	1
Amalucan city	1
AMALUCAN, bosques, RIVERA. Información & ventas	1
Arqueología en Amalucan	1
Asamblea Social del Agua	1
ASOCIACION DE COLONOS DEL BARRIO DE SANTIAGO, A.C.	1
AZUMIATLA ES PARA TODOS PATINOCHTI	2
Bazar San Bartolo, Agua Santa y Anexas	1
Casa blanca San Juan Bugambilias Paraíso y Chapultepec	1
Castillotla, San Ramón y Colindantes del Sur	1
Chachapa, San Juan, Casa Blanca, Bugambilias, Flor del bosque, Paraíso,	1
Ciudad Judicial, PUEBLA Compra Vende Regala..	1
Col. Tres Cerritos Puebla	1
Colonia Insurgentes Oriente	1
Colonia Los Encinos (Junta Auxiliar Resurrección)	1
Colonia Los Volcanes Puebla	2
Colonia México 68 - Puebla Unidad magisterial	1
colonia San Baltazar Campeche	1
Colonia Tres Cruces Puebla	2
Colonias del Sur de Puebla	1
Compra & Venta, Las hadas y Mtro federal.	2
COMPRA Y VENTAS SAN PEDRO ZACACHIMALPA Y ALREDEDORES	1
DE SANTA MARÍA XONACATEPEC PUEBLA PARA EL MUNDO	1
El Sol de Puebla	1
Infonavit Agua Santa	3
Infonavit Bosques de San Sebastián, el pilar, amalucan, etc. vende o compra	1
Infonavit la margarita	1
infonavit la margarita sin control en ventas	1
Infonavit Loma Bella	1
Infonavit San Bartolo Ventas chisme y algo mas	1
Infonavit San Bartolo y sus Alrededores RECARGADO	1
Infonavit San Jorge :)	1
Infonavit Xilotzingo	1
JUNTA AUXILIAR LA LIBERTAD	2
Junta Auxiliar La Libertad y sus colonias	1
La Bella Rusia (La Resurrección, Puebla)	1
La Guadalupeana Puebla y col. aledañas mi hogar	1
La Guadalupeana Unidad Habitacional	2
Lomas de Angelópolis	2
Lomas de Angelópolis Servicios.	2
LOMAS DE SAN MIGUEL	2
LOMAS DE SAN MIGUEL PUEBLA PUE	1
Los abusos de Agua de Puebla.	1
Mercado libre Canoa y San Isidro	2
Mercado Libre San Miguel Canoa Remasterizado 10.0	1
NOTICIAS DE PUEBLA	1

Residentes Lomas de Angelópolis	1
Rivera Anaya, Amalucan y sus Conflictos	1
SAN BALTAZAR CAMPECHE Y SUS COLONIAS	1
San Francisco Totimehuacan y sus vecinos	2
SAN RAMON, SAN BERNABÉ TEMOXTITLA ,SAN ISIDRO CASTILLOTLA Y ALREDEDO- RES	1
Santo Tomás chautla fraccionamientos servicios, compra y ventas	1
SANTO TOMAS CHAUTLA, PUEBLO	1
Soy Chachapa (Venta , Compra , Noticias y más)	1
tambalaches los héroes Puebla	1
terrenos en facilidades san fránico totimehuacan	1
todos somos San Pablo xochimehuacán 👍 👍	2
Tragones Lomas del Valle Puebla, Camino Real La Hacienda Fraccionamientos	1
Unidad Habitacional Xilotzingo	1
unidad volkswagen 1,2 y sus alrededores (ventas compras y noticias)	2
VCxDH San Manuel Puebla	1
Vecinos Colonia Universidades BUAP Puebla	2
Vecinos cuautlancingo	1
Vecinos Organizados de la Margarita	1
Vendo Todo San Ramón	1
Venta en colonia Maravillas y aledaños	2
Ventas Colonia La Paz y Av. Juárez. Puebla	1
ventas en todos puebla	1
Ventas Puebla En La Libertad, La Junta, Reforma Sur y Alrededores	1
VENTAS RESURRECCIÓN Y ALREDEDORES, CENTRAL DE ABASTOS Y AMALUCAN.	1
VENTAS ZONA SUR PUEBLA (BALCONES, CONSTITUCIÓN,PLAYAS,MINERALES,SNTE)	1
xilotzingo y al rededores !!	2
Comunidad Unidad Habitacional Bugambilias	1
Colonia Los Encinos (Junta Auxiliar Resurrección)	1
Colonia Constitución mexicana puebla puebla	2
Bosques de Manzanilla y Nueva Resurrección.	1
yo soy totimehuacan	1
unidad habitacional la flor	1
Fracc. Los Heroes Puebla - Misiones San Jose	1
Azumiatla Contigo	1
Noticias Puebla	1
Fracc.Arboledas San Ramón	2
Vecinos San baltazar Campeche	1
Compra & Ventas Colonia Reforma Agua Azul y Sus Alrededores Puebla	1
"Granjas de San isidro empleos, anuncios, tianguis, noticias y servicios"	2
TODOS SOMOS VILLA FRONTERA	2
BALCONES DEL SUR (EL ORIGINAL)	1
Fraccionamiento Los Héroes Puebla	1
Colonia Miguel Hidalgo, San Baltazar Resurrección y vecinos	1
Ventas Hacienda de las Fuentes	1
VCxDH Guadalupe Hidalgo Puebla	1
Guadalupe Hidalgo Ventas	1
ventas castillotla, San Ramón y aledaños	1
Alerta Puebla Vigilando	1
Reportes Ciudadanos Puebla	1

Colonia El Cerrito Vecinos, Puebla Puebla C.P. 72440	1
ventas infonavit la rosa, lomas5 de mayo, y 10 de mayo	1
ANÚNCIATE EN LA SAN PEDRO y SUS ALREDEDORES	1
Yo soy de San Manuel, La Hacienda 72570 en Puebla, Pue.	1
Que todo San Ramón se entere 2.0	1
La joya puebla Pue	1
Agua Santa y Sus Alrededores, Compra, Venta y Anuncios todo Sur	1
Ventas Bosques de San Sebastián, Amalucan, El Pilar y Colonias Cercanas.	1
Colonia Gonzalo Bautista, Ampliación Álamos ,satélite magisterial	1
Bazar Ignacio romero Vargas	1
AquilesSerdan-GeoVillas-BalconesDSur-Fuentes1-2-SnRamon-Minerales-ElRefugio	1
Lomas del Mármol 3a. Sección	1
VENTAS HEROES PUEBLA OFICIAL	1
Ventas puebla... colombres, villa verde, pepsi, amalucan y rivera	1
LOMAS DE ANGELOPOLIS 1 2 Y 3	1
Colonia Las Animas Puebla	1
Colonia Miguel Hidalgo/ San Antonio Abad Puebla	1
Ventas 2 de marzo, 15 de septiembre y alrededores .	1
2 de marzo encinos bosques de santa Anita y sus alrededores	1
vecinos jardines de San Juan bosco, Puebla	1
ventas y cambios sur de Puebla	1
Grupo de ventas san Felipe,san Jerónimo,Guadalupe Caleras Novedades Dunamar	1
Compra y venta Fraccionamiento los álamos puebla	1
Ventas FOVI La María (San Jerónimo Caleras)	1
anunciate con antropolis puebla 2.0	1
La Vista y Lomas Ventas entre vecinos Angelopolis	1
San Baltazar Tetela ventas	1
Colonia Azcárate Puebla -Venta, Noticias y Acontecimientos Relevantes	1
Col santa lucia y IVI 1,2,3,4, y 5	1
Col. Solidaridad	1
Tliloxtoc cerro del Marqués pirámides 8 de diciembre Sta.Anit y alrededores	1
Publicaciones totales en grupos de Facebook	148

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los nombres de los grupos están escritos tal cual se encontraron en la red social de Facebook.

De los dos métodos mencionados para difundir la encuesta, el segundo es el menos eficaz, sin embargo, por ambos métodos se consiguieron respuestas y esto abonó a la diversidad de usuarios encuestados. En la Figura 56 se muestra un ejemplo de publicación del cuestionario en los grupos de Facebook

Figura 56. Ejemplo de publicación del cuestionario en grupos de Facebook.



Fuente: Elaboración propia.

A1.1.4.2 Encuesta para Negocios Pequeños de Agua Purificada

La segunda encuesta consistió en 7 preguntas aplicadas in situ a cinco negocios pequeños de purificación de agua para recabar información de su proceso de purificación y áreas de suministro de agua. La encuesta constó de datos de control como fecha de la entrevista, nombre de la purificadora y antigüedad de la purificadora. A la hoja impresa se le colocó un recordatorio para realizar la presentación y muestra credenciales más el objetivo de la encuesta. Un ejemplo de la encuesta se muestra en la Figura 57.

Las preguntas se clasificaron en fuentes de agua, consumo hídrico/energético (Nexo agua-energía) y otros.

Fuente de agua.

1. ¿Cuál es la fuente de agua para las purificadoras pequeñas? ¿Por qué?
 - Respuesta abierta
2. ¿De qué zona es el pozo donde se extrae el agua para la purificadora?
 - % Acuífero Puebla _____ %Acuífero Tlaxcala _____
 - Espacio abierto para anotar comentarios

Consumo hídrico/energético (Nexo agua-energía)

3. Aproximadamente ¿Cuántos litros vende una purificadora en 1 (mes, bimestre, etc.)?
 - Para cuantificar cuantos garrafones obtiene por pipa, cuantas pipas solicita a la semana y el precio de venta del garrafón.
 - Para cuantificar cuantos garrafones vende a la semana y si lo vende a usos domésticos o a otros usos.
 - Espacio para respuesta abierta
4. Aproximadamente ¿Cuál es el consumo eléctrico de una purificadora al (mes, bimestre, etc.)?
 - Espacio para respuesta abierta.
5. En periodo de pandemia por COVID, ¿Cómo variaron sus ventas?
 - Espacio para respuesta abierta

Otros

6. En caso de existir purificadoras clandestinas, ¿qué riesgo representan estas para las otras purificadoras y para los compradores? ¿Por qué?
 - Espacio para respuesta abierta.
7. Otras anotaciones, (caudal, energía, calidad, etc.)
 - Espacio para respuesta abierta.

Figura 57. Ejemplo de cuestionario aplicado in situ en un negocio pequeño de purificación de agua.

Fecha: 20 Dic 2021 Purificadora (1) 21 pl 11 años antigüedad

Presentación BUAP Cecero Archila
Zon Archila

Mostrar: Credenciales

- Explicar a grandes rasgos investigación (presentar diagrama)
 - Metabolismo Hídrico Urbano
 - Sección de agua purificada

Fuente de agua.

Comentario del origen del agua para las purificadoras.

1. ¿Cuál es la **fuente de agua** para las purificadoras?
 - Agua de Pipa de pozo en San Pablo del Monte a 1km de el casco el cual
 - Agua de la red. (¿alguna purificadora la llega a utilizar?) es un pozo que se dice de buena calidad.
2. En caso de ser pipas, ¿De qué **zona** cree que las purificadoras soliciten su agua? 30 a 35 ppm
 - Cholula Se estima una proporción de 60% Tlax y 40% Puebla
 - Tlaxcala Las fuentes en Puebla que conocen con calidad suficiente para
 - Otro consumo humano es una en Cholula y otra en Huejotzingo
3. ¿Porque las purificadoras tomen del agua de la fuente que la toman?
 - Calidad, baja en sales El agua de la llave oxida en dureza de alrededor de
 - Otro 250 ppm y el máximo es 200 ppm

Consumo energético

4. Aproximadamente ¿Cuántos **litros** vende una purificadora en 1 (mes, bimestre, etc.)?

(Enero-Junio) bimestre 3 pipas x Sem 180 garrafones diarios (buena), 130 (baja), (160) fin de año 1 pipa x Sem 10,000 L

(Tiempo llav.) bimestre \$2,000 \$1,700 \$1,800 (Proporción) \$2,700 Nitro

(fin de año) anual \$14.00 (20L) \$12.00 (10L)

factores que influyen en el consumo de agua Electricidad Buenas tarifas
5. Aproximadamente ¿Cuál es el **consumo eléctrico** de una purificadora al (mes, bimestre, etc.)?
6. Otras anotaciones, (caudal, energía, calidad, etc.)

Notas

En tiempos de pandemia las ventas cayeron al 10%. Con la política del
hoy se circula implementada por el gobierno del estado se privilegia a
las purificadoras grandes y se afectó a las pequeñas, ya que su
aplicación fue diferenciada. Se reportó una caída de las ventas
del 50% en los meses de fin de año.

Economía → en función a los estudiantes → Influenciará el nivel
Clima → Sensación de calor

1 pipa se estima para 400 garrafones (10,000L/pipa) (400 x 20L) 8000 L
genera 0.5 by de bc

Fuente: Elaboración propia.

A1.1.4.3 Preprocesamiento de los datos de la encuesta

La encuesta se diseñó con la finalidad de inducir información de la vivienda encuestada en temas hídricos, sus costos, la energía relacionados con el agua y la percepción de la ciudadanía acerca del servicio del agua en calidad y cantidad. Sin embargo, debido al obstáculo que representó

la pandemia de COVID-19 únicamente se estimó el consumo de agua embotellada y trasladado en camiones cisterna.

La información se recabó conforme el orden original de las preguntas de la encuesta para después reordenarse en función de las categorías siguientes:

Encuestado y vivienda. Para conocer la localización de la vivienda y sus características se colocaron las preguntas relacionadas con los puntos siguientes:

- Datos del encuestado
- Ubicación y características de la vivienda
- Servicios en la vivienda
- Tipo y capacidad de acumulación de agua en la vivienda
- Acumulación alternativa de agua
- Información sobre los residentes de la vivienda

Suministro de agua por el Organismo Operador. Para conocer la percepción del servicio del Organismo Operador por los usuarios de la vivienda encuestada.

- Tandeo del servicio de agua potable
- Problemas con el Organismo Operador
- Nexo con la energía y el carbono con el uso de agua en la vivienda
- Costo del servicio de agua del Organismo Operador.
- Calidad percibida del agua suministrada por el Organismo Operador.

Suministro de agua por pipa o pozo. Para conocer si la vivienda se abastece por medios externos al Organismo Operador, como lo son los pozos propios o el servicio de camión cisterna.

- Uso de Pipa o Pozo para las viviendas
- Energía utilizada en pipa o pozo.

Suministro de agua embotellada para la vivienda. Para conocer los hábitos de consumo de agua embotellada por los residentes de las viviendas encuestadas, además de sus costos.

- Cantidad consumida de agua embotellada
- Costo de agua embotellada.

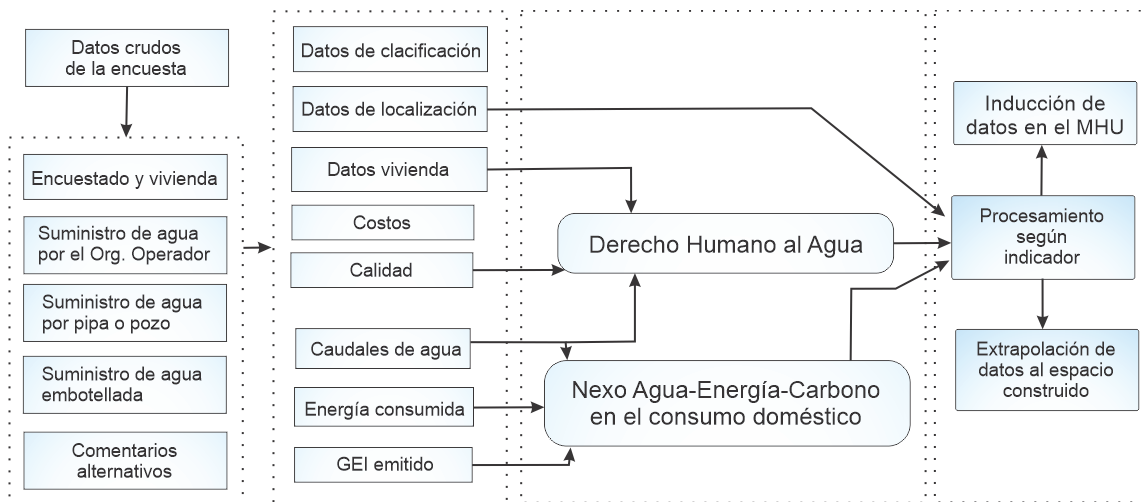
Comentarios alternativos. Para conocer si el encuestado tiene algún comentario extra a lo comprendido en las preguntas de la encuesta. Ello ayuda a aproximarse a quejas y problemas particulares relacionados con el agua en la vivienda.

Los datos clasificados con las categorías anteriores se procesaron y se reordenaron de la siguiente forma.

- Clasificación del encuestado: Se refiere a los datos generales del encuestado.
- Localización de la vivienda: Permite ubicar geográficamente a la vivienda donde reside el encuestado. Y a su vez es esto ayuda a inducir el estrato de cobro de la zona.
- Características de la vivienda y sus residentes: Permitirá aproximarse a las características de la vivienda referida al agua, así como de las características de los residentes.
- Costos del agua que se consume en la vivienda: Inducción.
- Calidad del agua: Permite aproximarse a la percepción que el residente de la vivienda tiene del agua que consume.
- Caudales de agua: Inducción
- Energía consumida: Inducción
- GEI emitido: Inducción.

En la Figura 58 se esquematizó gráficamente el procedimiento expresado en las categorías anteriores. Sin embargo, debido a los obstáculos en tiempo y accesibilidad de la información provocados por la pandemia, no se realizaron todos los procesos descritos, y solo se realizó solo la inducción de los flujos del agua trasladada mediante camiones cisterna y agua embotellada, que se describirá en el siguiente subtítulo.

Figura 58 Esquema general del reordenamiento y procesamiento de los datos de la encuesta



Fuente: Elaboración propia.

A1.2 Estimación de flujos hídricos mediante la simulación de Monte Carlo.

En la Figura 59 se esquematiza de forma general la estimación de Monte Carlo para aproximarse a los flujos hídricos de agua embotellada y camión cisterna.

Figura 59. Esquema general del procesamiento de información de la encuesta



Fuente: Elaboración propia.

A1.2.1 Consideraciones previas a la simulación de Monte Carlo.

La simulación de Monte Carlos es sugerida por Brunner & Helmut (2005) para la estimación de flujos donde hay incertidumbre en los datos. La simulación se realizó utilizando la versión de 64 bits de Crystal Ball 11.1.2.4.900 in Excel.

Postulados: La cantidad máxima posible de agua distribuida en las viviendas por los camiones cisterna es igual a la máxima capacidad de almacenamiento de agua en las viviendas; solo una fracción de las viviendas requiere del agua distribuida por camiones cisterna, por lo que es importante aproximar aquella fracción.

Suposiciones: Se sumaron 500 litros de capacidad de almacenamiento en la fracción de las viviendas donde se reportó la acumulación de agua en piletas, tinacos a nivel de piso, barriles, garrafones o cubetas: La capacidad promedio por camión cisterna es de 10,000 litros; La capacidad de garrafones es 20 litros, la capacidad de las garrafas es de 5 litros, y la de una botella es de 1.5 litros. Las bebidas azucaradas y carbonatadas no se incluyeron; El precio unitario en el 2021 de un garrafón de marca reconocida (Bonafont, Epura, Ciel, etc.) fue USD 1.90, la de las garrafas fue USD 1.70, y el de una botella fue de USD 0.60, y los garrafones rellenos en los negocios pequeños de agua purificada tuvieron un costo de USD 0.6. El tipo de cambio en la fecha del cálculo fue de 20 pesos por cada USD.

La simulación de Monte Carlo se realizó con el procedimiento siguiente; primero se estimaron los parámetros estadísticos del máximo, mínimo, moda y correlación entre variables de los datos recabados en la encuesta, estos se utilizaron para parametrizar las distribuciones de probabilidad de cada variable mostrada en la Tabla 19. Se utilizaron dos distribuciones de probabilidad, la distribución Beta PERT para para los datos que se tiene mayor certeza de que la concentración de los valores se encuentra alrededor de la moda, mientras que la distribución triangular se utilizó donde se consideró mayor dispersión en los datos. Posteriormente se realizaron 20,000 simulaciones.

A1.2.1.1 Estimación de los caudales distribuidos en camiones cisterna

La capacidad total de acumulación de agua para cada Vivienda es la suma de la capacidad por tinaco más la capacidad de la cisterna ($C_{tin+cis}$) más la capacidad de acumulación extra por vivienda (C_{extra}) (Ecuación 1).

$$C_{vivienda} = C_{tin+cis} + C_{extra} \quad (1)$$

Las viviendas se clasificaron en dos grupos de acuerdo en cómo acumulan su agua. El primer grupo se refiere a las viviendas multifamiliares que usualmente acumulan agua en tanques o cisternas elevados (comúnmente son apartamentos multifamiliares). El Segundo grupo se relaciona con las viviendas con cisterna (comúnmente viviendas unifamiliares).

Las Ecuaciones 2 a 4 operaron con una simulación de Monte Carlo (Tabla 16).

$$Q_{pipa,tin} = Ac * Pa * Rc * Mcp * V/10^9 \quad (2)$$

$$Q_{pipa,cis} = At * Pt * Rt * Mtp * V/10^9 \quad (3)$$

$$Q_{pipa} = Q_{pipa,tin} + Q_{pipa,cis} \quad (4)$$

A1.2.1.2 Estimación de la capacidad de acumulación de agua en las viviendas

Para estimar la capacidad de acumulación en las viviendas con tinaco (A_{tin}) y las que tienen cisterna (A_{cis}), se suprimieron los términos del número de tinacos (Pa , Pt) de la Ecuaciones 2 a 4, y resultaron las Ecuaciones 5 a 7.

$$A_{tin} = Ac * Rc * Mcp * V/10^9 \quad (5)$$

$$A_{cis} = At * Rt * Mtp * V/10^9 \quad (6)$$

$$A_v = A_{tin} + A_{cis} \quad (7)$$

A1.2.1.3 Estimación del caudal de agua embotellada

El caudal estimado por el consumo de agua embotellada en cada vivienda encuestada (L_v) se estimó al multiplicar el número de envases comprados por vivienda (E) por la capacidad de almacenamiento para cada tipo de envase (cap). La resolución de la información permitió diferenciar entre los tipos de envases (garrafones, garrafas, y botellas de las purificadoras de marca reconocida). Ecuaciones con subíndices del 1 al 3 hacen referencia al agua de las purificadoras de marca

reconocida, y las ecuaciones con subíndice 4 a los garrafones de las purificadoras pequeños particulares (Ecuaciones 8 a 11). Se distinguió entre las magnitudes del agua distribuida por las marcas reconocidas y por las purificadoras pequeños particulares con el fin de estimar sus costos posteriormente.

$$l_{v1} = E_1 * cap_1 \quad (8)$$

$$l_{v2} = E_2 * cap_2 \quad (9)$$

$$l_{v3} = E_3 * cap_3 \quad (10)$$

$$l_{v4} = E_4 * cap_4 \quad (11)$$

Primero se calcularon los litros consumidos para cada vivienda encuestada (l_v) y la simulación de Monte Carlo se aplicó posteriormente para estimar el caudal total en la ciudad (Q) para cada contenedor en específico (Ecuaciones 12 a la 15). El flujo total de agua embotellada suministrada a la ciudad es igual al agua embotellada de marca reconocida más el agua embotellada por los negocios pequeños particulares de agua purificada (Ecuaciones 16 a 17, y Tabla 17).

$$Q_{em1} = L_{v1} * Rba * V * 365/10^9 \quad (12)$$

$$Q_{em2} = L_{v2} * Rba * V * 365/10^9 \quad (13)$$

$$Q_{em3} = L_{v3} * Rba * V * 365/10^9 \quad (14)$$

$$Q_{er} = L_{v4} * Rba * V * 365/10^9 \quad (15)$$

$$Q_{em} = Q_{em1} + Q_{em2} + Q_{em3} \quad (16)$$

$$Q_e = Q_{em} + Q_{er} \quad (17)$$

A1.2.1.4 Aproximación de los costos del agua distribuida en camiones cisterna y embotellada

Bajo la premisa de que el agua distribuida en camiones cisterna y el agua embotellada se distribuye en contenedores o envases de una capacidad conocida (C), es posible aproximarse al número de contenedores (R) que se requieren para trasladar el caudal (Q) (Ecuaciones 18 a 22). En este procedimiento no se aplicó la simulación de Monte Carlo.

$$R_{pipa} = Q_{pipa}/C_{pipa} \quad (18)$$

$$R_{em1} = Q_{em1}/C_{em1} \quad (19)$$

$$R_{em2} = Q_{em2}/C_{em2} \quad (20)$$

$$R_{em3} = Q_{em3}/C_{em3} \quad (21)$$

$$R_{er} = Q_{e4}/C_{em4} \quad (22)$$

El costo total que tiene el agua distribuida en camión cisterna más el agua embotellada resultó de multiplicar el total de contenedores estimados por el precio unitario que tiene cada contenedor (Ecuaciones de 23 a 28, más la Tabla 18).

$$Pt_{pipa} = Pu_{pipa} * R_{pipa} \quad (23)$$

$$Pt_{em1} = Pu_{em1} * R_{em1} \quad (24)$$

$$Pt_{em2} = Pu_{em2} * R_{em2} \quad (25)$$

$$Pt_{em3} = Pu_{em3} * R_{em3} \quad (26)$$

$$Pt_{er} = Pu_{er} * R_{er} \quad (27)$$

$$Pt_{em} = Pt_{em1} + Pt_{em2} + Pt_{em3} \quad (28)$$

$$Pt_e = Pu_{em} + Pu_{er}$$

A1.2.1.5 Consumo energético y emisiones de carbono de la empresa de agua

La información de la intensidad energética para cada proceso en la empresa de agua se obtuvo del SOAPAP (CONAGUA & SEMARNAT, 2016a). Las emisiones de carbono se estimaron al multiplicar la cantidad de agua consumida por el coeficiente de CO₂e por la cantidad de energía en relación del agua consumida (SENER, 2019). La energía relacionada con el agua que se consumió fuera de los procesos de la empresa de agua no se estimó debido a la falta de datos.

A1.2.1.6 Valores insertados para la simulación de Monte Carlo

Tabla 16. Descripción de los términos de las ecuaciones para el cálculo del flujo hídrico suministrado por camiones cisterna

Símbolo	Variable	Unidad	Fuente
$Q_{tanker-t}$	Caudal distribuido por camiones cisterna.	Mm ³ /año	Resultado eq
$Q_{tanker-t,wt}$	Caudal distribuido por camiones cisterna en viviendas con tinaco.	Mm ³ /año	Resultado eq
$Q_{tanker-t,cis}$	Caudal distribuido por camiones cisterna en viviendas con cisterna.	Mm ³ /año	Resultado eq
A_{wt}	Capacidad de acumulación total en las viviendas con tinaco.	Mm ³	Resultado eq
A_{cis}	Capacidad total de acumulación en viviendas con cisterna.	Mm ³	Resultado eq
A_v	Capacidad total de acumulación en todo tipo de viviendas.	Mm ³	Resultado eq
Ac	Accumulation capacity in individual homes with cisterns.	(Lt/hh)	Encuesta *
Pc	Número de camiones cisterna por año que suministran las viviendas con cisterna.	(tt/yr)	Encuesta *
Rc	Razón de viviendas con cisterna en la ciudad.	(adimensional)	Censo 2020
Mcp	Razón de viviendas con cisterna que se han suministrado de agua con camiones cisterna.	(adimensional)	Encuesta
At	Capacidad de acumulación en viviendas individuales sin cisterna.	(Lt/hh)	Encuesta
Pt	Numero anual de camiones cisterna que suministran agua a viviendas sin cisterna.	(tt/yr)	Encuesta *
Rt	Razón de viviendas sin cisterna comparado con el total de viviendas.	(adimensional)	Censo 2020
Mtp	Razón de viviendas sin cisterna que se han suministrado de agua con camiones cisterna.	(adimensional)	Encuesta
V	Número de viviendas totales en la cobertura del SOAPAP.	(viviendas)	SOAPAP

* Valores aleatorios en función de una distribución de probabilidad que derivó de los datos de la encuesta.

Nota: Camiones cisterna (tt), viviendas (hh), litros (Lt).

Tabla 17. Descripción de los términos en las ecuaciones para calcular el caudal de agua suministrada por camiones cisterna.

Símbolo	Variable	Unidad	Fuente
Q_e	Caudal de agua embotellada.	Mm ³ /año	Resultado eq
Q_{em}	Caudal de agua embotellada de marca grande.	Mm ³ /año	Resultado eq
Q_{er}	Caudal de agua embotellada de agua de purificadora pequeña	Mm ³ /año	Resultado eq
Q_{em1}	Caudal de agua embotellada de marca grande en garrafones 20L	Mm ³ /año	Resultado eq
Q_{em2}	Caudal de agua embotellada de marca grande en garrafas 5L	Mm ³ /año	Resultado eq
Q_{em3}	Caudal de agua embotellada de marca grande en botellas 1.5L	Mm ³ /año	Resultado eq
L_{v1}	Litros de agua distribuida en garrafones de marca grande 20L	(Lt/d/hh)	Encuesta *
L_{v2}	Litros de agua distribuida en garrafas de marca grande 5L	(Lt/d/hh)	Encuesta *
L_{v3}	Litros de agua distribuida en botellas de marca grande 1.5L	(Lt/d/hh)	Encuesta *
L_{v4}	Litros de agua distribuida en garrafones de relleno 20L	(Lt/d/hh)	Encuesta *
Rba	Razón de viviendas que consumen agua embotellada.	(adimensional)	Encuesta *

* Valores aleatorios en función de una distribución de probabilidad que derivó de los datos

de la encuesta. Nota: Camiones cisterna (tt), viviendas (hh), litros (Lt).

Tabla 18. Descripción de los términos de las ecuaciones para el cálculo del costo de agua distribuida en camiones cisterna y agua embotellada.

Simbolos	Variables	Unidades	Fuente de información
$C_{tanker-t}, C_{em1}, C_{em2}, C_{em3}, C_{em4}$	Capacidad de cada tipo de contenedor	Mm ³ /año	Mercado
$R_{tanker-t}, R_{em1}, R_{em2}, R_{em3}, R_{er}$	Número de contenedores de cada tipo	Contenedores	Resultado eq
$PU_{tanker-t}, PU_{em1}, PU_{em2}, PU_{em3}, PU_{er}$	The unit price of each type of container	\$/contenedor	Precio (2021) *
$Pt_{tanker-t}, Pt_{em1}, Pt_{em2}, Pt_{em3}, Pt_{er}$	The total cost of each type of container	(Lt/day/hh)	Resultado eq

Nota: Camiones cisterna (tt), viviendas (hh), litros (Lt). * La información de los precios se

recolectó de los supermercados en 2021. Los precios tienden a ser mayores en las tiendas privadas familiares.

Tabla 19. Parámetros para estimar del agua suministrada por camiones cisterna y agua embotellada con la simulación de Monte Carlo.

Símbolo	Mínimo	Moda	Máximo	Valor	Correlación	Con la variable	Distribución asumida
Water supplied by tanker truck							
Ac	3100	7203	11,600	-	0.95	Atm	$Beta PERT$
Pc	1	2.836	24	-	-	-	$Beta PERT$
Rc	-	-	-	0.590	-1	Rc	$Yes-No$
Mcp	-	-	-	0.307	-	-	$Yes-No$
At	450	1346	1600	-	0.95	Acm	$Beta PERT$
Pt	1	3.322	24	-	-	-	$Beta PERT$
Rt	-	-	-	0.410	-1	Rt	$Yes-No$
Mtp	-	-	-	0.230	-	-	$Yes-No$
Vt	-	-	-	506,019	-	-	$Unique value$
Bottled water supply							
Lad_r	0	2.389	31.429	-	-0.562	Q_{em}	$Triangular$
Lad_1	0	0.570	20	-	0.106	Lad_3	$Beta PERT$
Lad_2	0	0.008	2.143	-	-0.000	Lad_1	$Beta PERT$
Lad_3	0	0.059	2.357	-	0.290	Lad_2	$Beta PERT$
Rba	-	-	-	0.902	-	-	$Yes-No$

A1.2.2 Detalles de la aplicación de simulación por Monte Carlo

En el presente apartado se detallan datos de la simulación de Monte Carlo aplicada para estimar los caudales de agua embotellada y el transportado en camión cisterna. El agua suministrada a la población por estas vías es parte de la realidad cotidiana en las ciudades mexicanas, sin embargo, no existe información oficial disponible para su estimación, por lo que, es relevante aproximar su magnitud por el método de Monte Carlo y en segundo, los datos simulados revelan información relacionada con el Derecho Humano al Agua en aspectos de suficiencia, aceptabilidad y asequibilidad. La magnitud del flujo estimado en el modelo para la ciudad de Puebla es 1.52% tomando en cuenta toda el agua estimada en el MHU del área de estudio, y 6.08% tomando como referencia solo la magnitud del caudal utilizado en la ciudad central.

La ausencia de registros oficiales nos llevó a desarrollar un método que nos permitiera estimarlos basados en los hábitos de consumo de los residentes de la ciudad. Para ello se diseñó una encuesta de 30 preguntas relacionadas con diferentes aspectos del agua en las viviendas, de los cuales solo 6 preguntas se utilizaron para los propósitos de la estimación de los caudales mencionados. La encuesta se aplicó en la plataforma de Google Forms, la cual, ayudó para superar el obstáculo que representaron las medidas sanitarias por la contingencia de COVID implementadas en el año 2021 en Puebla. La liga de la encuesta es la siguiente (https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfRIOKB6i5WSg9Rxiv-K_CYPfPpDkDLFHUyyoROgTal-hSAs5Q/viewform?usp=sf_link)

La encuesta se difundió mediante el método de bola de nieve, el cual, es un método no probabilístico, en este sentido somos conscientes de que es preferible la aplicación de un método probabilístico, y el método aplicado se entiende como una debilidad de la muestra, sin embargo, fue la única vía disponible en el contexto del estudio realizado. Como un intento de validación del

procedimiento se comparan dos datos obtenidos con la simulación de Monte Carlo con información obtenida del censo oficial al final del documento.

1.1.2.2.1 Datos de la encuesta aplicada

La información recabada con la encuesta se procesó conforme los postulados y las suposiciones descritas anteriormente, con ellos se convirtieron las respuestas de la encuesta en variables cuantificables con ello realizar un análisis estadístico y obtener sus distribuciones de probabilidad.

Figura 60. Encuestas aplicadas por colonia en la ciudad de Puebla.



1.1.2.2.2 Estimación de los caudales de agua transportada por camión cisterna.

Las ecuaciones numeradas con el 3 y el 4 se utilizaron para estimar las razones de los caudales de agua transportada por camiones cisterna en la ciudad.

$$Q_{tanker-t,wt} = Ac * Pa * Rc * Mcp * V/10^9 \quad (1)$$

$$Q_{tanker-t,cis} = At * Pt * Rt * Mtp * V/10^9 \quad (2)$$

Se simularon los términos de la ecuación referentes a la capacidad de acumulación de agua en las viviendas (Ac , At), el número de camiones cisterna que suministran agua a las viviendas por año (Pa , Pt), la razón de viviendas que tienen una cisterna en comparación con las que tienen únicamente un tinaco de agua (Rc , Rt), la razón de las viviendas que requieren de camiones cisterna para proveerse de agua (Mcp , Mtp). Y el total de viviendas es un valor conocido (V), y todo se divide por 10 elevado a la 9 para convertir las unidades de litros por año a hectómetros cúbicos por año.

A1.2.2.3 Definición de las suposiciones para la simulación de Monte Carlo (agua transportada por camiones cisterna)

Las suposiciones previas a la simulación de Monte Carlo se describen a continuación.

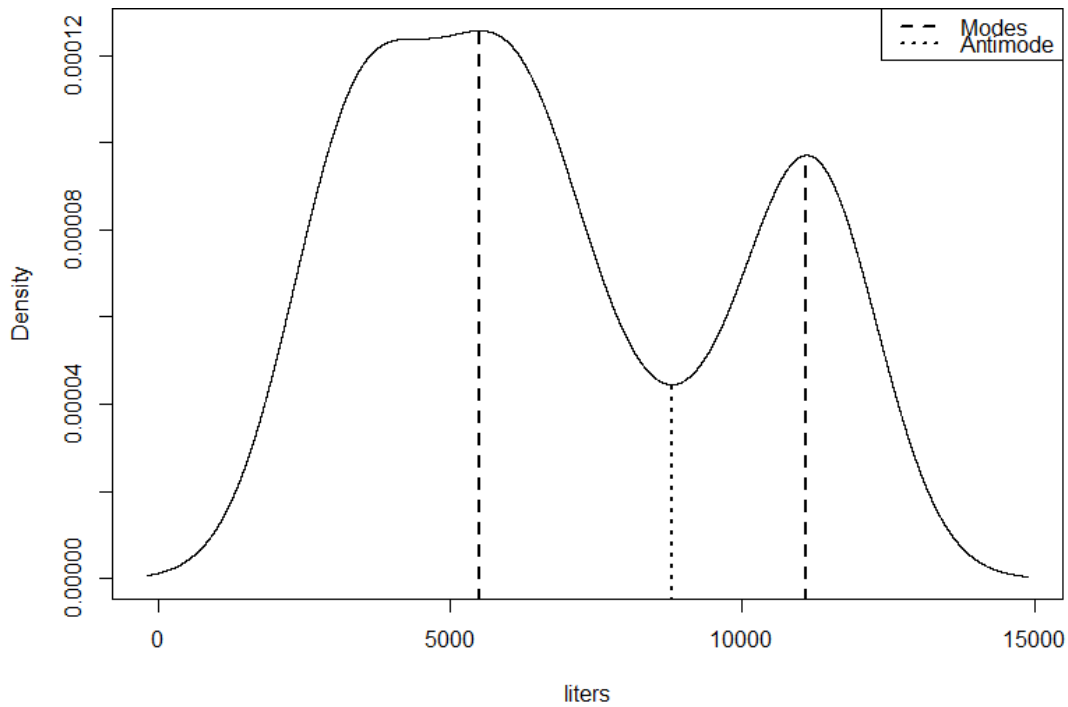
A1.2.2.3.1 Propuesta de distribución de probabilidad para la simulación de la capacidad de acumulación de agua en la vivienda (Ac).

El resumen estadístico y la densidad de probabilidad calculadas desde la información recolectada de la encuesta se indica a continuación.

Resumen estadístico

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	NA's
3100	4100	6100	6817	10850	11600	3

Figura 61 Densidad de probabilidad de la capacidad de acumulación de agua en las viviendas con cisterna.



Fuente: Elaboración propia.

Información estimada de la probabilidad de distribución

Estimated location
 Modes: 5498.015 11100.23
 Antimode: 8787.722

Estimated value of the density
 Modes: 0.0001256329 9.708504e-05
 Antimode: 4.447977e-05

Critical bandwidth: 1097.065

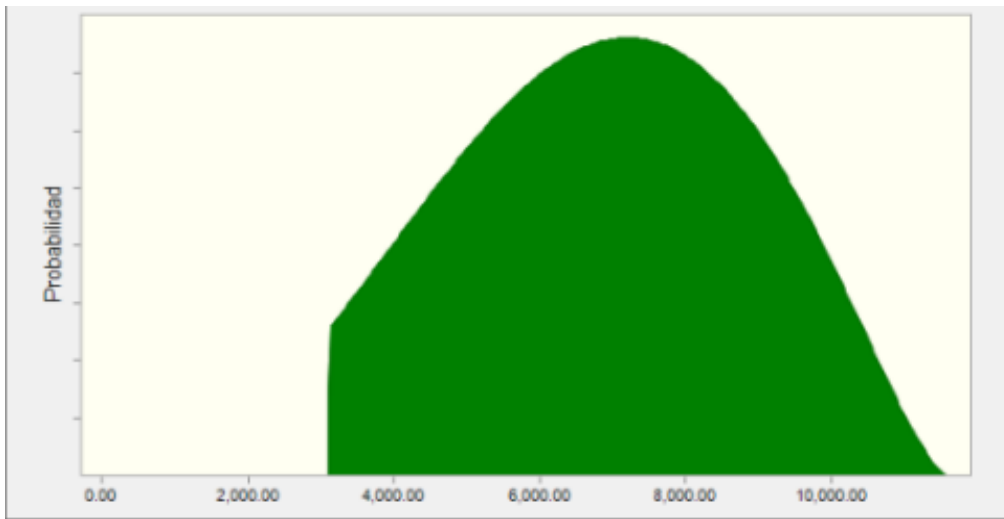
Debido a que la distribución tiene dos modas, se utilizó una regla de tres compuesta para ponderar un único valor para la moda en la distribución que resultó en 7203.476195 litros.

Los parámetros estimados introdujeron en una distribución de probabilidad Beta PERT.

Beta PERT distribution with the parameters:
 Minimum 0.00
 More probable 7,203.48
 Maximum 11,600.00

The selected range was 3,100.00 to ∞

Figura 62. Distribución de probabilidad que simular la capacidad de acumulación de agua en las viviendas con cisterna.



Fuente: Elaboración propia.

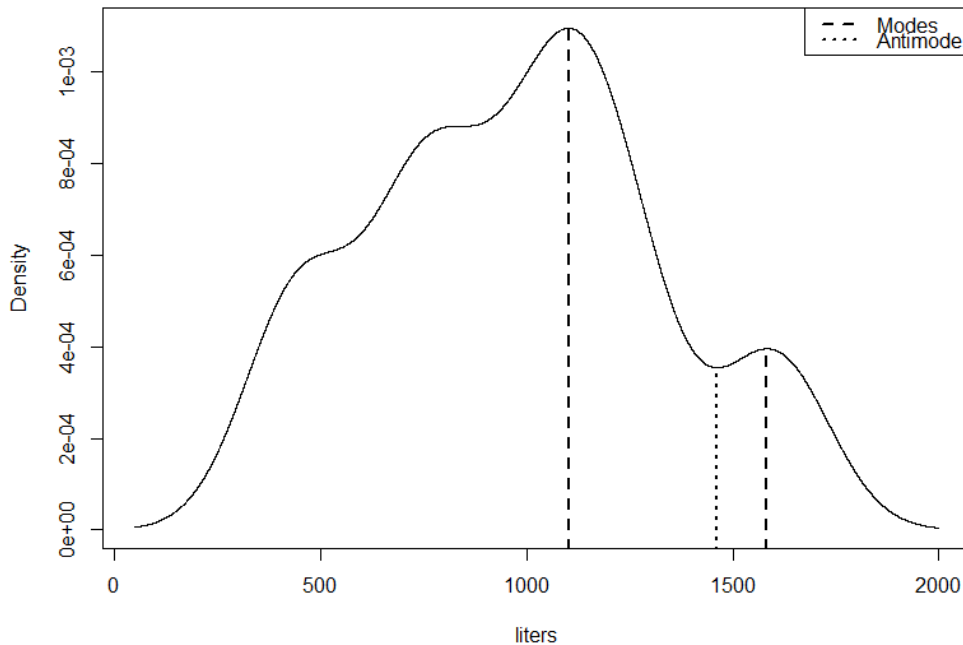
A1.2.2.3.2 Distribución de probabilidad propuesta para la simulación de la capacidad de acumulación de agua en las viviendas sin cisterna, con un tinaco (At).

Resumen estadístico y la densidad de probabilidad calculados desde los datos recolectados en la encuesta.

Summary of statistical parameters

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	NA's
450.0	750.0	950.0	975.9	1250.0	1600.0	3

Figura 63. Densidad de probabilidad de la acumulación de agua en las viviendas sin cisterna, con tinaco.



Fuente: Elaboración propia.

Información de la distribución de probabilidad estimada

Estimated location
Modes: 1101.907 1583.015
Antimode: 1462.649

Estimated value of the density
Modes: 0.001095601 0.0003955549
Antimode: 0.0003542053

Debido a que la distribución de probabilidad tiene dos modas, se utilizó una regla de tres compuesta para ponderar un valor único para la moda que resultó en 1,346.32 litros.

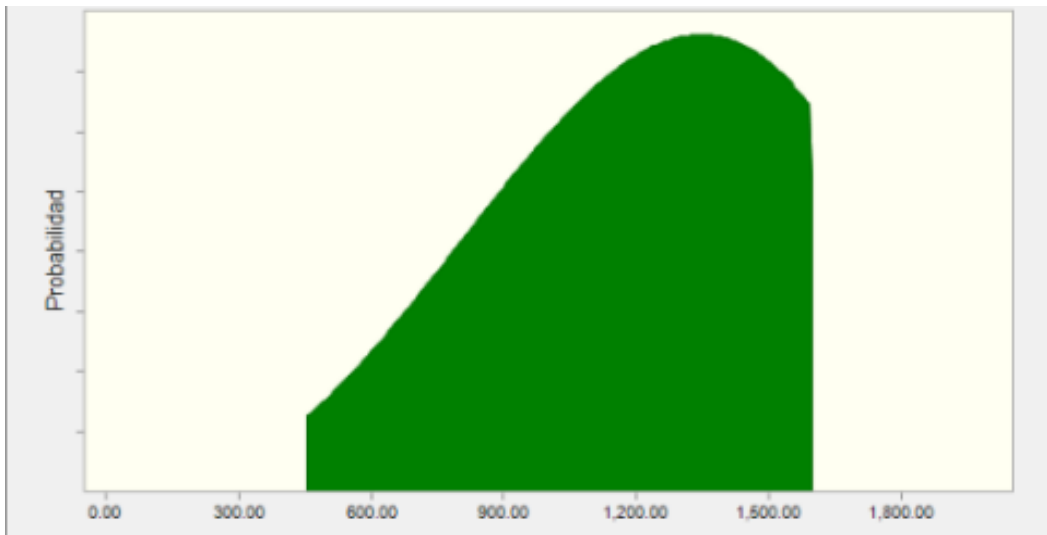
La probabilidad de distribución estimada se extiende hacia los números negativos, lo cual, es válido matemáticamente pero no es aplicable a un caso real, por lo tanto, se seleccionó un rango entre los valores máximos y mínimos del resumen estadístico para recortar la distribución de probabilidad Beta PERT.

Beta PERT distribution with the parameters:

Mínimo	0.00
Más probable	1,346.32
Máximo	2,000.00

The selected range was 450.00 to 1,600.00

Figura 64. Distribución de probabilidad Beta PERT para simular la capacidad de acumulación de agua en las viviendas sin cisterna, con tinaco.



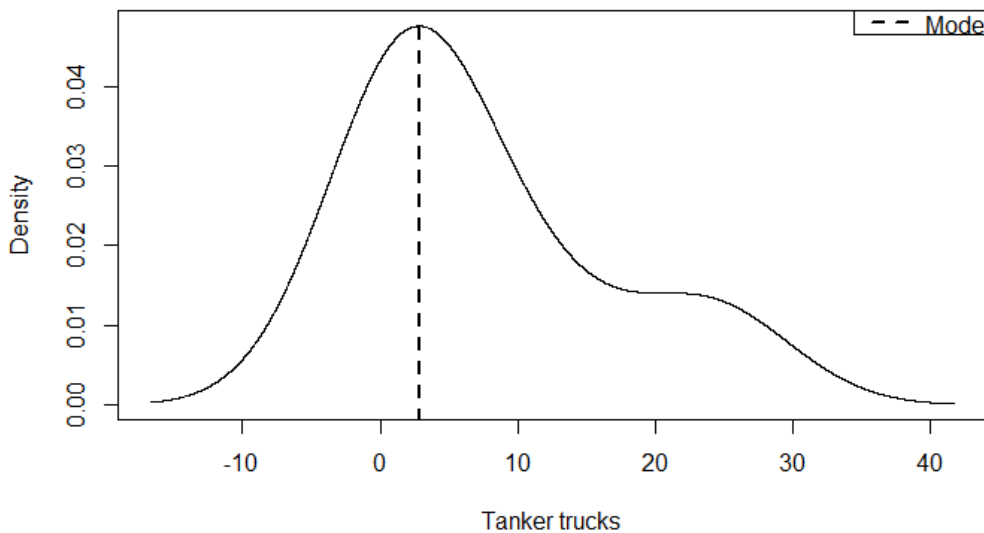
Nota: Elaboración propia.

A1.2.2.3.3 Distribución de probabilidad propuesta para la simulación del número de camiones cisterna para suministra agua en las viviendas con cisterna (Pa)

Resumen estadístico y la densidad de probabilidad de la información recolectada en la encuesta.

Summary of statistical parameters						
Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	NA's
1.00	2.00	4.00	7.15	12.00	24.00	70

Figura 65. Densidad de probabilidad del número de camiones cisterna que suministran agua a las viviendas con cisterna.



Fuente: Elaboración propia.

La información relacionada a la distribución de probabilidad es la siguiente.

Estimated probability distribution information
 Estimated location
 Mode: 3.321933

Estimated value of the density
 Mode: 0.06122199

Critical bandwidth: 3.729542

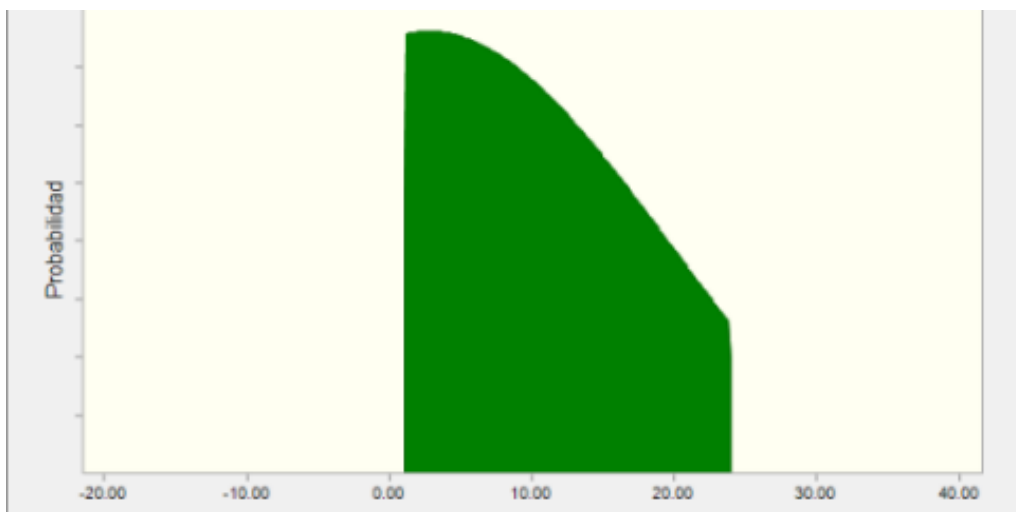
La distribución de probabilidad estimada se extiende hacia los números negativos, lo cual es válido matemáticamente pero no es aplicable a este caso real, por lo tanto, un rango entre los valores máximos y mínimos del resumen estadístico se seleccionó para recortar la distribución de probabilidad Beta PERT.

Beta PERT distribution with the parameters:
 Minimum -10.00
 More probable 3.32
 Maximum 35.00

The selected range was 1.00 to 24.00

Correlated with Number of tanker trucks supplying water to homes with water tanks Coefficient 0.95

Figura 66. Distribución de probabilidad Beta PERT que simula el número de camiones cisterna que suministran agua a las viviendas con tinacos.



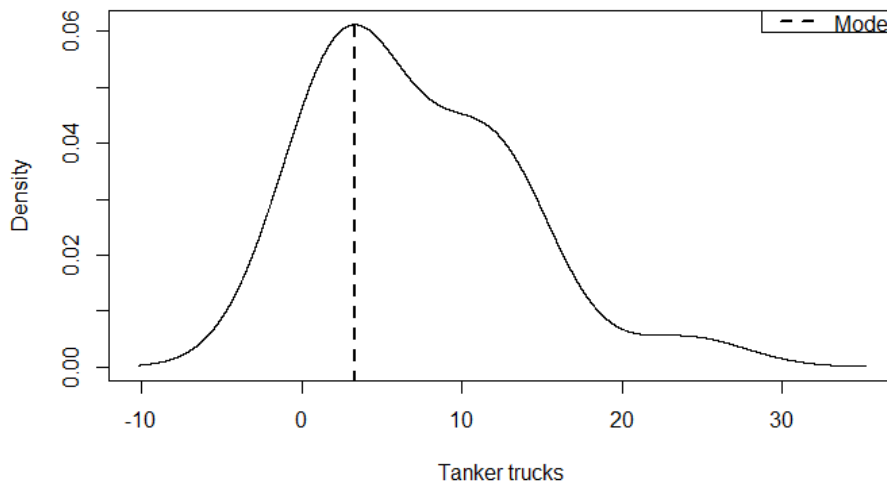
Fuente: Elaboración propia.

A1.2.2.3.4 Distribución de probabilidad propuesta para la simulación del número de camiones cisterna que suministran agua a las viviendas con tinaco (Pt).

Resumen estadístico y densidad de probabilidad calculadas desde la información recolectada de la encuesta.

Summary of statistical parameters						
Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	NA's
1.000	2.000	3.000	7.545	12.000	24.000	109

Figura 67. Densidad de probabilidad del número de camiones cisterna que suministran agua a las viviendas con tinaco.



Fuente: Elaboración propia.

La información relacionada a la distribución de probabilidad es la siguiente.

```
Estimated probability distribution information
Estimated location
Mode: 2.836505

Estimated value of the density
Mode: 0.0475764

Critical bandwidth: 5.897275
```

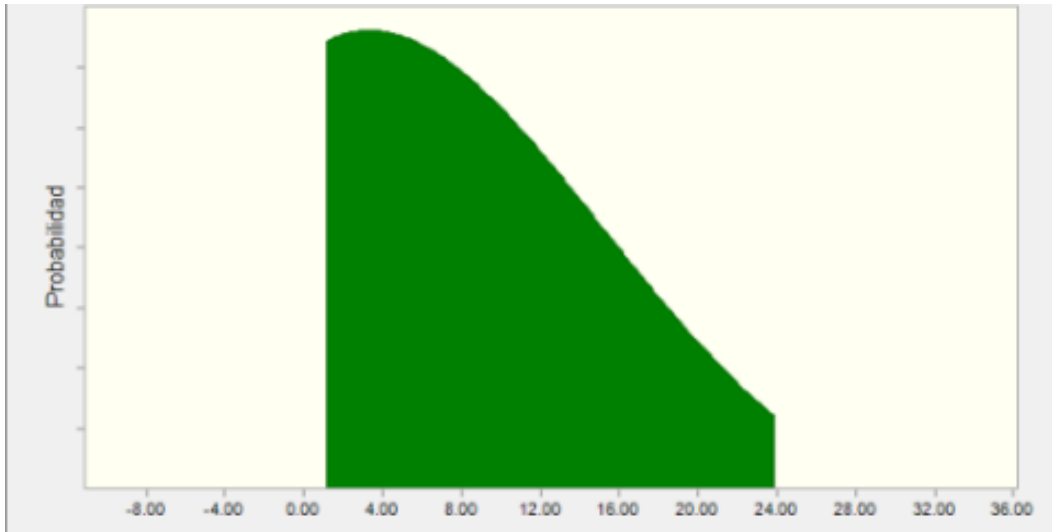
La distribución de probabilidad estimada se extiende hacia los números negativos, los cuales, son válidos matemáticamente pero no son aplicables a un caso real, por lo tanto, se estableció un rango de valores positivos con los valores máximos y mínimos del resumen estadístico para recortar la probabilidad de distribución Beta PERT.

```
Beta PERT distribution with the parameters:
  Minimum          -20.00
  More probable     2.84
  Maximum          40.00
```

The selected range was 1.00 to 24.00

```
Correlated with:          Coefficient
  Number of tanker trucks supplying water to homes with cistern
                          0.95
```

Figura 68. Distribución de probabilidad Beta Pert propuesta para la simulación del número de camiones cisterna que suministran agua a viviendas con tinaco.



Fuente: Elaboración propia.

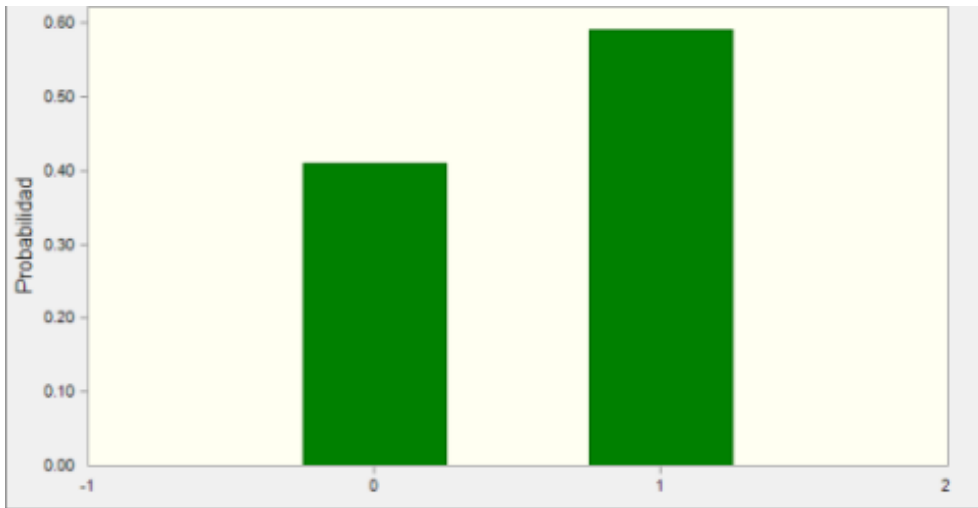
A1.2.2.3.5 Distribuciones de probabilidad para la simulación de la razón de las viviendas con cisterna y con tinaco.

La razón de las viviendas con cisterna se obtuvo de las estadísticas oficiales del INEGI⁸³ (Census 2020), que se calcularon en 0.5903935, por lo tanto, las viviendas sin cisterna corresponden a 0.4096065. La correlación entre las dos variables anteriores es -1, debido a que ambos son mutuamente excluyentes. Los parámetros propuestos en la distribución de probabilidad “Si-No” para la variable *Rc* son los siguientes.

Yes-No distribution with the parameters:		
Probability of Yes(1)	0.5903935	
Correlated with:		Coefficient
Ratio of dwellings with water tank		-1.00

⁸³ INEGI is the National System of Statistical and Geographic Information whose function is to collect and disseminate information about Mexico in terms of territory, resources, population and economy, which allows to know the characteristics of Mexico and help in decision making.

Figura 69. Distribución de probabilidad “Si-No” propuesta para simular la razón de las viviendas que tienen una cisterna.

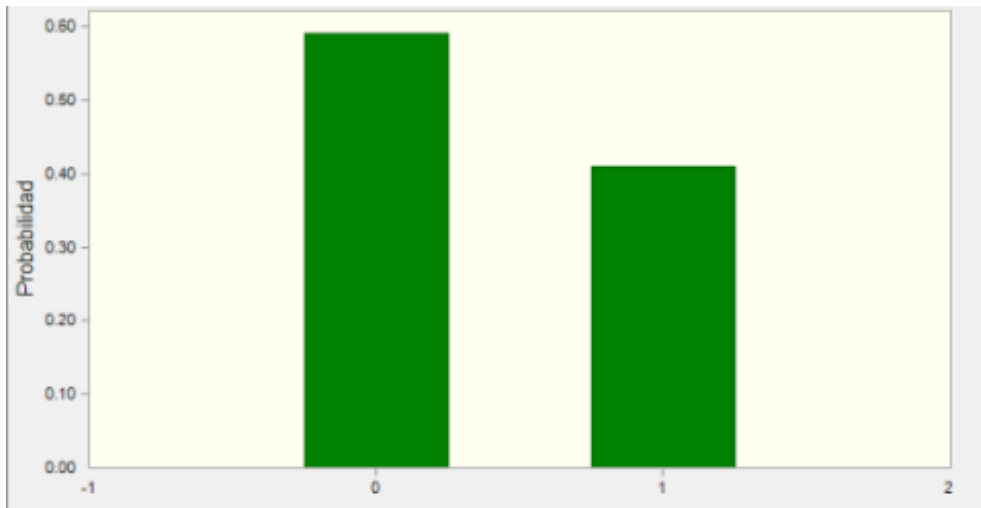


Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros propuestos en la distribución de probabilidad “Si-No” para la simulación de la variable R_t son los siguientes.

Yes-No distribution with the parameters:	
Probability of Yes (1)	0.4096065
Correlated with:	Coefficient
Ratio of dwellings with cisterns	-1.00

Figura 70. Distribución de probabilidad “Si-No” propuesta para simular la razón de viviendas que tienen tinaco.



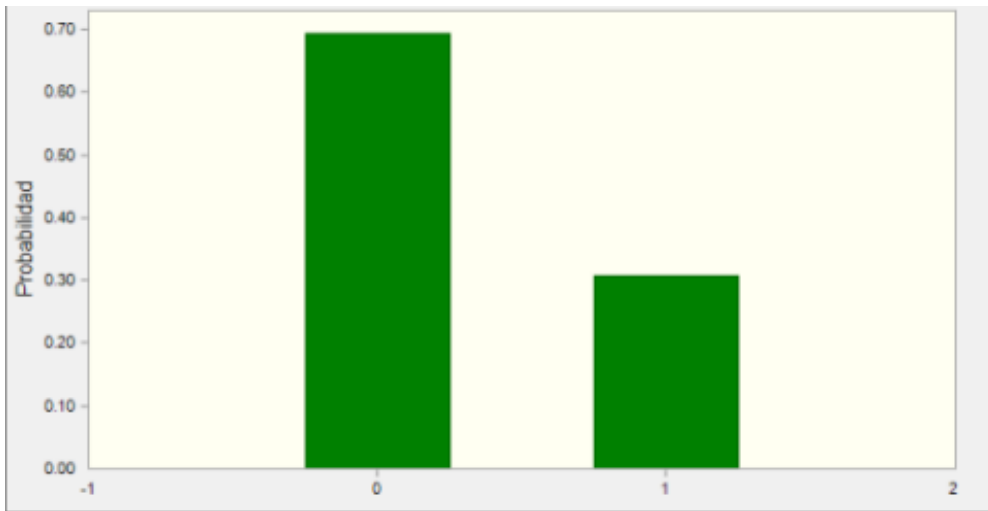
Fuente: Elaboración propia.

A1.2.2.3.6 Razón de viviendas que son se abastecen de agua con camiones cisterna y tinaco (Mcp, Mtp)

La razón de las viviendas que utilizan camiones cisterna se obtuvo de la encuesta, donde 30.67% de las viviendas con una cisterna y 22.99% de las viviendas con tinaco requieren el servicio del camión cisterna al menos una vez por año. Los parámetros propuestos en la distribución de probabilidad “Si-No” para la variable *Mcp* se muestran a continuación junto con su distribución de probabilidad.

Yes-No distribution with the parameters:
Probability of Yes(1) 0.3066667

Figura 71. Distribución de probabilidad “Si-No” que simula la razón de viviendas con cisterna que reciben el servicio de agua de camiones cisterna.



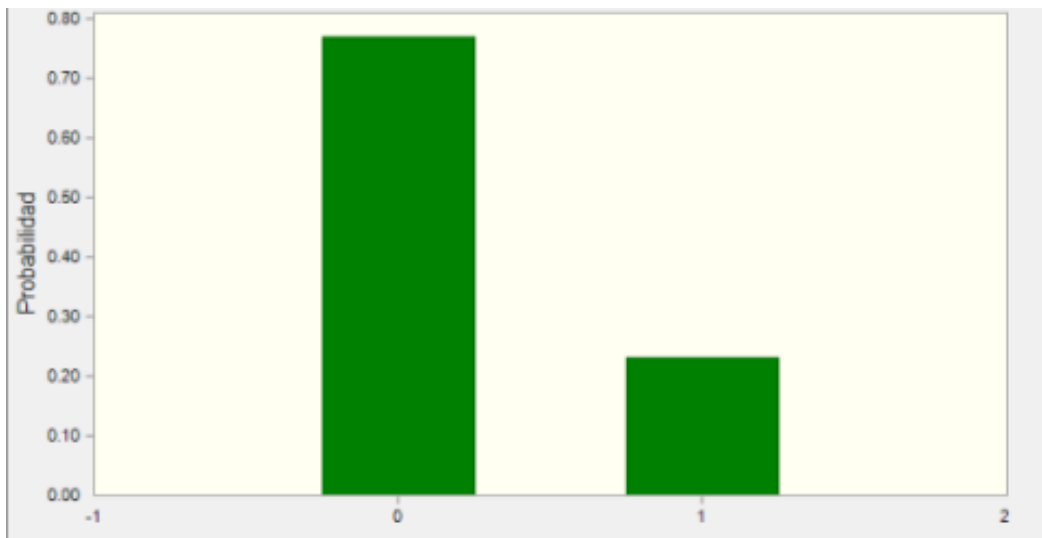
Fuente: Elaboración propia.

Razón de las viviendas con tinaco que se suministran de agua mediante camiones cisterna.

Los parámetros propuestos en la distribución de probabilidad “Si-No# para la variable Mtp son los siguientes.

Yes-No distribution with the parameters:
Probability of Yes(1) 0.2298851

Figura 72. Distribución de probabilidad “Si-No” que simula la razón de viviendas con tinacos que se suministran de agua con camiones cisterna.



Fuente: Elaboración propia.

A1.2.2.4 Predicciones y análisis de sensibilidad (agua transportada en camiones cisterna)

Información general de la simulación de Monte Carlo.

Crystal report: complete

Simulation started on 05/18/2022 at 10:57 a.m.

Simulation stopped on 05/18/2022 at 11:02 a.m.

Execution preferences:

Number of tests executed 20,000
Monte Carlo
Random initialization
Precision control enabled
Confidence level 95.00%.

Execution statistics:

Total run time (sec) 295.51
Trials/second (average) 68
Random numbers per second 2,504

La estimación de las variables en las ecuaciones 4 y 5, que se refieren a los caudales transportados por los camiones cisterna para las viviendas se realizó con una simulación de Monte Carlo.

La Ecuación 6 se aplicó para estimar el total de los flujos de agua transportada por camiones cisterna.

$$Q_{tanker-t} = Q_{tanker-t,wt} + Q_{tanker-t,cis} \quad (6)$$

A1.2.2.4.1 Predicción del caudal transportado por camiones cisterna ($Q_{tanker-t,wt}$)

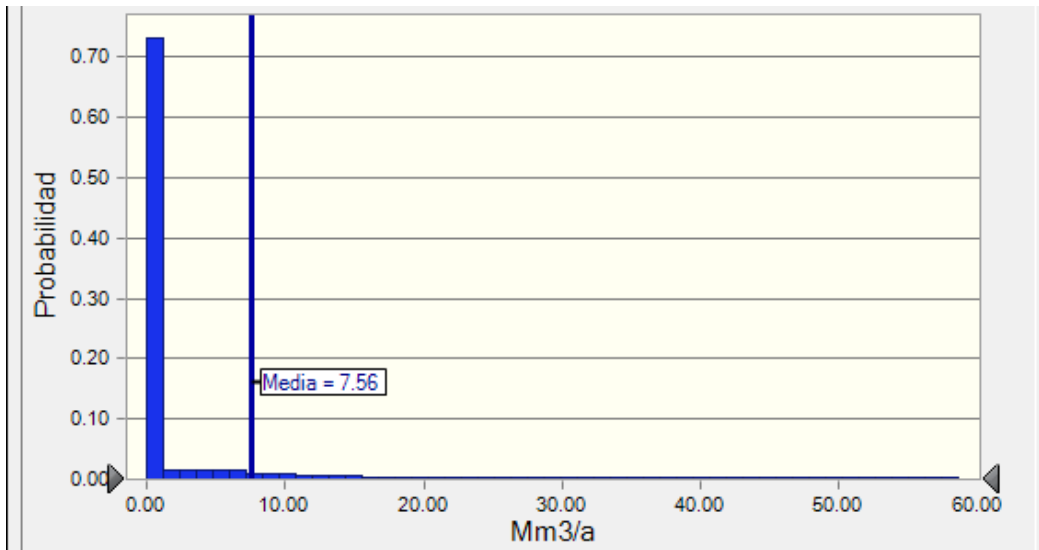
Previsión:

Resumen:

El rango completo es de 0.00 a 125.12

Después de 20,000 pruebas, el error estándar de la media es 0.13

Figura 73. Grafica de la predicción del caudal transportado por camiones cisterna. (Unidades en Mm³/year)



Fuente: Elaboración propia.

De la predicción se obtuvieron los siguientes valores estadísticos.

Tabla 20. Datos estadísticos relacionados con la gráfica de predicción del caudal transportado por camión cisterna.

Statistics:	Forecast values
Pruebas	20,000
Base case	4.99
Mean	7.56
Median	0.00
Mode	0.00
Standard deviation	18.23
Variance	332.28
Bias	2.94
Kurtosis	11.78
Coefficient of variation	2.41
Minimum	0.00
Maximum	125.12
Range width	125.12
Mean standard error	0.13

El valor de la media es (7.56 Mm³/year) se incluyó en el modelo de Metabolismo Hídrico Urbano donde se aplicó el método de MFA. The percentiles of the forecast distribution were as follows.

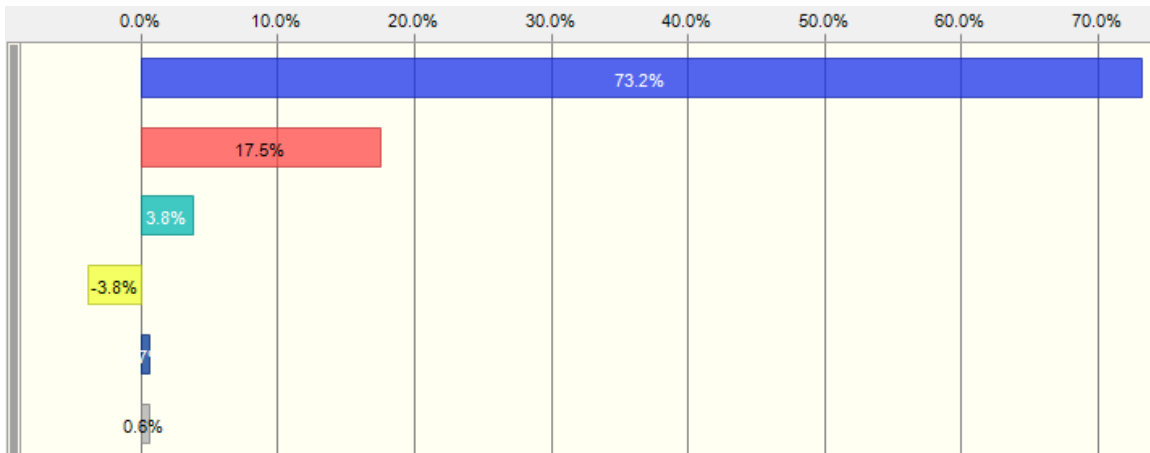
Tabla 21. Percentiles relacionados con la gráfica de predicción del caudal transportado por camión cisterna.

Percentiles:	Forecast values
0%	0.00
10%	0.00
20%	0.00
30%	0.00
40%	0.00
50%	0.00
60%	0.00
70%	0.00
80%	7.01
90%	30.84
100%	125.12

Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad se muestra en la Figura 74, donde las primeras dos variables corresponden a la razón de las viviendas que se suministran de agua con camiones cisterna (Mcp , Mtp), los siguientes dos corresponden a la razón de viviendas con cisterna y tinaco (Rc , Rt), los siguientes dos corresponden a el número de camiones cisterna por vivienda (Pc , Pt), y la capacidad de acumulación de agua en las viviendas con cisterna y tinaco (Ac , At) no aparecen. Esta información describe como la mayor parte del caudal se dirige a las viviendas con cisterna, lo cual, tiene sentido que en las viviendas donde hay más problemas con la suficiencia de agua tenga cisterna para paliar la escasez.

Figura 74. Gráfico de sensibilidad de la predicción del caudal transportado en camiones cisterna.



Fuente: Elaboración propia.

A1.2.2.4.2 Capacidad de acumulación de agua en las viviendas de la ciudad (A_{wt} , A_{cis})

Las ecuaciones de la 7 a la 9 son las ecuaciones 4 a 5 sin embargo, se excluyó el término que se refiere al número de camiones cisterna que proveen agua a las viviendas.

$$A_{wt} = Ac * Rc * Mcp * V / 10^9 \quad (7)$$

$$A_{cis} = At * Rt * Mtp * V / 10^9 \quad (8)$$

$$A_v = A_{wt} + A_{cis} \quad (9)$$

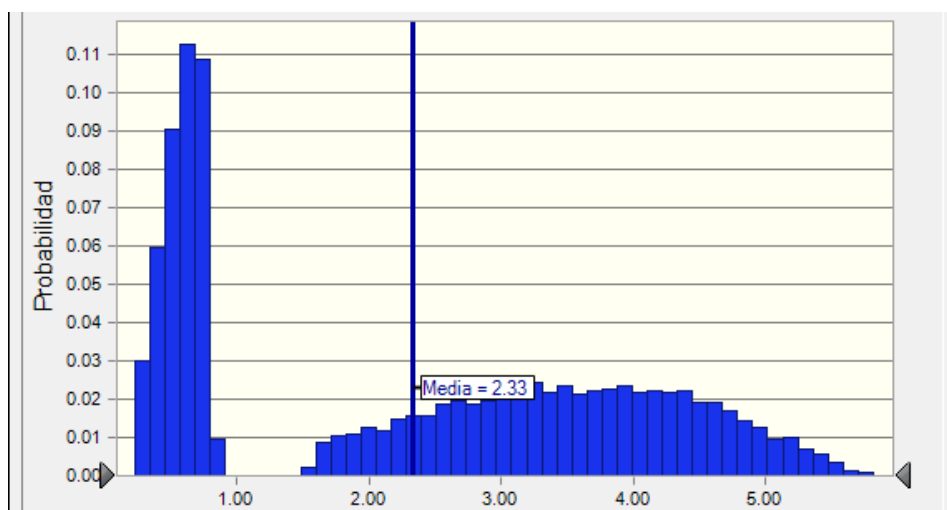
Predicción:

Summary:

The full range is 0.23 to 5.82.

After 20,000 tests, the standard error of the mean is 0.01.

Figura 75. Gráfico de previsión de la capacidad de acumulación de agua en las viviendas de la ciudad. Unidades (Mm³/year)



Fuente: Elaboración propia.

Los valores estadísticos siguientes se obtuvieron de la probabilidad de distribución prevista.

Tabla 22. Statistical summary of the forecast graph for the water storage capacity in households.

Statistics:	Forecast values
Tests	20,000
Base case	2.22
Mean	2.33
Median	2.42
Mode	---
Standard deviation	1.64
Variance	2.69
Bias	0.1949
Kurtosis	1.56
Coefficient of variation	0.7051
Minimum	0.23
Maximum	5.82
Range width	5.59
Mean standard	0.01

El valor medio (2.33 Mm³/year) se consideró como una aproximación de la capacidad de acumulación total en las viviendas. Los percentiles de la distribución de previsión se muestran a continuación.

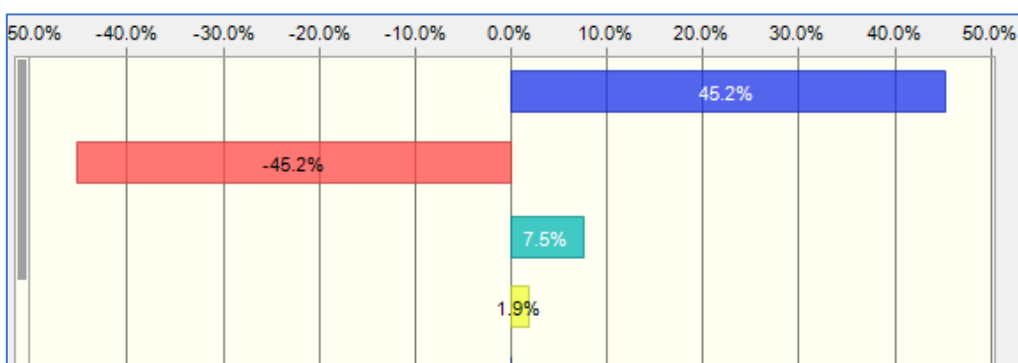
Tabla 23. Percentiles de la gráfica de previsión de la capacidad de acumulación en las viviendas.

Percentiles:	Forecast values
0%	0.23
10%	0.47
20%	0.59
30%	0.69
40%	0.80
50%	2.42
60%	3.02
70%	3.53
80%	4.04
90%	4.57
100%	5.82

Análisis de sensibilidad

En la Figura 76 se muestra se muestra la gráfica del análisis de sensibilidad, donde las dos primeras variables corresponden a la razón de las viviendas con cisterna y tinaco (Rc, Rt), y los siguientes dos corresponden a la capacidad de acumulación de agua en las viviendas con cisterna y tinaco (Ac, At). Los datos obtenidos tienen sentido, ya que la capacidad de acumulación se relaciona con la infraestructura instalada que es independiente al número de camiones cisterna solicitados por vivienda.

Figura 76. Gráfico de sensibilidad de la previsión de la capacidad de acumulación de agua en las viviendas.



Fuente: Elaboración propia.

A1.2.3 Estimación del caudal de agua embotellada.

Las ecuaciones 10 a la 13 para procesar la información tomada de cada una de las viviendas que se encuestaron, resultado que se expresa en litros por año, esta información se procesó y simuló aplicando las ecuaciones 14 a 17.

$$Q_{em1} = L_{v1} * Rba * V * 365/10^9 \quad (14)$$

$$Q_{em2} = L_{v2} * Rba * V * 365/10^9 \quad (15)$$

$$Q_{em3} = L_{v3} * Rba * V * 365/10^9 \quad (16)$$

$$Q_{er} = L_{v4} * Rba * V * 365/10^9 \quad (17)$$

Para estimar los parámetros de las ecuaciones anteriores, fue necesario estimar el consumo de agua embotellada por vivienda (L_{v1} , L_{v2} , L_{v3} , L_{v4}) y la razón de viviendas que consumen agua embotellada (Rba), donde el total de viviendas (V) es un dato conocido, y todo se multiplicó por 365 para convertir litros por día a litros por año, y dividir por 10^9 para convertir los litros por año a hectómetros cúbicos por año.

A1.2.3.1 Definición de suposiciones para la simulación de Monte Carlo (Agua embotellada)

Las siguientes suposiciones son anteriores a la simulación de Monte Carlo.

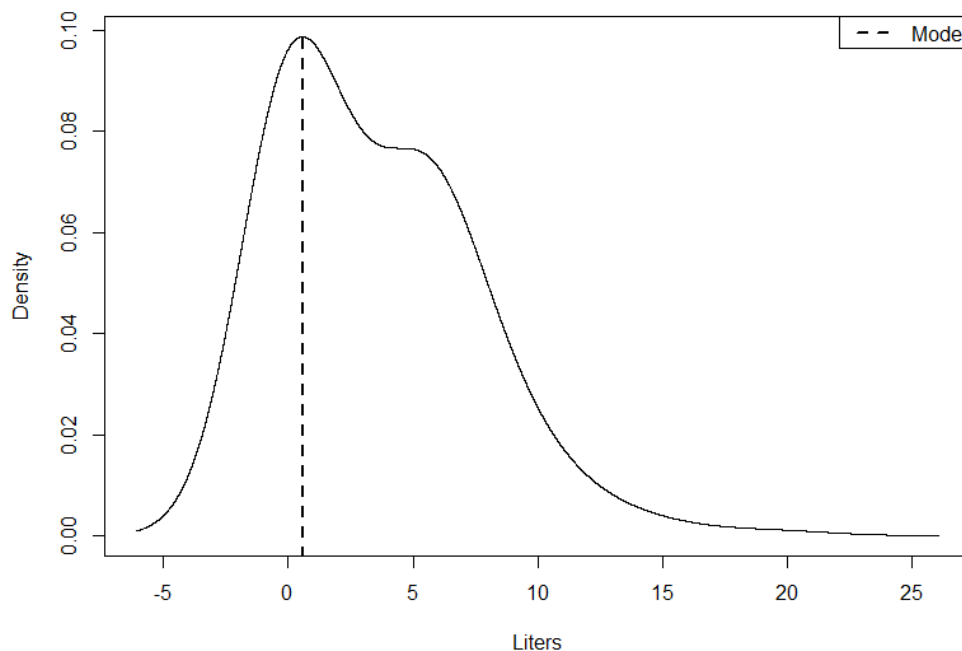
A1.2.3.1.1 Distribución de probabilidad propuesta para la simulación del caudal de agua embotellada en garrafones de 20 litros (Marca Grande) (L_{v1})

Resumen estadístico y grafica de densidad de probabilidad calculadas desde los datos recolectados en la encuesta.

Summary of statistical parameters

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.000	0.000	2.857	3.485	5.714	20.000

Figura 77. Densidad de Probabilidad del consume diario de agua embotellada en garrafones de 20 litros de marca grande.



Fuente: Elaboración propia.

Estimated probability distribution information

Estimated location
Mode: 0.5700754

Estimated value of the density
Mode: 0.09878381

Critical bandwidth: 2.019651

Con base en la información anterior los parámetros del mínimo, máximo, y la moda se propusieron en una distribución de probabilidad Beta PERT.

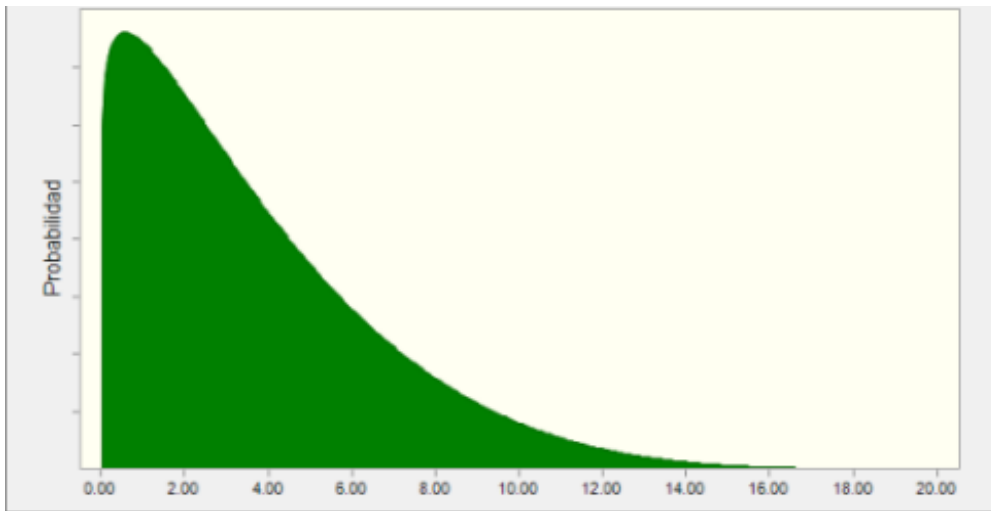
Beta PERT distribution with the parameters:

Minimum	0.00
More probable	0.57
Maximum	20.00

The selected range was 0.00 to ∞

Correlated with:	Coefficient
Garrafa de marca 5L	0.00
Botella 1.5L	0.11

Figura 78. Distribución de probabilidad Beta PERT para simular el consume de agua embotellada en garrafrones de 20 litros (marca grande).



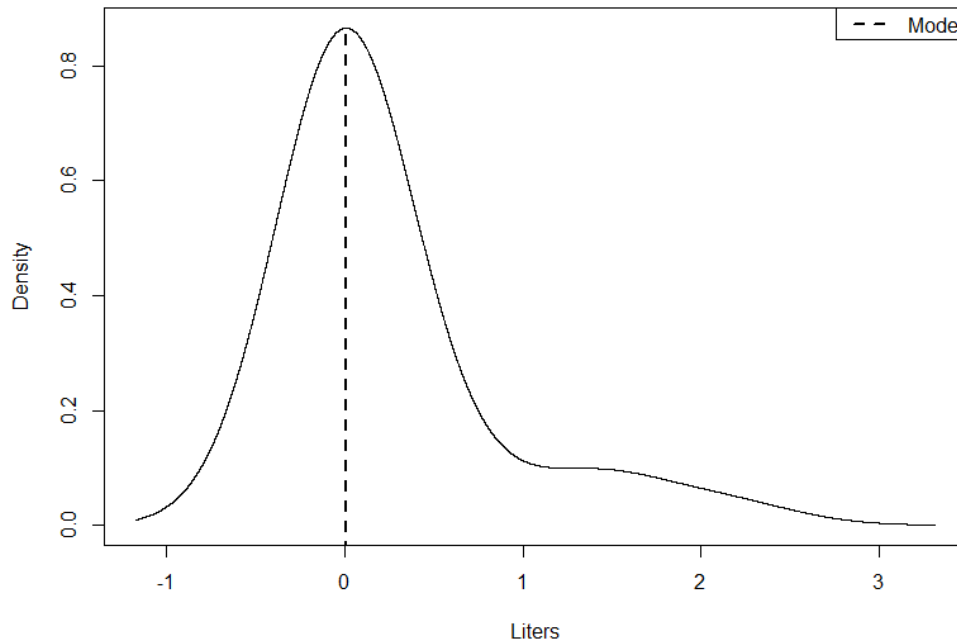
Fuente: Elaboración propia.

A1.2.3.1.2 Distribución de probabilidad propuesta para la simulación del caudal de agua en garrafas de 5 litros (marca grande) (L_{v2})

Resumen estadístico y gráfica de densidad de probabilidad calculados desde los datos recolectados en la encuesta.

Summary of statistical parameters					
Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.0000	0.0000	0.2273	0.0000	2.1429	

Figura 79. Densidad de probabilidad de del consume diario de agua embotellada en garrapas de 5 litros (marca grande).



Fuente: Elaboración propia.

Estimated probability distribution information

Estimated location
 Mode: 0.007549853
 Estimated value of the density
 Mode: 0.8659185
 Critical bandwidth: 0.3896942

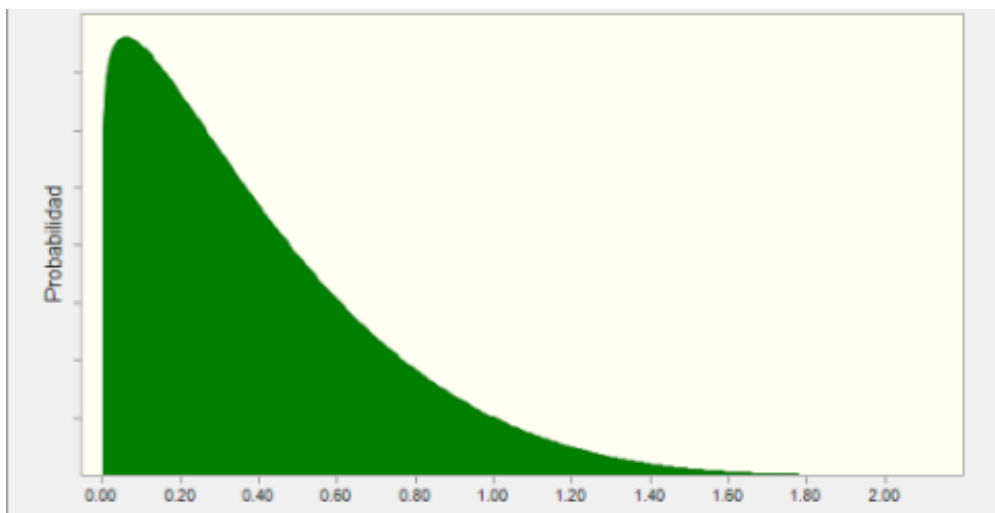
Con base en la información anterior los parámetros de mínimo, máximo y moda se propusieron en una distribución de probabilidad Beta PERT.

Beta PERT distribution with the parameters:
 Minimum 0.00
 More probable 0.06
 Maximum 2.14

The selected range was 0.00 to ∞

Correlated with:		Coefficient
Big brand bottled water flow in 1.5 liter bottles (Lv3)		0.29
Big brand bottled water flow in 20 liter carboys (Lv1)		0.00

Figura 80. Distribución de probabilidad propuesta para la simulación del caudal de agua embotellada en botellas de 1.5 litros (marca grande).



Fuente: Elaboración propia.

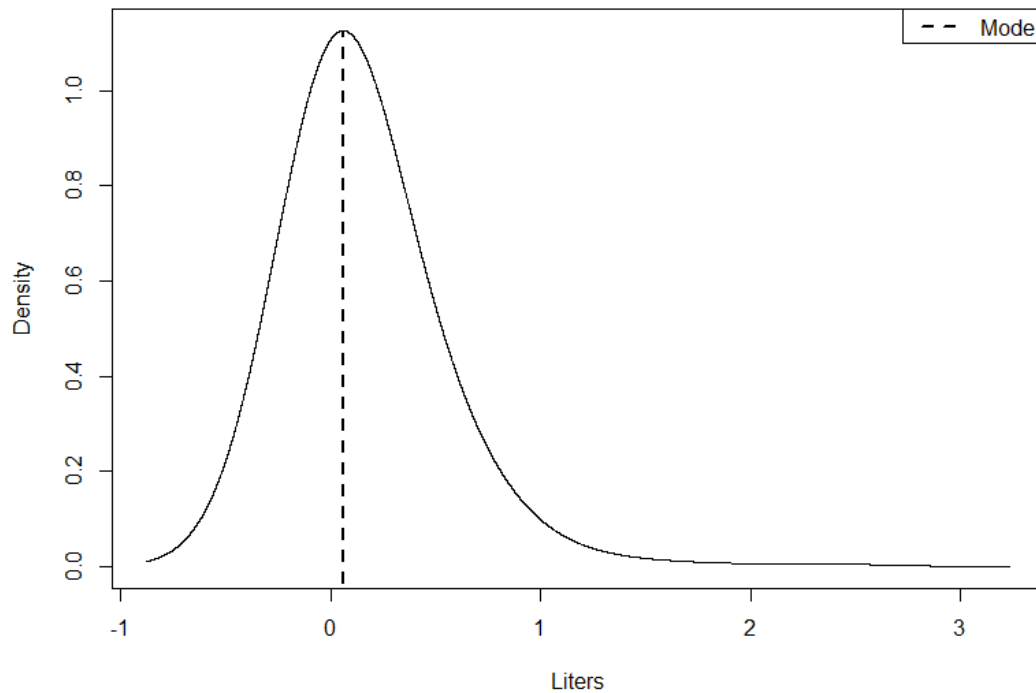
A1.2.3.1.3 Probabilidad de distribución para la simulación del caudal de agua embotellada en botellas de 1.5 litros (marca grande) (Lv3)

Resumen estadístico y gráfica de densidad de probabilidad calculada desde los datos recolectados en la encuesta.

Summary of statistical parameters

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.0000	0.0000	0.0000	0.1534	0.2143	2.3571

Figura 81. Densidad de probabilidad del consume diario de agua embotellada en botellas de 1.5 litros (marca grande).



Fuente: Elaboración propia.

Estimated probability distribution information

Estimated location
Mode: 0.05880532

Estimated value of the density
Mode: 1.125218

Critical bandwidth: 0.2919006

Con base en la información anterior se propusieron los parámetros mínimos, máximo y moda en una distribución de probabilidad Beta PERT.

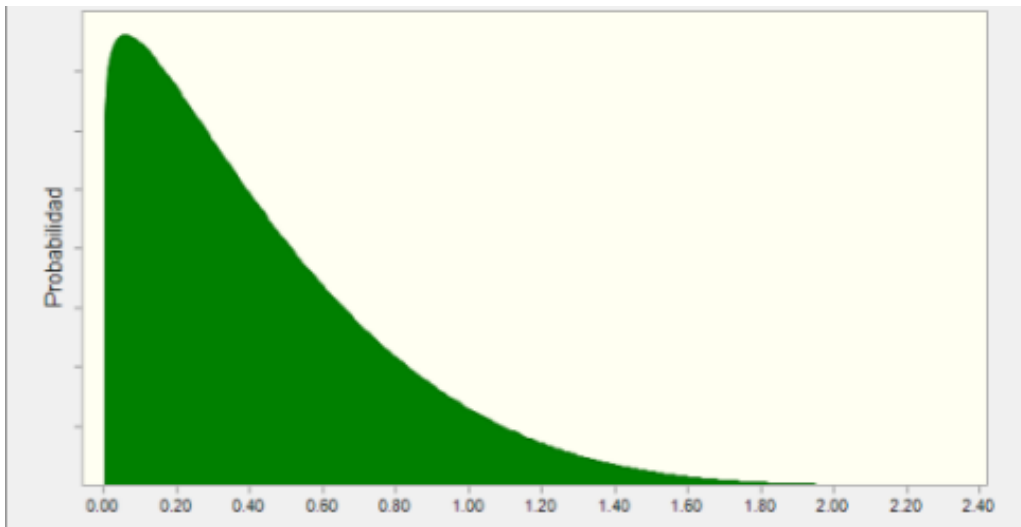
Beta PERT distribution with the parameters:

Minimum	0.00
More probable	0.06
Maximum	2.36

The selected range was 0.00 to ∞

Correlated with:	Coefficient	
Big brand bottled water flow in 5 liter carafes (Lv2)		0.29
Big brand bottled water flow in 20 liter carboys (Lv1)		0.11

Figura 82. Distribución de probabilidad Beta PERT para simular el consume de agua embotellada en botellas de 1.5 litros (Marca Grande).



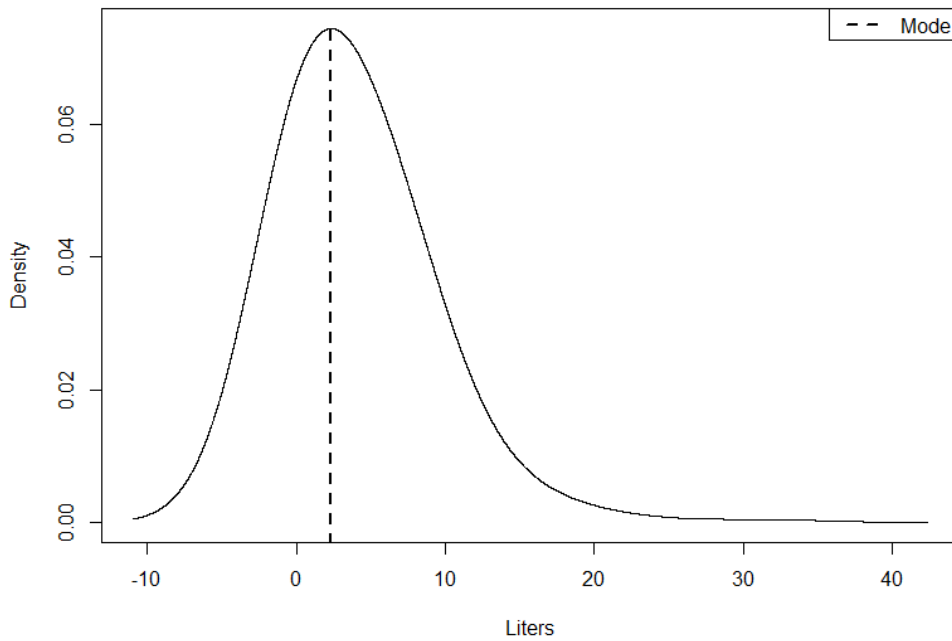
Fuente: Elaboración propia.

A1.2.3.1.4 Distribución de probabilidad propuesta para la simulación del caudal de agua embotellada en garrafones de 20 litros (de relleno) (L_{v4})

Resumen estadístico y grafica de densidad de probabilidad calculados a partir de los datos recolectados en la encuesta.

Summary of statistical parameters						
Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	
0.000	0.000	2.857	3.918	5.714	31.429	

Figura 83. Densidad de probabilidad del consume diario de agua embotellada de relleno en garrafones de 20 litros ((LPWC's).



Fuente: Elaboración propia.

Estimated probability distribution information

Estimated location
Mode: 2.351329

Estimated value of the density
Mode: 0.07448657

Critical bandwidth: 3.633989

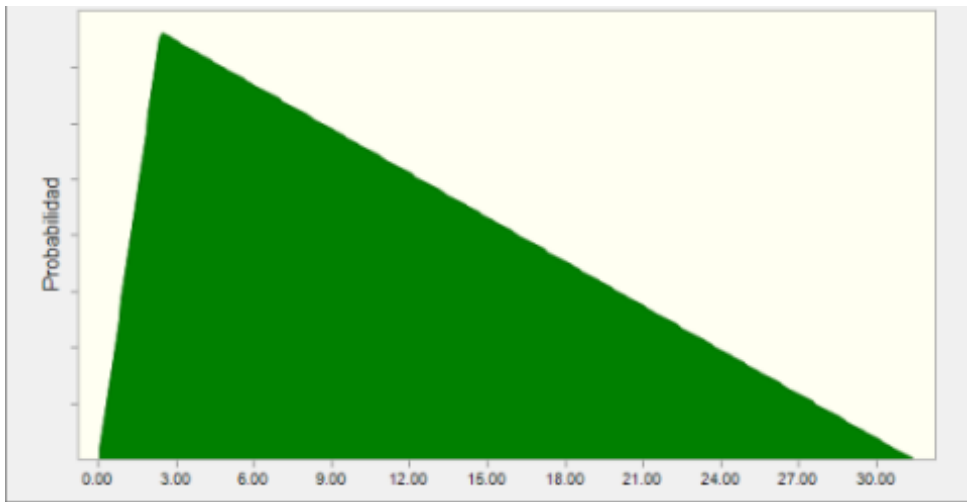
Se eligió una distribución triangular para incrementar la magnitud estimada. Esta decisión se fundamentó en que en la encuesta que se recabó la información de que el número de purificadoras clandestinas y regulares son similares, y ello implica un mayor número de agua embotellada de relleno que se distribuye a la población.

Suposición: Relleno · Simulación Garr
Triangular distribution with the parameters:
Minimum 0.00
More probable 2.35
Maximum 31.43
Correlated with:
Marca · Simulación
Big brand bottle water total (LV1+LV2+LV3)

Coefficient

-0.56

Figura 84. Distribución de probabilidad triangular para la simulación del caudal de agua en garrafones de relleno de 20 litros.



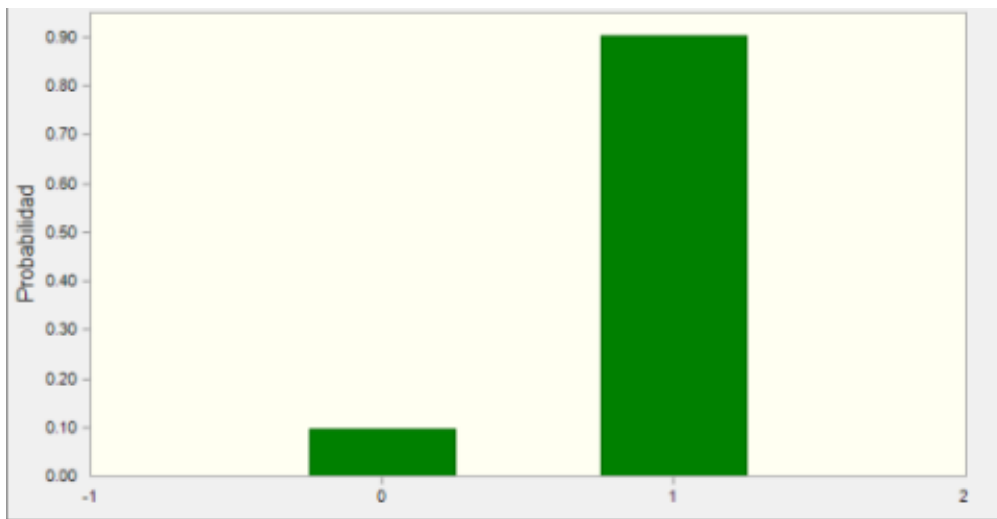
Fuente: Elaboración propia.

A1.2.3.1.5 Distribución de probabilidad propuesta para la simulación de la razón de la población que consume agua embotellada (Rba)

De acuerdo con los datos de la encuesta, en el 90.23% de las viviendas no se consume agua de llave. Se propuso una distribución de probabilidad “Si-No” para simular la variable Rba y se insertaron los siguientes parámetros.

Yes-No distribution with the parameters:
Probability of Yes(1) 0.9023438

Figura 85. Distribución de probabilidad "Si-No" para simular la razón de las viviendas donde se consume agua embotellada.



Fuente: Elaboración propia.

A1.2.3.2 Previsión y análisis de sensibilidad (agua embotellada)

Crystal report: complete

Simulation started on 05/18/2022 at 10:57 a.m.
Simulation stopped on 05/18/2022 at 11:02 a.m.

Execution preferences:

Number of tests executed 20,000
Monte Carlo
Random initialization
Precision control enabled
Confidence level 95.00%.

Execution statistics:

Total run time (sec) 295.51
Trials/second (average) 68
Random numbers per second 2,504

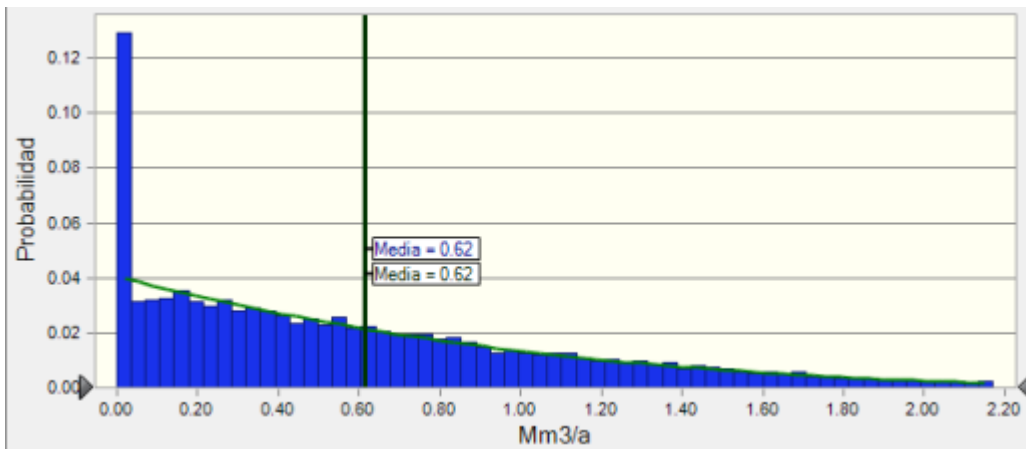
A1.2.3.2.1 Previsión del caudal de agua embotellada en garrafones de 20 litros (marca grande) (Q_{em1}).

Forecast:

Summary:

The full range is 0.00 to 3.29.
After 20,000 tests, the standard error of the mean is 0.00.

Figura 86. Gráfico de previsión del caudal de agua embotellada en garrafones de 20 litros (marca grande), unidades ($Mm^3/year$)



Fuente: Elaboración propia.

Los siguientes valores estadísticos se relacionan con la distribución de probabilidad.

Table 24. *Resumen estadístico de la gráfica de previsión del caudal de agua embotellada en garrafones de 20 litros (marca grande).*

Statistics:	Forecast values
Tests	20,000
Base case	0.58
Mean	0.62
Median	0.48
Mode	0.00
Standard deviation	0.56
Variance	0.31
Bias	1.08
Kurtosis	3.81
Coefficient of variation	0.9025
Minimum	0.00
Maximum	3.29
Range width	3.29
Mean standard error	0.00

El valor de la media (0.62 Mm³/a) se incluyó en el modelo de Metabolismo Hídrico Urbano.

A continuación, se presenta la distribución de los percentiles.

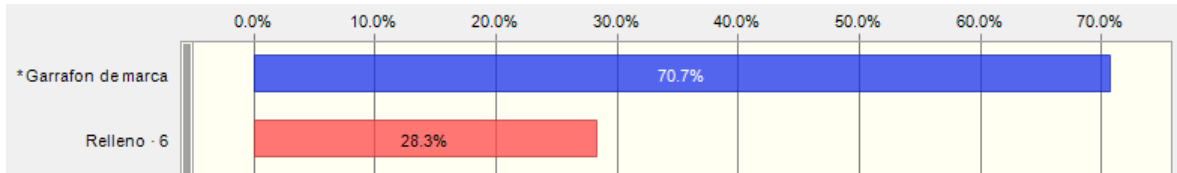
Table 25. *Percentiles de la gráfica de previsión del caudal de agua embotellada en garrafones de 20 litros (marca grande).*

Percentiles:	Forecast values
0%	0.00
10%	0.00
20%	0.11
30%	0.22
40%	0.34
50%	0.48
60%	0.63
70%	0.81
80%	1.06
90%	1.42
100%	3.29

Análisis de sensibilidad

La Figura 87 muestra la gráfica de análisis de sensibilidad. La primera variable se refiere al número de litros de agua consumida en garrafones de 20 litros de marca (*Lv1*), y la segunda variable se refiere al número de viviendas en el cual se consumió dicha agua embotellada (*Rba*).

Figura 87. Sensitivity chart of the forecast flow rate of bottled water in 20-liter carboys consumed in dwellings (Big brand).



Fuente: Elaboración propia.

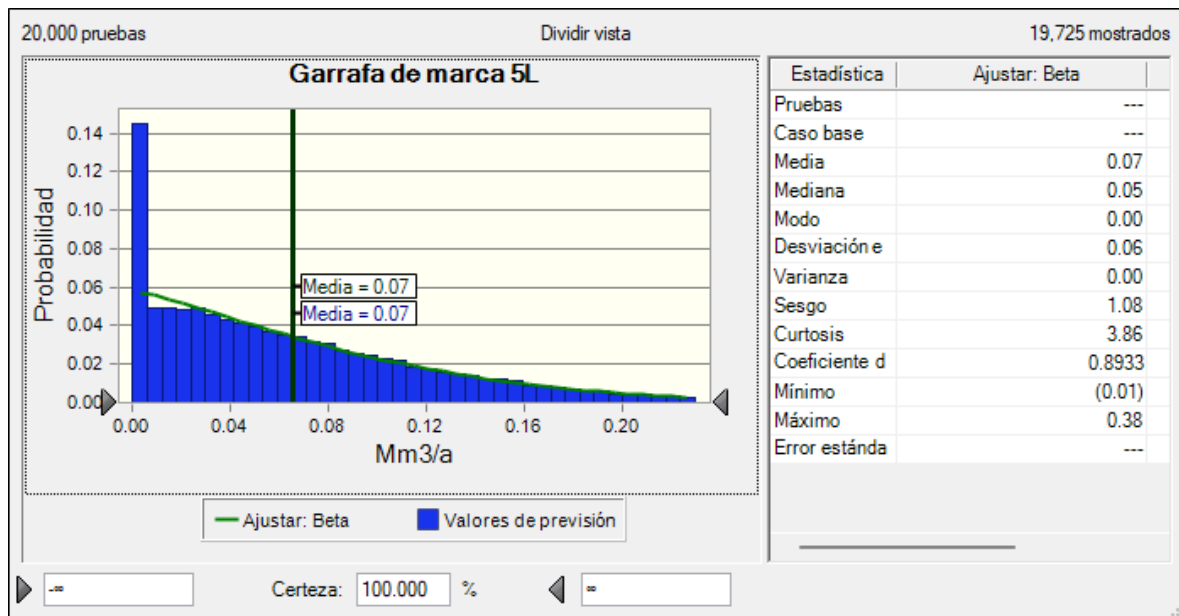
A1.2.3.2.2 Previsión del caudal de agua embotellada en garrafas de 5 litros (marca grande) (Q_{em2})

Forecast:

Summary:

The full range is 0.00 to 0.36.
 After 20,000 tests, the standard error of the mean is 0.00.

Figura 88. Gráfico de previsión del caudal de agua embotellada en garrafas de 5 litros (marca grande). Unidades ($Mm^3/year$)



Fuente: Elaboración propia.

Los siguientes valores estadísticos se relacionan con la distribución de probabilidad.

Table 26. Información estadística de la gráfica de previsión del caudal de agua embotellada en garrafas de 5 litros (marca grande).

Statistics:	Forecast values
Tests	20,000
Base case	0.04
Mean	0.07
Median	0.05
Mode	0.00
Standard deviation	0.06
Variance	0.00
Bias	1.08
Kurtosis	3.86
Coefficient of variation	0.8934
Minimum	0.00
Maximum	0.36
Range width	0.36
Mean standard error	0.00

El valor medio (0.07 Mm³/a) se incluyó en el modelo de Metabolismo Hídrico Urbano. La distribución de percentiles se muestra a continuación.

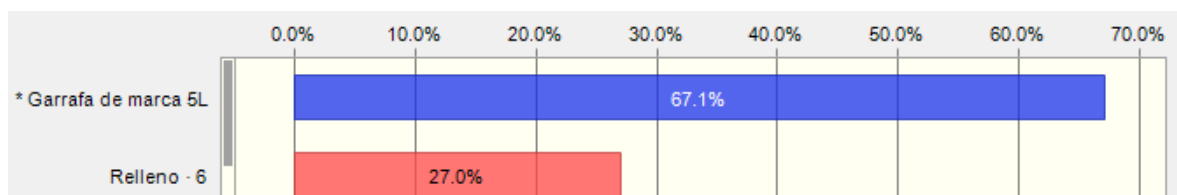
Tabla 27. *Percentiles de la gráfica de previsión del caudal de agua embotellada en garrafas de 5 litros (marca grande)*

Percentiles:	Forecast Value
0%	0.00
10%	0.00
20%	0.01
30%	0.02
40%	0.04
50%	0.05
60%	0.07
70%	0.09
80%	0.11
90%	0.15
100%	0.36

Análisis de sensibilidad

La Figura 89 muestra el análisis de sensibilidad donde la primera variable representa los litros de agua embotellada transportada en garrafas de 5 litros (Lv2), y la segunda variable representa la razón de las viviendas donde se consume agua embotellada (Rba).

Figura 89. *Gráfica de análisis de sensibilidad para la previsión del caudal de agua embotellada en garrafas de 5 litros (marca grande).*



Fuente: Elaboración propia.

A1.2.3.2.3 Previsión del caudal de agua embotellada en botellas de 1.5 litros (marca grande)
(Q_{em3})

Forecast:

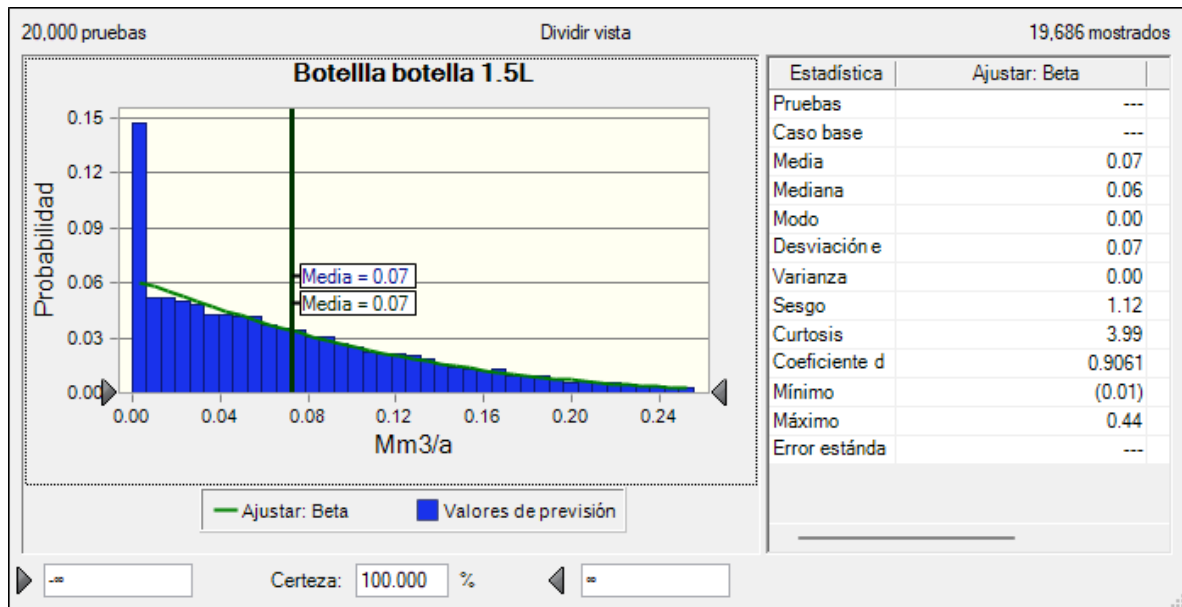
Summary:

The full range is 0.00 to 0.40

The base case is 0.03

After 20,000 tests, the standard error of the mean is 0.00.

Figura 90. Gráfico de previsión del caudal de agua embotellada de 1.5 litros (marca grande), unidades ($Mm^3/year$).



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan la información estadística obtenida de la probabilidad de distribución.

Tabla 28. *Statistical data of the forecast graph of the flow rate of bottled water in 5-liter bottles (Big brand).*

Statistical:	Forecast values
Tests	20,000
Base case	0.03
Mean	0.07
Median	0.06
Mode	0.00
Standard deviation	0.07
Variance	0.00
Bias	1.12
Kurtosis	3.99
Coefficient of variation	0.9061
Minimum	0.00
Maximum	0.40
Range width	0.40
Mean standard error	0.00

El valor medio (0.07 Mm³/a) se incluyó en el modelo de Metabolismo Hídrico Urbano. A continuación, se presentan los percentiles de la distribución de probabilidad prevista.

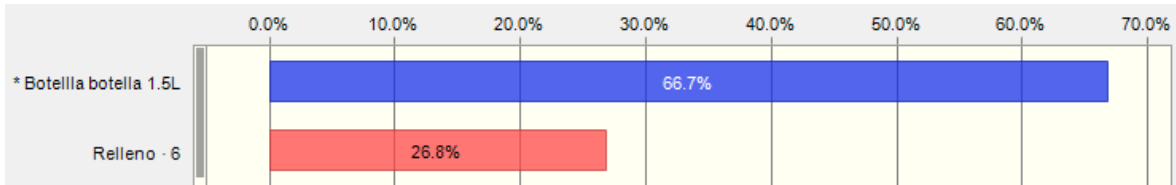
Tabla 29. *Percentiles de la gráfica de previsión del caudal de agua embotellada en botellas de 1.5 litros (marca grande)*

Percentiles:	Forecast values
0%	0.00
10%	0.00
20%	0.01
30%	0.03
40%	0.04
50%	0.06
60%	0.07
70%	0.10
80%	0.12
90%	0.17
100%	0.40

Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad mostrado en la figura 91, muestra como primera variable a los litros consumidos de agua embotellada en botellas de 1.5 litros (Lv3), la segunda variable corresponde con la razón de viviendas donde se consume agua embotellada (Rba).

Figura 91. Gráfico de sensibilidad de la previsión del caudal de agua embotellada en botellas de 1.5 litros (marca grande).



Fuente: Elaboración propia.

A1.2.3.2.4 Previsión del caudal de agua embotellada en garrafones de 20 litros (relleno) (Q_{emr})

Forecast:

Summary:

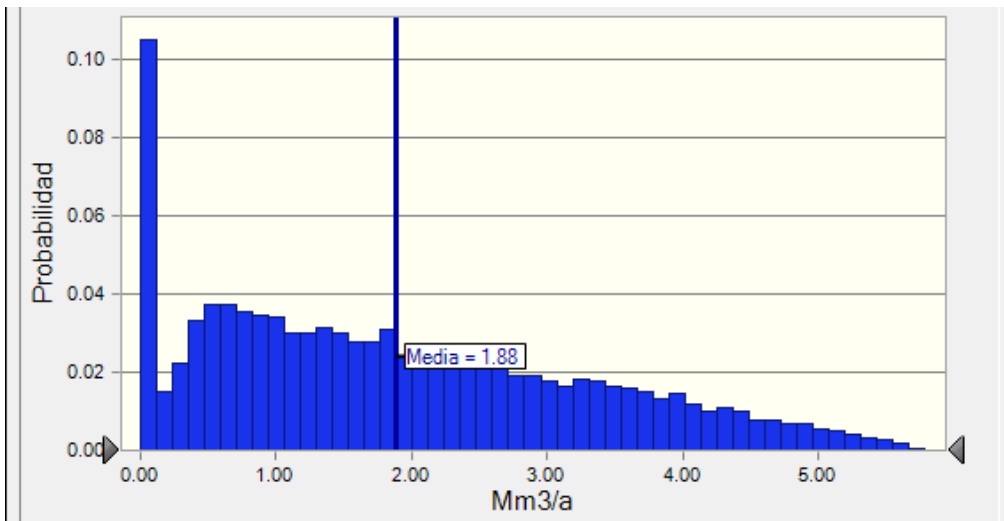
The full range is 0.00 to 5.78.

The base case is 0.66

After 20,000 trials, the standard error of the mean is 0.01

Figura 92. Gráfica de previsión del caudal de agua embotellada en garrafones de 20 litros (relleno). Unidades

($Mm^3/year$)



Fuente: Elaboración propia.

Los valores estadísticos siguientes se obtuvieron de la distribución de probabilidad prevista.

Tabla 30. Resumen estadístico de la gráfica de previsión del caudal de agua embotellada en garrafrones de 20 litros (relleno).

Statistics:	Forecast values
Tests	20,000
Case base	0.66
Mean	1.88
Median	1.64
Mode	0.00
Standard deviation	1.41
Variance	1.98
Bias	0.5452
Kurtosis	2.38
Coefficient of variation	0.7489
Minimum	0.00
Maximum	5.78
Range width	5.78
Mean standard error	0.01

El valor medio (1.88 Mm³/a) se incluyó en el modelo de Metabolismo Hídrico Urbano. A continuación, se presentan los percentiles de la gráfica de distribución prevista.

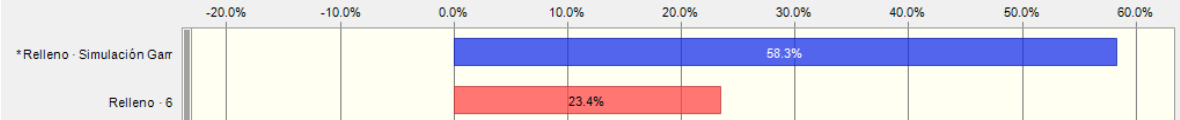
Tabla 31. Percentiles de la gráfica de previsión de agua embotellada en garrafrones de 20 litros (relleno).

Percentiles:	Forecast value
0%	0.00
10%	0.06
20%	0.55
30%	0.88
40%	1.25
50%	1.64
60%	2.08
70%	2.59
80%	3.21
90%	3.96
100%	5.78

Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad se muestra en la Figura 93 donde la primera variable corresponde a los litros consumidos de agua transportada en garrafones rellenos (*Lv4*), la segunda variable corresponde a la razón de las viviendas donde se consume agua embotellada (*Rba*).

Figura 93. Gráfica de sensibilidad de la previsión del caudal de agua embotellada en garrafones de 20 litros (relleno).



Fuente: Elaboración propia.

A1.2.4 Información obtenida con la simulación de Monte Carlo comparada con información estadística tomada desde el censo de INEGI.

La simulación de Monte Carlo de la población por vivienda y el total de población en la ciudad central obtenidos a partir del censo de INEGI se muestran a continuación.

A1.2.4.1 Comparación de los habitantes por vivienda

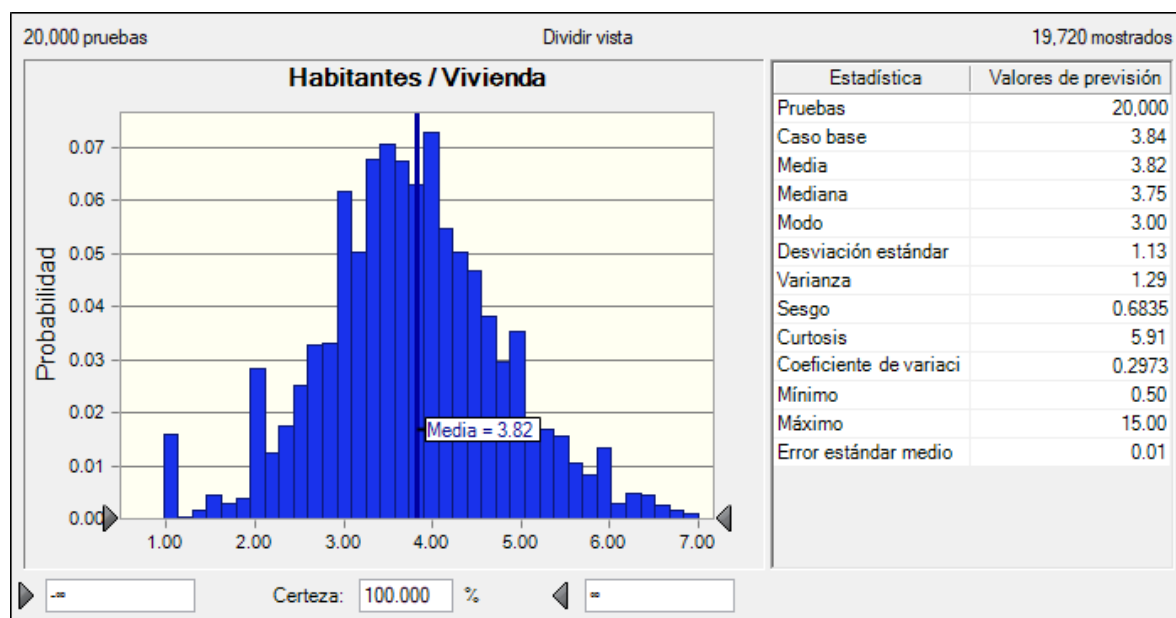
Forecast:

Summary:

The full range is from 0.50 to 15.00.

After 20,000 trials, the standard error of the mean is 0.01.

Figura 94. Gráfico de previsión de la cantidad de habitantes por vivienda, unidades (dwelling inhabitants)



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Resumen estadístico de la previsión del número de habitantes por vivienda.

Forecast:

Statistics:	Forecast values
Test	20,000
Base case	3.84
Mean	3.82
Median	3.75
Mode	3.00
Standard deviation	1.13
Variance	1.29
Bias	0.6835
Kurtosis	5.91
Coefficient of variation	0.2973
Minimum	0.50
Maximum	15.00
Range width	14.50
Mean standard error	0.01

La media estimada con la simulación de Monte Carlo es 3.82 habitantes por vivienda, el cual es 3.4% más alto que la media de INEGI en 2020, que es de 3.639 habitantes por vivienda. La diferencia en las magnitudes se interpreta como que la encuesta se respondió por personas que en su mayoría viven en áreas con mayor densidad.

Tabla 33. Percentiles de la previsión del número de habitantes por Vivienda.

Percentiles:	Forecast values
0%	0.50
10%	2.50
20%	3.00
30%	3.26
40%	3.50
50%	3.75
60%	4.00
70%	4.26
80%	4.62
90%	5.16
100%	15.00

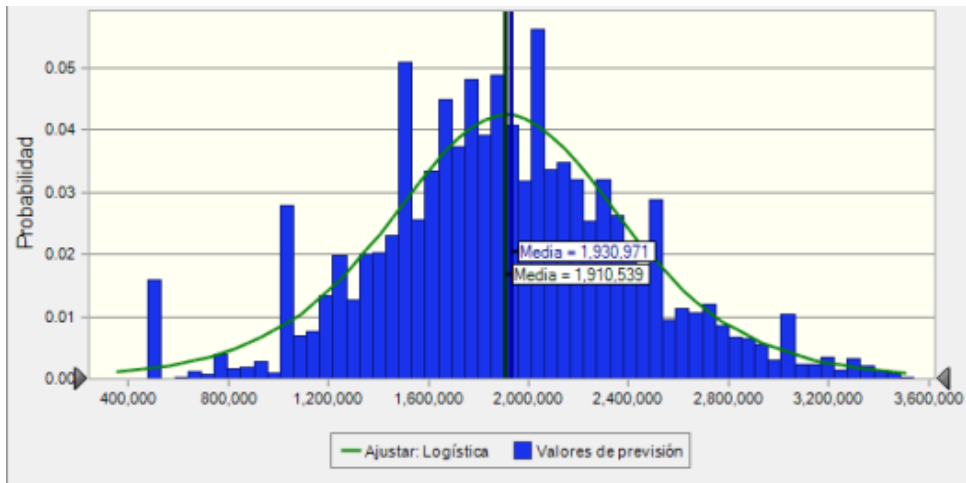
A1.2.4.2 Habitantes por Vivienda en el área cubierta por la Empresa de Agua.

Forecast:

Summary:

The full range is 253,010 to 7,590,285.
After 20,000 tests, the standard error of the mean is 4.059.

Figura 95. Población total en la ciudad central (viviendas en la cobertura de la empresa de agua)



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34. Resumen estadístico de la previsión de la población total en la cobertura de la empresa de agua.

Estadísticas:	Forecast values
Tests	20,000
Base case	1,945,175
Mean	1,930,971
Median	1,897,571
Mode	1,518,057
Standard deviation	574,097
Variance	329,587,821,311
Bias	0.6835
Kurtosis	5.91
Coefficient of variation	0.2973
Minimum	253,010
Maximum	7,590,285
Range width	7,337,276
Mean standard error	4,059

La media de la simulación de monte Carlo fue de 1,930,971 que representa el 4.86% mayor que el valor de la empresa de agua en 2015 que es de 1,841,500 incluido en Martínez-Austria &

Vargas-Hidalgo (2016). La diferencia en la magnitud se interpreta como que la encuesta se respondió por población de las zonas con mayor densidad de población, y también pudo influir en la diferencia el tiempo transcurrido de 2015 a 2021, el segundo es el año en el que se aplicó la encuesta.

Tabla 35. *Percentiles de la previsión de la población total en la cobertura de la empresa de agua.*

Forecast:

Percentiles:	Forecast values
0%	253,010
10%	1,265,048
20%	1,518,057
30%	1,649,247
40%	1,771,067
50%	1,897,571
60%	2,024,076
70%	2,156,081
80%	2,337,326
90%	2,611,058
100%	7,590,285

A1.2 DIAGRAMA GENERAL DEL METABOLISMO HÍDRICO URBANO EN LA CIUDAD DE PUEBLA Y SU ZONA METROPOLITANA

Figura 96. *Diagrama general del Metabolismo Hídrico Urbano de la ciudad de Puebla y su área metropolitana.*
Nota: Las letras “I” y “E” en el diagrama representan a los flujos importados y exportados. General diagram of the UWM model for the City of Puebla and its metropolitan area. Note: The letters “I” and “E”, indicated in the diagram, represent import and export flows. These two flows connect the environment outside of the system boundaries with the processes inside.

A2 ANEXO DE DATOS HISTÓRICOS

Tabla 36. *Serie histórica de extracción de agua para la ciudad de Puebla.*

Año	Agua extraída Mm³/año	Fuente
2018	121.34	<i>Datos entregados por SOAPAP</i>
2017	114.90	<i>Datos entregados por SOAPAP</i>
2015	79.14	<i>. SOAPAP 2016</i>
2012	116.83	<i>Programa municipal de DUS (SOAPAP)</i>
2010	113.90	<i>SOAPAP 2010 en López Zamora (2013b)</i>
2009	114.35	<i>SOAPAP 2010 en López Zamora (2013b)</i>
2008	116.10	<i>SOAPAP 2010 en López Zamora (2013b)</i>
2007	117.90	<i>SOAPAP 2010 en López Zamora (2013b)</i>
2006	118.30	<i>SOAPAP 2010 en López Zamora (2013b)</i>
2005	118.80	<i>SOAPAP 2010 en López Zamora (2013b)</i>
2004	116.20	<i>SOAPAP 2010 en López Zamora (2013b)</i>
2003	118.56	<i>SOAPAP 2010 en López Zamora (2013b)</i>
2002	116.46	<i>SOAPAP 2010 en López Zamora (2013b)</i>
2001	117.69	<i>SOAPAP 2010 en López Zamora (2013b)</i>
2000	116.22	<i>SOAPAP 2010 en López Zamora (2013b)</i>
1999	112.34	<i>SOAPAP 2010 en López Zamora (2013b)</i>
1998	104.76	<i>SOAPAP 2010 en López Zamora (2013b)</i>
1997	94.79	<i>SOAPAP 2010 en López Zamora (2013b)</i>
1984	110.38	<i>. 2er informe Jorge Murad Macluf</i>
1983	92.84	<i>. 1er informe Jorge Murad Macluf</i>
1982	74.24	<i>.3er informe Victoriano Álvarez 1983</i>
1981	58.47	<i>2do Informe Victoriano Álvarez 1982</i>
1980	64.65	<i>.1er informe de Victoriano Álvarez 1981</i>
1979	63.15	<i>Plan Director Urbano Puebla 1980</i>
1978	64.02	<i>.2do informe de Manuel Quiróz</i>
1977	68.37	<i>Tesis Alfredo Anzures 1978</i>
1976	74.46	<i>1er informe de Informe 1976</i>
1976	56.58	<i>1er informe de Informe 1976</i>
1975	50.74	<i>.3er informe de Eduardo Cue Merlo 1973</i>
1975	49.03	<i>Tesis Alfredo Anzures 1978</i>
1974	59.45	<i>.2do Informe de Eduardo Cue Merlo 1973</i>
1973	60.64	<i>1er Informe de Eduardo Cue Merlo 1973</i>
1971	52.76	<i>.3er informe de Carlos Arruti 1971</i>
1970	46.67	<i>.2do informe de Carlos Arruti 1970</i>
1969	49.89	<i>.1er informe de Carlos Arruti 1969</i>
1968	41.00	<i>.2do informe de Arcado Medel</i>
1967	36.27	<i>Informe 1967</i>
1966	31.54	<i>Informe 1967</i>
1965	30.94	<i>.3er Informe de Carlos Vergara Soto</i>
1964	30.94	<i>.3er Informe de Carlos Vergara Soto</i>
1963	30.94	<i>.3er Informe de Carlos Vergara Soto</i>

1961	44.17	<i>Tesis Alfredo Anzures 1978</i>
1957	37.75	<i>3ro informe de Arturo Perdomo</i>
1956	35.13	<i>2do informe de Arturo Perdomo</i>
1953	20.62	<i>3mo informe de Nicolás Vázquez</i>
1952	16.84	<i>2er informe de Nicolás Vazquez</i>
1951	17.31	<i>1er informe de Nicolás Vazquez</i>
1950	8.80	<i>1er informe de Enrique Molina</i>

Fuente: Elaboración propia.

A2.1 Obras y acciones relacionadas con el Metabolismo Hídrico Urbano desde 1951 a 1982

Para el año 1951

Cuadro 13. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1951.

Año	Procesos metabólicos por año.
1951	<p>Obras relacionadas con la captación (N1.MHU. extracción):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lumbreras y Galerías, tramo Amalucan y el Conde. Instalación Eléctrica y bombas <i>autos-tarter</i> en Amalucan y el Conde. • Se cavaron 2 pozos en el Cristo, Pozo en san Rafael, y Miguel Alemán. • Mantenimiento en el pozo La Trinidad, Loreto, Conde. • Pozo de Exploración en obras de la Malinche. • Rayas del desarenador. <p>Acciones y obras relacionadas con la potabilización (N1.MHU transformación)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adquisición de tambores de cloro y servicio. <p>Obras y acciones relacionadas con la distribución (N1.MHU distribución):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Válvulas en tomas de agua. • Desazolve y nivelación. <p>Colonias beneficiadas (N1.MHU consumo):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Santa Anita, El Tamborcito, Colonia Morelos, Lázaro Cárdenas, Santa María.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1951)

Para el año 1952

Cuadro 14. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1952.

Año	Procesos metabólicos por año.
1952	<p>Obras y acciones relacionadas con la captación (N1.MHU extracción):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Continuación de perforación de Galerías Filtrantes del el Conde y Amalucan. • Construcción de desarenador. Instalación en el pozo de san Rafael. • Mantenimiento de pozos de Santa María Cieneguilla. Perforación de pozo en La Cieneguilla. <p>Obras y acciones relacionadas con la distribución (N1.MHU distribución):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reutilización de tubo viejo para proveer de agua a zona de la Paz. <p>Colonias beneficiadas (N1.MHU consumo):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Santa Anita, San Miguelito, San Matías, y la Beneficencia Española

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1952)

Para el año 1953

Cuadro 15. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1953.

Año	Procesos metabólicos por año.
1953	<p>Obras relacionadas con la captación (N1.MHU extracción):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Continuación de la ampliación de las galerías filtrantes. • Conexión en la galería del Conde. • Ampliación y reacondicionamiento del pozo de la Cantera donde se instaló bomba y cambio de tuberías. • Mantenimiento de pozo en la Cantera y Rementería. <p>Obras relacionadas con la distribución (N1.MHU distribución):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Construcción de fuente en San Pablo Xochimehuacan. <p>Colonias Beneficiadas (N1. MHU consumo):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colonia Francisco y Madero, Vicente Guerrero, Colonia Amor, Tierra y Libertad, Beneficencia Española, Santa Anita, San Matías, San Miguelito, El Tamborcito, Colonia Morelos. San Pablo Xochimehuacan. <p>Comentarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los pozos de Miguel Alemán y San Rafael, 1 Cieneguilla no están conectados al sistema. Pozos América y La Paz no han sido recibidos por el municipio.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1953).

Para el año 1954

Cuadro 16. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1954.

Año	Procesos metabólicos por año.
1954	<p>Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción):</p> <ul style="list-style-type: none">• Mantenimiento de Galerías Filtrantes del Conde y Oropeza.• Puerta de Acero en recipiente de Loreto debido a que por falta de control estaba en peligro el abastecimiento de agua en la ciudad. <p>Obras relacionadas con la distribución (N1.MHU distribución)</p> <ul style="list-style-type: none">• Mantenimiento a tubo general de La Cieneguilla.• Se destaparon acueductos de Xonaca y Humboldt• Se comentó que existe el problema de red hídrica vieja. <p>Potabilización (N1.MHU transformación):</p> <ul style="list-style-type: none">• Mantenimiento de clorinadores. <p>Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo):</p> <ul style="list-style-type: none">• Colonia Santa María.• Se aumentó el servicio de agua de 7 a 8 horas diarias.• Colocación de servicio independiente en Panteón Municipal. Colocación de hidrante para bomberos en pozos del Cristo. Para no afectar el Recipiente San Francisco.• Se encontraron tomas no oficiales (consumo no registrado).• Por prevención de problemas de salud, se instala una toma de agua potable gratuita en Xanenetla (asequibilidad). <p>Otros:</p> <ul style="list-style-type: none">• Levantamiento de planos de la Red Hídrica de la Ciudad.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1954).

Para el año 1955

Cuadro 17. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1955.

Año	Procesos metabólicos por año.
1955	<p data-bbox="321 289 919 317">Acciones relacionadas con el entorno (N1.BF Acuífero)</p> <ul data-bbox="370 323 1385 384" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="370 323 1385 384">• Pozo de sondeo en la Zona de La Malinche, donde según estudios geofísicos indican la existencia de grandes depósitos de agua. <p data-bbox="321 390 1174 417">Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción):</p> <ul data-bbox="370 424 1385 884" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="370 424 837 451">• Obras en La Constanca (obra extensa). <li data-bbox="370 457 1166 485">• Mantenimiento de dos motores de 75 H.P. en estación de La Cantera. <li data-bbox="370 491 1122 518">• Mantenimiento de dos motores de 150 H.P. en casa de bombas 2 <li data-bbox="370 525 1287 552">• Mantenimiento de dos motores de 300 H.P. en casa de bombas de San Francisco <li data-bbox="370 558 854 585">• Remangaron pozos del Conde y Oropeza <li data-bbox="370 592 813 619">• Corrección de piso en línea Oropeza. <li data-bbox="370 625 643 653">• Pozo en vía a Oaxaca <li data-bbox="370 659 1385 720">• Perforación de pozo a 200 metros del desarenador y a 200 metros de profundidad en la Malinche con expectativas de captar de 60 a 70 l/s. <li data-bbox="370 726 1024 753">• Tapar galería de Amalucan en barranca del Río Alseseca. <li data-bbox="370 760 776 787">• Acondicionamiento en la Cantera <li data-bbox="370 793 1073 821">• Desazolve de 200m de galería hacia el recipiente N.2 Xonaca. <li data-bbox="370 827 1385 888">• El fraccionamiento Bellavista resolvió su propio problema de abastecimiento de agua cavando un pozo artesiano, de igual forma con el fraccionamiento El Pastor. <p data-bbox="321 894 997 921">Obras relacionadas con la distribución (N1.MHU distribución)</p> <ul data-bbox="370 928 1146 1157" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="370 928 773 955">• Corrección de 150m de bóvedas. <li data-bbox="370 961 1057 989">• Desazolve de acueducto La Cieneguilla a casa de bombas 2. <li data-bbox="370 995 1146 1022">• Desazolve de 200m de tubería de conducción de colonia Humboldt. <li data-bbox="370 1029 805 1056">• Tapado de 3 fugas en La Cieneguilla. <li data-bbox="370 1062 878 1089">• Arreglo de fuga de acueducto Xonaca 50m. <li data-bbox="370 1096 846 1123">• Arreglo de fuga en jarro de aire Xonaca. <li data-bbox="370 1129 716 1157">• Mantenimiento de Válvulas <p data-bbox="321 1163 781 1190">Potabilización (N1.MHU transformación):</p> <ul data-bbox="370 1197 1239 1224" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="370 1197 1239 1224">• Clorinación supervisada por servicio coordinados de Salubridad y Asistencia. <p data-bbox="321 1230 797 1257">Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo):</p> <ul data-bbox="370 1264 1385 1446" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="370 1264 1385 1446">• Volcanes, Pajaritas, Rivera de Santiago, Hospital General, Juárez, Santa Cruz, Los Ángeles, Belisario Domínguez, Colonia Amor, Manuel García, Tierra y Libertad primera y segunda sección, Reforma, Lázaro Cárdenas, Morelos y Pavón al lado Poniente de la colonia Santa María, Colonia Guadalupe, Cuauhtémoc, Morelos, Nueva colonia de los Maestros Federales, los Barrios de San Matías, Tamborcito, San Miguelito, Santiago, Avenida de la Paz y El Toreo.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1955).

Para el año 1956

Cuadro 18. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1956.

Año	Procesos metabólicos por año.
1956	Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción): <ul style="list-style-type: none">• Mantenimiento a pozo de 150 HP en casa de bombas de San Francisco.• Mantenimiento a baleros de bomba en casa de bombas de San Francisco.• Mantenimiento a Motor 300 HP en casa de Bombas La Cieneguilla.• Cambio de compuerta en Recipiente de Loreto más una bomba de 2HP para riego.• Cambio de transformador y mantenimiento a Bombas de la Estación de Santa María Cieneguilla.• Reparación de compuerta en Recipiente de Xonaca.• Mantenimiento a bombas de Recipiente de Colonia Humboldt.• Desazolve de los túneles del Conde y Oropeza.• Mantenimiento al desarenador del Conde y Oropeza. Obras relacionadas con la distribución (N1.MHU distribución) <ul style="list-style-type: none">• Mantenimiento al servicio eléctrico en la Estación de Rementería.• Mantenimiento a bomba de 75 HP en Estación de La Cantera.• Mantenimiento a Bombas, en la estación de San Juan del Río.• Fugas tapadas en el acueducto Xonacatepec. Potabilización (N1.MHU transformación): <ul style="list-style-type: none">• Mantenimiento a la clorinación supervisado

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1956).

Para el año 1957

Cuadro 19. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1957.

Año	Procesos metabólicos por año.
1957	Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción): <ul style="list-style-type: none">• Construcción de muro de contención• Construcción de caja de agua para colonia Francisco Villa.• El fraccionamiento Bellavista resolvió su problema de abastecimiento cavando un pozo artesiano. Obras relacionadas con la distribución (N1.MHU distribución) <ul style="list-style-type: none">• Distribución. Se tiene fuerte problema de fugas derivado del aumento de presión en las tuberías derivado de la obra de La Constancia. Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo): <ul style="list-style-type: none">• Miguel Alemán, Aquiles Serdán, Reforma, Maestros Federales, Lázaro Cárdenas, Azcarate.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1957).

Para el año 1958

Cuadro 20. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1958.

Año	Procesos metabólicos por año.
1958	Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción): <ul style="list-style-type: none">• Limpieza y mantenimiento de fuentes de abastecimiento y galerías filtrantes de El Conde, Oropeza y Amalucan.• 74 metros de ampliación en Galería Filtrante del El Conde. Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo): <ul style="list-style-type: none">• Aquiles Serdán primera sección, Héroe de Nacozari, Miguel Alemán, Resurgimiento segunda y tercera sección, Azcarate, reforma, Maestros Federales, Benito Juárez, Una sección de la colonia Lázaro Cárdenas.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1958).

Para el año 1959

Cuadro 21. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1959.

Año	Procesos metabólicos por año.
1959	Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción): <ul style="list-style-type: none">• Se indicó que el problema de captación se resolvió en la administración pasada.• Se mencionó que la colonia San Sebastián de Aparicio no tuvo agua potable, ya que hasta la fecha su fuente de agua fue un jagüey. Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo): <ul style="list-style-type: none">• Santa María Xonacatepec, La Libertad, San Sebastián de Aparicio.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1959)

Para el año 1960

Cuadro 22. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1960.

Año	Procesos metabólicos por año.
1960	Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción): <ul style="list-style-type: none">• Mantenimiento de bombas, maquinaria, desarenador.• Bomba nueva para pozo en La Cantera.• Bomba de pozo profundo, más instalación eléctrica más caseta de vigilancia en Miguel Alemán.• Construcción de caseta en Loreto• Desazolve de galerías filtrantes del Conde, Oropeza y Amalucan. Potabilización (N1.MHU transformación): <ul style="list-style-type: none">• Instalación de aparato de cloro en Loreto, Xonaca, Humboldt, Cieneguilla. Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo): <ul style="list-style-type: none">• La Libertad, Francisco I Madero, José María Morelos y Pavón, El Águila, Lázaro Cárdenas, Aquiles Serdán, Barrio de Xonaca, Santa Cruz de los Ángeles, Héroes del 5 de mayo.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1960).

Para el año 1961

Cuadro 23. *Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1961.*

Año	Procesos metabólicos por año.
1961	Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción): <ul style="list-style-type: none">• Inauguración de estación de bombeo “Miguel Alemán”, con transformador de 75 KVA. Motor de 25 HP. 20 l/s• Pozo de 115 metros de profundidad en San Rafael.• Desazolve de galería el Conde, y Oropeza.• Mantenimiento para los pozos en red en La Paz. Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo): <ul style="list-style-type: none">• Santa Bárbara, Santa Bárbara Sur, Osorio, Francisco I. Madero, Aquiles Serdán, Hidalgo, Santa Cruz los Ángeles, El Águila, Los Volcanes, La Libertad, La Libertad Reforma, Barrio de Xonaca. (Ayuntamiento de Puebla, 1961)

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1961).

Para el año 1963

Cuadro 24. *Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1963.*

Año	Procesos metabólicos por año.
1963	Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción): <ul style="list-style-type: none">• Mantenimiento en bombas y recipientes• Cambio del cuerpo de impulsores de bomba más el embobinado del transformador.• Embobinado del motor de 150 HP en la estación de San Francisco.• Desazolvar galería filtrante del Conde, Amalucan, Oropeza.• Construcción de presa para evitar erosión de estación de bombeo San Rafael. Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo): <ul style="list-style-type: none">• Diagonal Defensores de La República, 12 oriente entre 28 y 38 norte, 12 oriente entre 12 oriente y privada 24 oriente, 20 de noviembre, El Porvenir, 2 de abril, La Libertad, Santa Cruz los Ángeles. Se proyectaron redes en colonias Gabriel Pastor primera y segunda sección, Las Palmas, aprobación del Fraccionamiento Club de Golf S. A. de C. V. Otros: <ul style="list-style-type: none">• Contratación de la empresa Pitometer de México S.A. de C. V. para hacer un estudio hídrico.• Al parecer en este periodo se anexaron los otros municipios al de Puebla.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1963).

Para el año 1964

Cuadro 25. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1964.

Año	Procesos metabólicos por año.
1964	<p>Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción):</p> <ul style="list-style-type: none">• Mantenimiento de Bombas, Recipientes y Desarenadores.• Embobinado de Motor de 250 HP en La Constancia.• Desazolve de galerías filtrantes de El Conde, Amalucan, Oropeza y La Malinche. <p>Potabilización (N1.MHU transformación):</p> <ul style="list-style-type: none">• Instalación de clorinadores nuevos en Santa María Cieneguilla, Santo Cristo, La Paz, La Constancia, San Rafael, Tanque de Loreto, Tanque de Xonaca. <p>Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo):</p> <ul style="list-style-type: none">• 24 Norte-Sur hasta 21 Oriente, Río San Francisco entre 3 y 21 oriente, 2 poniente entre 27 y 33 norte. Amor, Aquiles Serdán, La Paz, parte baja de La Libertad, La Reforma, Francisco I. Madero. 25 sur entre Reforma y 19 Poniente. Colonia Amor 2 Poniente entre 27 y 31 Norte. La Acocota entre 23 poniente entre 9 y 7 Norte, 42 y 44 Poniente entre 5 Norte y Diagonal. Clotilde Torres. Luz Obrera, Lomas 5 de Mayo, Tepetzintla, Mayorazgo, López Mateos, Luz del Alba. <p>Drenaje y Saneamiento (Excreción):</p> <ul style="list-style-type: none">• Primer año donde se menciona el drenaje y saneamiento en el informe municipal. <p>Colonias beneficiadas con drenaje y saneamiento</p> <ul style="list-style-type: none">• Adolfo López Mateos, Villa Hermosa Álamos, Santa Bárbara, San Baltazar Campeche, Resurgimiento, 21 oriente entre 16 y 20 sur (en el texto de origen se especifican las calles) <p>Seguridad hídrica.</p> <ul style="list-style-type: none">• Trabajos complementarios del Proyecto de Embovedamiento y Urbanización del Río San Francisco, realizados por la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1964).

Para el año 1965

Cuadro 26. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1964.

Año	Procesos metabólicos por año.
1965	<p>Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción):</p> <ul style="list-style-type: none">• Perforación de pozo en San Rafael y Otro en La Constancia. <p>Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo):</p> <ul style="list-style-type: none">• Entre campo de Aviación y Río San Francisco, Colonia Azcarate, Pancho Villa, Álvaro Obregón, Vicente Guerrero, y otras. 11 Sur entre la 11 y 45 Poniente. 2 Sur entre 25 y 31 Oriente. 23 Norte hasta la colonia La Paz, Reforma, Amor, Aquiles Serdán, La Libertad y Francisco y Madero. Colonia Aurora, Acocota, Luz Obrera, Zaragoza, Clotilde Torres, 2 de abril. Guadalupe Victoria, Santa Cruz Los Ángeles, Álvaro Obregón, Azcarate, Resurgimiento segunda y tercera sección, La Liberta, Reforma, Aquiles Serdán, Xonaca, 20 de noviembre, El Porvenir, Francisco I. Madero, Santa Bárbara, Santa Bárbara Sur, Los Volcanes, Santa María, Hidalgo y Héroe de Nacozari. <p>Seguridad hídrica:</p> <ul style="list-style-type: none">• Para resaltar la importancia de la obra del embovedamiento del Río San Francisco, se mencionó que la obra se realizó como defensa para las inundaciones en la ciudad de Puebla, debido a las inundaciones en temporada de lluvias, de las cuales la mayor referencia fue la inundación de 1939. <p>Otros:</p> <ul style="list-style-type: none">• Se mencionó que no se encontró en el Archivo ningún dato anterior respecto a trabajos de nuevos drenajes construidos, ni proyectos de colectores. <p>Empresas que cooperaron con el Ayuntamiento de Puebla:</p> <ul style="list-style-type: none">• Esta Dirección cooperó lealmente para la industrialización de la ciudad, dando facilidad a las empresas; Volkswagen S.A.; Compañía Mexicana de Productos Plásticos S.A.; Herramientas Universales S.A.; Monsanto Mexicana S.A.; National Cash Register Company de México S.A.; Alumex S.A.; Compañía Textil Anáhuac S.A.; Metaloides Industriales S.A.; Síntesis Orgánicos S.A.; Compañía Federal Mogul de México S.A.; Norton de México S.A.; Pima Textil S.A.; Compañía Harinera “El León” S.A.; Compañía Industrial “La Pastora S.A.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1965)

Para el año 1966

Cuadro 27. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1966.

Año	Procesos metabólicos por año.
1966	Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción): <ul style="list-style-type: none">• Mantenimiento de Bombas y Recipientes.• Refacciones y embobinado de motores.• Mantenimiento de motor de pozos del Cristo, Santa María Cieneguilla y Apetlachica.• Desazolve de Galerías del Conde, Oropeza, Amalucan, La Malinche. Potabilización (N1.MHU transformación): <ul style="list-style-type: none">• Limpieza de desarenadores. Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo): <ul style="list-style-type: none">• Gloria, Zaragoza, Maestro Federal, Cárdenas, Domínguez, Madero, Obregón, Moderna, Santa Cruz Los Angeles, Serdán, Santa María El Porvenir, 20 de noviembre, Santa Barbara, La Aurora, Los Volcanes, Xonaca, La Libertad, Amor, Reforma y Resurgimiento.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1966).

Para el año 1967

Cuadro 28. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1967.

Año	Procesos metabólicos por año.
1967	Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción): <ul style="list-style-type: none">• Mantenimiento de Bombas y Recipientes.• Perforación de 2 pozos de agua potable.• Arreglo de válvula de control estación de bomba número 2 y Loreto.• Embobinado de bombas.• Puesta en marcha la Estación de Bombeo La Malintzi.• Instalación de bomba en San Aparicio. Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo): <ul style="list-style-type: none">• Ampliación de redes de distribución de agua potable en 20 colonias de condición humilde en la periferia de la ciudad (no se indica que colonias).

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1967).

Para el año 1968

Cuadro 29. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1968.

Año	Procesos metabólicos por año.
1968	Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción): <ul style="list-style-type: none">• Se reportan 22 estaciones de bombeo en operación.• Mantenimiento a Recipiente número 1 de Loreto, número 2 de Xonaca y número 3 del Cerro de San Juan. Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo): <ul style="list-style-type: none">• Gloria, Aldama, Zaragoza, Belisario Domínguez, Luz del Alba, Álvaro Obregón, Santa Cruz Los Ángeles, Héroes del 5 de mayo, Santa María, 20 de Noviembre, Santa Barbara, Aurora, Los Volcanes, Xonaca, Libertad, Libertad Reforma, Resurgimiento, Primer Centenario, Cinco de Mayo, Aquiles Serdán, Amor, Reforma.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1968).

Para el año 1969

Cuadro 30. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1969.

Año	Procesos metabólicos por año.
1969	Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción): <ul style="list-style-type: none">• Se reportaron 34 pozos profundos en total• Perforación de 4 pozos profundos nuevos en el Mirador, Puente Negro, San Rafael número 3, Puente Negro y el Ángel. Resultando en 38• Se explotan 5 galerías filtrantes, la de Oropeza, El Conde, Santa Cruz Guadalupe, La Paz, Amalucan.• Se explotan 2 manantiales, en Paseo de San Francisco y Paseo Hidalgo.• Se tienen proyectados 15 nuevos pozos por perforar. Consumo de agua potable (N1.MHU consumo): <ul style="list-style-type: none">• Se menciona la necesidad de la instalación de los medidores de agua potable.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1969).

Para el año 1970

Cuadro 31. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1970.

Año	Procesos metabólicos por año.
1970	<p data-bbox="321 289 1175 317">Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción):</p> <ul data-bbox="370 325 1385 877" style="list-style-type: none"> • Se contó con 31 estaciones de bombeo y 3 recipientes. • Se tienen 34 pozos más dos manantiales que son útiles. • 30 pozos están controlados por el Ayuntamiento. • Se proyectan excavación de pozos en San Baltazar. Se estima un caudal de 580 l/s en 8 pozos y 3 en Moratilla, de los cuales en San Baltazar 1 se mantendría en reserva para no agotar el acuífero. • Las Juntas Auxiliares de San Felipe Hueyotlipan y San Jerónimo Caleras cuentan con su propio sistema de abastecimiento de agua potable. • El cálculo del aforo de agua potable para este año incluye las Juntas Auxiliares de San Baltazar, La Libertad e Ignacio Zaragoza. • Pozo en el Fraccionamiento La Hacienda • Pozo cedido por la CFE de la Planta Termoeléctrica. • Reparaciones y mantenimiento en estaciones de bombeo Gabriel Pastor número 3, La Cantera número 5, El Santo Cristo número 7, Santa María Cieneguilla número 8, Apetlachica número 11, La constancia número 11, Puente Negro número 25, Viveros Santa Cruz número 27, El Ángel número 28, Prados Agua Azul número 29, Prados Agua Azul a Colonia Gabriel Pastor número 30. <p data-bbox="321 886 797 913">Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo):</p> <ul data-bbox="370 921 1385 1077" style="list-style-type: none"> • Colonias en Juntas Auxiliares de San Baltazar, La Libertad, Ignacio Zaragoza. • San Baltazar Campeche, La Libertad, San Miguel Hueyotlipan, colonia Alseseca, La Luz del Alba, Clotilde Torres. • Se vuelve a incidir en la necesidad de los medidores para paliar el desperdicio en los domicilios. <p data-bbox="321 1085 719 1113">Drenaje y Saneamiento (Excreción):</p> <ul data-bbox="370 1121 1385 1409" style="list-style-type: none"> • Proyecto de Sub-Colector 13^a que inicio en Co. Aquiles Serdán. • Instalación de drenaje en las colonias Los Pinos, La Gloria, Alseseca, 20 de noviembre, Progreso, Clotilde Torres. Carretera a Atlixco. • Proyecto de Sub-Colector 13 A que inicia en la Colonia Aquiles Serdán con 3,077 metros. • Cerrada Pedro Anaya, Colonia Alseseca, Colonia Adolfo López Mateos, 17 norte entre 30 y 32 poniente, Privada de las Américas y 38 norte, 31 poniente entre bulevar Atlixco y 33 sur, Colonia independencia, y colonia Patrimonio. • En las colonias Adolfo López Mateos, independencia y Patrimonio las obras de saneamiento los vecinos aportaron con material y el Ayuntamiento con la Mano de Obra. <p data-bbox="321 1417 740 1444">Realización de planos de construcción.</p>

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1970).

Para el año 1972

Cuadro 32. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1972.

Año	Procesos metabólicos por año.
1972	<p>Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción):</p> <ul style="list-style-type: none">• Se continuó con la instalación de tomas nuevas. <p>Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo):</p> <ul style="list-style-type: none">• Buganvilias, Patrimonio, Granjas del Sur, Leobardo Coca, Mayorazgo. La Libertad, Belisario Domínguez, 5 de mayo (ampliación), San Pedro, Tepeyac, Adolfo López Mateos, 16 de septiembre, Guadalupe Victoria. Joaquín Colombres. Alseseca 2 Sección, José María Pino Suárez. <p>Drenaje y Saneamiento (Excreción):</p> <ul style="list-style-type: none">• Colector entre Río Atoyac y Canal de la Noria.• Colector entre Canal de La Noria y respaldo de la automotriz O’Farril.• Trabajos de drenaje en la avenida 21 y 31 oriente en el Boulevard 5 de mayo. <p>Otros:</p> <ul style="list-style-type: none">• Se indica que el porcentaje del ingreso total del Ayuntamiento que concierne al servicio de agua potable y saneamiento es del 32% de los ingresos totales.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1972).

Para el año 1973

Cuadro 33. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1973.

Año	Procesos metabólicos por año.
1973	<p>Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción):</p> <ul style="list-style-type: none">• Pozo en San Aparicio.• 2 pozos en el fraccionamiento Industrial el Conde.• Mantenimiento del equipo de bombeo de los pozos y tanques de almacenamiento. <p>Obras relacionadas con la distribución (N1.MHU distribución)</p> <ul style="list-style-type: none">• Se continuó con la instalación de tomas nuevas. Se indica que se instaló tubo de asbesto cemento. <p>Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo):</p> <ul style="list-style-type: none">• En la periferia de la ciudad se instalaron 28 hidrantes que proporcionan agua a la población de forma gratuita.• San Pedro, Joaquín Colombres, Luz del Alba, La Gloria, Gregorio Ramos. San Baltazar Campeche, La Ahogada, Los Pinos, Ampliación Lomas 5 de mayo, más diversas partes de la ciudad. <p>Drenaje y Saneamiento (Excreción):</p> <ul style="list-style-type: none">• Guadalupe Caleras, Patrimonio, Asunción Alseseca, Leobardo Coca, Santa María Xonacatepec.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1973).

Para el año 1974

Cuadro 34. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1974.

Año	Procesos metabólicos por año.
1974	<p>Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción):</p> <ul style="list-style-type: none">• Mantenimiento y desazolve de Galerías Filtrantes.• Construcción de 2 casetas en la Estación de bombas número 2.• Actualización del Plano General.• Tendido de tuberías en las colonias que se indican en el siguiente punto. <p>Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo):</p> <ul style="list-style-type: none">• La Ahogada, San Pedro, Tepeyac, Adolfo López Mateos, Lomas 5 de mayo (Ampliación), 10 de mayo, Joaquín Colombres, Gregorio Ramos, Ignacio Zaragoza, Vicente Suarez, Providencia, Reforma Sur, Ampliación Aquiles Serdán, Héroes del 5 de mayo, Moctezuma, Lázaro Cárdenas, José María Pino Suarez, Belisario Domínguez, Aurora, Las Cuartillas, Madero, Puebla, Prados Agua Azul, San Manuel más diversas calles en la ciudad. <p>Drenaje y Saneamiento (Excreción):</p> <ul style="list-style-type: none">• Tendido de tuberías en Alseseca, Leobardo Coca, San Baltazar Campeche, Belisario Domínguez.• Obras nuevas de drenaje en las colonias Guadalupe Caleras, Patrimonio, Asunción Alseseca, Leobardo Coca, Santa María Xonacatepec, Nueva Aurora, Ampliación Aquiles Serdán.• Reinstalación de 53 rendijas de fierro en diferentes rumbos de la ciudad. 157 tapas nuevas de concreto en pozos de visita. Y 979 fallas de drenaje reparadas.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1974).

Para el año 1975

Cuadro 35. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1975.

Año	Procesos metabólicos por año.
1975	<p>Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento y desazolve de Galerías Filtrantes. • Se incorporó un aforo de 301 l/s provenientes de 3 nuevas captaciones, que son el pozo 6 y 7 de Apetlachica, y 5 de Moratilla. • Se proyectó para el siguiente ejercicio trabajos de captación en: Pozo 1 y 2 del Batán, 1 y 2 del Sector Oriente, Maravillas, Malintzi, 1, 2, y 3 del Sector Norte, en Los Viveros (el cual realiza el Gobierno del Estado), otro pozo en Xonaca, San Aparicio, y 1 y 2 de Margaritas. • Otro proyecto que consta de 3 etapas: En la primera etapa se realizará revisión, confrontación, exploración de los recursos por medio de un estudio de disponibilidad. En la segunda etapa se realizarán obras inmediatas con el fin de alcanzar el alivio de la demanda de agua. • Se agradece a INFONAVIT el aprovechamiento del pozo maravillas con una aportación de 160 l/s <p>Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo):</p> <ul style="list-style-type: none"> • 16 de septiembre, 20 de noviembre, Nueva Antequera, Clotilde Torres, Francisco I. Madero, Joaquín Colombres, La Libertad, Lázaro Cárdenas, Lomas del 5 de mayo, Adolfo López Mateos, Luz Obrera, Malintzi, Pino Suárez, Tepeyac, Alseseca, Belisario Domínguez, El Paraíso, Granjas del Sur, San Miguel Hueyotlipán, Las Cuartillas, Naciones Unidas, Los Ángeles de Mayorazgo, Puebla Textil. • Se detectaron tomas clandestinas y se comisionó al personal de inspecciones sobre el particular, con especial atención en los Fraccionamientos Prados Agua Azul, La Paz, Moratilla, Valle del Ángel, Manzanilla y Villa San Alejandro. • Se reincide en la importancia que tiene implementar el consumo medido para promover el pago justo por el servicio de agua. <p>Drenaje y Saneamiento (Excreción):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intervención en colonias Patrimonio, Gregorio Ramos, San Pedro, Cuartillas, se menciona un beneficio de 6,000 personas. • Mantenimiento a la red de la ciudad, lo que incluye la reparación de rejillas pluviales, trabajos de desazolve, corrección de desperfectos en pozos de visita. <p>Otros:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La Secretaría de Recursos Hidráulicos y el Gobierno del Estado también participan en obras. • Se mencionó a la Ley Federal de Aguas y eso relacionado con que se proyectará un “Consejo Municipal de Agua Potable y Alcantarillado” que fuera representado por el sector público y privado (albores del SOAPAP). <p>(Ayuntamiento de Puebla, 1975)</p>

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1975).

Para el año 1976

Cuadro 36. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1976.

Año	Procesos metabólicos por año.
1976	<p>Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción):</p> <ul style="list-style-type: none">• Perforación del pozo 2 de La Margarita más la colocación de su línea de Conducción.• Instalación de equipo hidráulico y eléctrico en Maravillas• Readaptación de los pozos 1 y 2 de Apetlachica.• Ampliación de casa de máquinas La Constancia y tanque de rebombeo de la 23 sur y 4 norte.• Exploración de disponibilidad de agua en las Animas.• Conexión de Galería filtrante de San Aparicio.• Instalación de equipo para Rementería y La Rosa <p>Obras relacionadas con la distribución (N1.MHU distribución)</p> <ul style="list-style-type: none">• Mantenimiento en todo el sistema y construcción de redes de distribución en 15 colonias. <p>Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo):</p> <ul style="list-style-type: none">• Cobertura de 80% de la población en la ciudad.• Se habla de la racionalización del consumo. (pag 62 y 63). <p>Drenaje y Saneamiento (Excreción):</p> <ul style="list-style-type: none">• Reparación de rejillas pluviales y desazolve.• Instalación de nuevo drenaje en 14 colonias populares. <p>Otros:</p> <ul style="list-style-type: none">• Se hace mención de la futura creación de gestión del agua que será gestionado de forma conjunta por la ciudadanía y la administración.• La cuota del servicio del agua es bimestral. <p>(Ayuntamiento de Puebla, 1976)</p>

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1976).

Para el año 1977

Cuadro 37. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1977.

Año	Procesos metabólicos por año.
1977	<p>Acciones relacionadas con el entorno (N1.BF Acuífero)</p> <ul style="list-style-type: none">• Se realizaron estudios geológicos. <p>Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción):</p> <ul style="list-style-type: none">• Perforaciones de pozos• Equipamiento de los pozos, 5 de Moratilla, 6 y 7 de Apetlachica, 1, 2, 3 de Maravillas, 1 y 2 de Margaritas.• Mantenimiento de tanques reguladores y líneas de conducción <p>Obras relacionadas con la distribución (N1.MHU distribución)</p> <ul style="list-style-type: none">• Cumplimiento con el tendido de las líneas de distribución.• Se realizaron obras de distribución en 22 colonias. <p>Drenaje y Saneamiento (Excreción):</p> <ul style="list-style-type: none">• Ampliación de drenaje en 23 colonias y 4 juntas auxiliares.• De los 14,000 metros tendidos, el 30 % se tendió en juntas auxiliares.• Desazolve produjo 150 toneladas de desperdicio.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1977).

Para el año 1978

Cuadro 38. *Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1978.*

Año **Procesos metabólicos por año.**

1978 El sistema operador está dividido en 4 sistemas, el de La Constancia, San Baltazar, Loreto y San Rafael. Con 15, 13, 15, 8 pozos respectivamente, de los cuales sólo funcionan 31.

Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción):

- En la Constancia
 - Se adquirieron bombas
 - Adquisición de 4 motores
 - Se repararon las bombas 1 y 2.
 - Se adquirió Bomba de reserva para la 23 norte y 4 poniente.
 - Reparación del tablero del pozo 2.
 - Transformador para 2 pozos en Hacienda Guadalupe.
- San Baltazar
 - Reposición de equipo de bombeo
 - Adaptaciones eléctricas para el pozo del Mirador número 2 y rehabilitación.
 - Instalación de bomba de reserva en pozo número 1 en Margaritas.
 - Adaptación del pozo de las palmas.
- Sistema Loreto
 - Los pozos se encuentran muy agotados y se pretende mejorar con perforaciones a mayor profundidad.
 - Exploración de nuevos pozos “tanque bola” para obtener 30l/s}
 - Interconexión de equipamiento al pozo San Aparicio número 3 para ...
- San Rafael
 - Mantenimiento de infraestructura.
- Automatización de bombas de 11 pozos
- Se menciona la posibilidad de traer agua para la ciudad de Puebla desde la cuenca de San Martín Texmelucan, comentan que podría proporcionar un caudal de 2000 l/s. Y para abril de 1979 se espera la factibilidad para la obra.
- Excavación de pozos exploratorios en Autopista México-Puebla

Obras relacionadas con la distribución (N1.MHU distribución)

- Se ampliaron las redes de distribución para las colonias que se indican en el siguiente punto.
- Instalación de tapas ciegas en la 29sur con 7 poniente.
- Instalación de válvulas de 4” en la 23 Norte y 4 poniente, que dio servicio a 9 sur entre 37 y 39 poniente.

Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo):

- Se elaboró el programa de censo de los usuarios el cual constó de 3 etapas.
 - Primera etapa: Elaboración de Croquis de 3973 manzanas, lotificación y nomenclatura.
 - Segunda etapa: Se censaron físicamente 4,097 manzanas, más 114 sin croquis.
 - Tercera etapa: Confrontación de la información en comparación con la de la Secretaría de Finanzas, es decir el predial.
- Del censo se obtuvo como resultado el encontrar 6,300 tomas irregulares.
- Se hizo mención de la necesidad de la concientización de las personas para no desperdiciar el agua.
- Hadas se conecta con Maestro Federal, Fraccionamiento Villa San Alejandro se conecta con 35 oriente y se interconecta con Diagonal Defensores de la República a la altura de la 38 Poniente. 29 sur y 7 poniente. Conexión entre colonia Morelos y San Miguel Hueyotlipan a través del tanque de Las Hadas. 23 Norte y 4 Poniente dio servicio a 9 Sur entre 37 y 39 Poniente.
- 23 de noviembre, 16 de septiembre, Villa San Alejandro y Conjunto de San Alejandro, Maestro Federal, Lázaro Cárdenas, Morelos, San miguel Hueyotlipan, Arboledas de Guadalupe, Lomas de Loreto, Diez de Mayo, Ampliación Lomas del Cinco de Mayo, El Cristo, La Hacienda, San Manuel, El Mirador y Los Remedios.

Drenaje y Saneamiento (Excreción):

- Realización de estudios para la conclusión de red de colectores 6, 7, y 10, con apoyo de la Secretaría de Asentamiento Humanos.
- Se construyó colector en el Camino del Ferrocarril para la Colonia Obrero-Campesina.
- Colonas beneficiadas con obras: El Cerrito, Joaquín Colombres, Granjas del Sur, Las Cuartillas, Gonzalo Bautista, Patrimonio, Vicente Guerrero, San Pedro, Los Angeles Mayorazgo, Progreso, Belisario Domínguez, Moctezuma, San José La Laguna, Naciones Unidas, Tepyac, Hidalgo, Vista Hermosa, López Mateos, Francisco I Madero y La Loma. Así como juntas auxiliares como Ignacio Zaragoza, La Libertad, San Felipe Hueyotlipan, San Baltazar Tetela, San Baltazar Campeche.
- Inicio de la construcción del colector el Chinguiñoso, el cual benefició al Cerrito, Granjas del Sur, Progreso y Patrimonio.
- Inicio de construcción del colector de Xalpatla, Lomas de Xochimehuacan, y el Subcolector Loreto-Xanenetla.
- Inició trabajos del colector de la 19 poniente, que desemboca en el Río Atoyac al lado de las Animas. Aportó la Fundación Jenkins, Fraccionamiento el Vergel y otros vecinos beneficiados, más el Ayuntamiento.
- Reposición de rejillas atarjeas y desazolve de 260 metros destapados de tubo en la 3 poniente, 2 sur, 11 poniente y 28 poniente.
- Adquisición de nuevo desensolvador Alvatech

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1978).

Para el año 1979p

Cuadro 39. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1979.

Año	Procesos metabólicos por año.
1979	<p>Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se inició el proyecto de abastecimiento de agua desde San Martín Texmelucan con la perforación de 7 a 10 pozos contemplados en la primera etapa. • Se inició la adquisición de la tubería para transportar el agua desde San Martín a Puebla. • Ante la escasez de agua derivada de la explotación del acuífero y el periodo de estiaje, se ejecutó un Plan de Emergencia, que constó en perforar 10 pozos en La Constancia y Loreto. • Proyecto de 23 km de tubería con el propósito de aumentar 500 l/s el aforo de agua a la ciudad de Puebla. • Perforación de un pozo profundo en el Sistema Loreto. • Mantenimiento de los sistemas de servicio de bombeo. <p>Potabilización (N1.MHU transformación):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento del sistema de control electrónico, y clorinación. <p>Obras relacionadas con la distribución (N1.MHU distribución)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se restringió la instalación de nueva tubería de distribución de agua debido a que la captación es insuficiente. Por tal motivo, el Ayuntamiento se enfocó a la captación. <p>Colonias Beneficiadas (N1.MHU consumo):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se inició campaña de concientización para la racionalización del uso del agua en la ciudad. <p>Drenaje y Saneamiento (Excreción):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Construcción de colector de la Diagonal de la 19 poniente y que beneficia a 15 colonias. Lo operó la Fundación Mary Street Jenkins. • Colonias beneficiadas son El Cerrito, Granjas del Sur, Zaragoza, Belisario Dominguez, Aquiles Jordán, Francisco i Madero, Xanenetla, La Loma, Vicente Guerrero, San José L. • Juntas Auxiliares de San Miguel Canoa, Resurrección, Aparicio, Xichimehuacan, Huexotlipan, Romero Vargas, La Libertad, Ignorancia Zaragoza, Totimehuacan, Chautla, Zacachimalpa, San Baltazar Tetela.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1979).

Para el año 1980

Cuadro 40. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1980.

Año	Procesos metabólicos por año.
1980	<p>Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se desistió de aplicar el Proyecto de San Martín Texmelucan y se optó por el Plan de Emergencia. • 60% se distribuirá en el Sistema de La Constancia, y el Resto al Sistema Loreto. • Se priorizó el mantenimiento de los equipos en operación. • Adquisición de nuevos equipos. • Automatización y control remoto por radio. • Mantenimiento de La Constancia, Loreto, San Baltazar, San Rafael. <p>Obras relacionadas con la distribución (N1.MHU distribución)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas de agua se estiman en 25% debido a la antigüedad de la red de distribución, desperdicios interdomiciliarios, deficiencias de equipo obsoleto de bombeo. • Adquisición de equipo de detección de fugas y registro de predicción para controlar las redes. • Se entregó estudio elaborado por la empresa ITEPSA. <p>Drenaje y Saneamiento (Excreción):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Construcción de la diagonal de 19 poniente • Ampliación de la Avenida de la 31 poniente • Se completa el colector de la diagonal. • Colonias beneficiadas son la Aquiles Serdán y su ampliación, Ignacio Zaragoza, Francisco I Madero, Xanenetla, Gonzalo Bautista, Francisco Villa, Pino Suarez, San Baltazar, y otras. • Juntas auxiliares beneficiadas son: La Resurrección, San Sebastián de Aparicio, San Francisco Totimehuacan, San Baltazar Tetela, Santo Tomás Chautla, Santa María Xonacatepec, San Baltazar Campeche, San Pedro Zacachimalpa, Ignacio Zaragoza, La Libertad, San Pablo Xochimehuacan, San Miguel Canoa. • Desazolve, reparación de tubos, pozos de visita, rejillas y coladeras.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1980).

Para el año 1982

Cuadro 41. Acciones relacionadas con los procesos del Metabolismo Hídrico Urbano para 1982.


Año	Procesos metabólicos por año.
1982	<p>Obras relacionadas con la captación y almacenamiento (N1.MHU Extracción):</p> <ul style="list-style-type: none">• El sistema operador consta de 43 pozos y 2 galerías filtrantes.• Limpieza de tuberías, galerías filtrantes, tanques y reinició el tratamiento de cloración de agua. <p>Potabilización (N1.MHU transformación):</p> <ul style="list-style-type: none">• Control de calidad bacteriológico por parte de la Secretaría de Salubridad. <p>Obras relacionadas con la distribución (N1.MHU distribución)</p> <ul style="list-style-type: none">• Arreglo de fugas con un ahorro de 200 l/s.• Se indica que las fugas se encuentran en mayor proporción en las cisternas y baños domiciliarios. <p>Drenaje y Saneamiento (Excreción):</p> <ul style="list-style-type: none">• Se inició la construcción del Colector el Chinguiñoso.• Rehabilitación de drenajes en Juntas Auxiliares. <p>Otros: Elaboración de Plan Integral y Actualizado de la Red (después de 14 años).</p>

Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Puebla, 1982).

A3 ANEXOS GENERALES

1. Documentos relacionados con la consecución de la información
 - a. Acuerdo de confidencialidad firmado con el Sistema Operador de los Servicios de agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Puebla.
 - b. Solicitudes de información para las instituciones respondidas y no respondidas.
2. Congresos y presentaciones.

A1.a Acuerdo de confidencialidad página 1 de 2



SOAPAP
SISTEMA OPERADOR DE LOS SERVICIOS
DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
DEL MUNICIPIO DE PUEBLA

ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD Y NO DIVULGACIÓN DE INFORMACIÓN, QUE CELEBRAN POR UNA PARTE LA BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA A QUIEN EN LO SUCESIVO SE DENOMINARÁ “EL RECEPTOR” REPRESENTADO EN ESTE ACTO EL C. M.C. DAVID PÉREZ GONZÁLEZ, ALUMNO DEL DOCTORADO EN EL POSGRADO DE CIENCIAS AMBIENTALES Y POR LA OTRA, EL SOAPAP (SISTEMA OPERADOR DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE PUEBLA, A QUIEN EN LO SUCESIVO SE LE DENOMINARÁ “EL DIVULGANTE” REPRESENTADO EN ESTE ACTO POR EL LIC. MIGUEL ANGEL DATTOLI MORA, EN SU CARÁCTER DE GERENTE DE SUPERVISIÓN TÉCNICA DE LOS SERVICIOS, AL TENOR DE LAS DECLARACIONES Y CLÁUSULAS SIGUIENTES:

PRIMERA. - Objeto. El presente Acuerdo se refiere a la información que EL DIVULGANTE proporcione al RECEPTOR, ya sea de forma oral, gráfica o escrita y, en estos dos últimos casos, ya esté contenida en cualquier tipo de documento, para identificar una (las) propuesta(s) de estudio, o en su caso, para estructurar el proyecto de investigación académica denominado “Estudio de metabolismo social en la ciudad de Puebla”, que se está desarrollando o que se va a desarrollar.

SEGUNDA. - 1. EL RECEPTOR únicamente utilizará la información facilitada por EL DIVULGANTE para el fin mencionado en la Estipulación anterior, comprometiéndose EL RECEPTOR a mantener la más estricta confidencialidad respecto de dicha información, advirtiéndolo de dicho deber de confidencialidad y secreto a sus asociados y a cualquier persona que, por su relación con EL RECEPTOR, deba tener acceso a dicha información para el correcto cumplimiento de las obligaciones del RECEPTOR para con EL DIVULGANTE.

2. EL RECEPTOR o las personas mencionadas en el párrafo anterior no podrán reproducir, modificar, hacer pública o divulgar a terceros la información objeto del presente Acuerdo sin previa autorización escrita y expresa del DIVULGANTE.

3. De igual forma, EL RECEPTOR adoptará respecto de la información objeto de este Acuerdo las mismas medidas de seguridad que adoptaría normalmente respecto a la información confidencial de la propia Institución a la que representa, evitando en la medida de lo posible su pérdida, robo o sustracción.

TERCERA. - Sin perjuicio de lo estipulado en el presente Acuerdo, ambas partes aceptan que la obligación de confidencialidad no se aplicará en los siguientes casos:

- Cuando la información se encontrará en el dominio público en el momento de su suministro al RECEPTOR o, una vez suministrada la información, ésta acceda al dominio público sin infracción de ninguna de las Estipulaciones del presente Acuerdo.
- Cuando la información ya estuviera en el conocimiento del RECEPTOR con anterioridad a la firma del presente Acuerdo y sin obligación de guardar confidencialidad.
- Cuando la legislación vigente o un mandato judicial exija su divulgación. En ese caso, EL RECEPTOR notificará al DIVULGANTE tal eventualidad y hará todo lo posible por garantizar que se dé un tratamiento confidencial a la información.

(Acuerdo de confidencialidad página 2 de 2)



SOAPAP
SISTEMA OPERADOR DE LOS SERVICIOS
DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
DEL MUNICIPIO DE PUEBLA

d) En caso de que EL RECEPTOR pueda probar que la información fue desarrollada o recibida legítimamente de terceros, de forma totalmente independiente a su relación con EL DIVULGANTE.

CUARTA. - Los derechos de propiedad intelectual de la información objeto de este Acuerdo pertenecen al DIVULGANTE y el hecho de revelarla al RECEPTOR para el fin mencionado en la Estipulación Primera no cambiará tal situación.

En caso de que la información resulte revelada o divulgada o utilizada por EL RECEPTOR de cualquier forma distinta al objeto de este Acuerdo, ya sea de forma dolosa o por mera negligencia, habrá de indemnizar al DIVULGANTE los daños y perjuicios ocasionados, sin perjuicio de las acciones civiles o penales que puedan corresponder a este último.

QUINTA. - EL RECEPTOR se obliga a devolver cualquier documentación, antecedentes facilitados en cualquier tipo de soporte y, en su caso, las copias obtenidas de los mismos, que constituyan información amparada por el deber de confidencialidad objeto del presente Acuerdo en el supuesto de que cese la relación entre las partes por cualquier motivo.

SEXTA. - El presente Acuerdo entrará en vigor en el momento de la firma del mismo por ambas partes, extendiéndose su vigencia hasta un plazo de 5 años después de finalizada la relación entre las partes o, en su caso, la conclusión de la investigación académica.

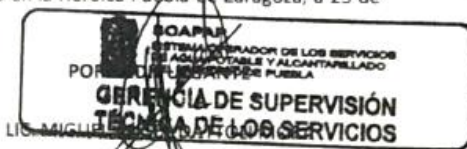
SÉPTIMA. - En caso de cualquier conflicto o discrepancia que pueda surgir en relación con la interpretación y/o cumplimiento del presente Acuerdo, las partes se someten expresamente a los Juzgados y Tribunales del Estado de Puebla, con renuncia a su fuero propio, aplicándose la legislación vigente.

La información en cuestión está descrita y enlistada en los oficios SOAPAP/GSTS/0858/2019 y SOAPAP/GSTS/1104/2019 recibidos por la coordinación del Posgrado en Ciencias Ambientales de La Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Y en señal de expresa conformidad y aceptación de los términos recogidos en el presente Acuerdo, lo firman las partes por duplicado ejemplar y a un solo efecto en la Heroica Puebla de Zaragoza, a 25 de abril del 2019.

POR EL RECEPTOR

M.C. DAVID PÉREZ GONZÁLEZ



A1.b Solicitudes de información.



BUAP

VEDC-DIPHU/ 136 /2018

Dr. Francisco Manuel Vélez Pliego
Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades "A.V.P."
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Presente:

Me permito informarle que la **C. David Pérez González**, alumno del posgrado en Ciencias Ambientales de nuestra institución, está realizando su tesis bajo mi tutoría, lo anterior tiene como finalidad solicitar le brinde las facilidades necesarias para que consulte el acervo de la biblioteca "Ernesto Torres del Villar" que se encuentra a su cargo.

Agradeciendo de antemano su respuesta, le envié un cordial saludo.

Atentamente
"PENSAR BIEN, PARA VIVIR MEJOR"
Puebla, Pue., 30 de noviembre de 2018

Dra. Rosalva Loreto López
Directora de Patrimonio Histórico Universitario

C.c.p. Archivo
C.c.p. Minutario



Va. Bo.

15 ENE 2019

Recibi original

Vicerrectoría de Extensión y Difusión de la Cultura
Dirección de Patrimonio Histórico Universitario

Juan de Palafox y Mendoza 406,
Col. Centro Histórico,
Puebla, Pue. C.P. 72000
01 (222) 229 55 00 Ext. 5759



PCA/017/2019

Lic. Eduardo Padilla Ascencio

Coordinación de Archivo Histórico y Biblioteca Central del Agua
Presente.

Por medio del presente reciba un cordial saludo, ocasión que aprovecho para solicitar su autorización para que el **MC. David Pérez González**, alumno de doctorado en el Posgrado de Ciencias Ambientales de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla con matrícula 218570794, tenga acceso al Archivo Histórico y Biblioteca Central del Agua.

Lo anterior a razón de que para el proyecto de investigación del estudiante de Posgrado, se requiere información histórica de la red hidráulica de la ciudad de Puebla del año 1950 en adelante.

De antemano le agradezco su amable atención y le expreso mi más distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"PENSAR BIEN PARA VIVIR MEJOR"
H. Puebla de Z; enero 29 de 2019.

DR. EDUARDO TORRES RAMÍREZ
COORDINADOR DEL POSGRADO DE CIENCIAS AMBIENTALES



ETR/melh
ccp/Archivo

Posgrado en Ciencias Ambientales
Instituto de Ciencias (ICUAP)

Edificio IC6,
Ciudad Universitaria,
Col. San Manuel, Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7056



BUAP

PCA/015/2019

C. Gustavo Gaytán Alcatráz
Dirección General del SOAPAP
Presente.

Por este medio reciba un saludo cordial, ocasión que aprovecho para presentarle al **M.C. David Pérez González**, alumno de Doctorado en el Posgrado de Ciencias Ambientales de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con matrícula 218570794, quien se encuentra realizando el estudio denominado "Estudio de metabolismo social en la ciudad de Puebla", el cual requiere información relativa a la red hidráulica en la Zona Metropolitana de Puebla.

Por lo anterior, le solicito amablemente su apoyo para que le sean brindadas las facilidades a su alcance para que el M.C. Pérez consulte la información necesaria para su proyecto de investigación.

De antemano le agradezco su amable atención y le expreso mi más distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"PENSAR BIEN PARA VIVIR MEJOR"
H. Puebla de Z; enero 29 de 2019.

DR. EDUARDO TORRES RAMÍREZ
COORDINADOR DEL POSGRADO DE CIENCIAS AMBIENTALES



ETR/melh
ccp/Archivo



Posgrado en Ciencias Ambientales
Instituto de Ciencias (ICUAP)

Edificio IC6,
Ciudad Universitaria,
Col. San Manuel, Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7056



PCA/016/2019

MTRO. MANUEL ALEJANDRO HERNÁNDEZ MAIMONE

Director del Archivo General Municipal de Puebla
Presente.

Por medio del presente reciba un cordial saludo, ocasión que aprovecho para solicitar su autorización para que el **MC. David Pérez González**, alumno de doctorado en el Posgrado de Ciencias Ambientales de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla con matrícula 218570794, tenga acceso al Archivo General Municipal de Puebla.

Lo anterior a razón de que, para el proyecto de investigación del estudiante de Posgrado, se requiere información histórica de la ciudad de Puebla del año 1950 en adelante.

De antemano le agradezco su amable atención y le expreso mi más distinguida consideración.

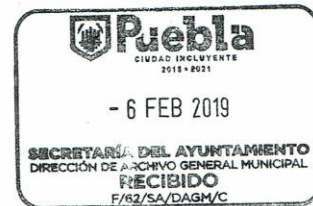
ATENTAMENTE

"PENSAR BIEN PARA VIVIR MEJOR"

H. Puebla de Z; febrero 05 de 2019

E. Torres R.

DR. EDUARDO TORRES RAMÍREZ
COORDINADOR
POSGRADO DE CIENCIAS AMBIENTALES



ccp/Archivo
ETR/melh

Posgrado en Ciencias Ambientales
Instituto de Ciencias (ICUAP)

Edificio IC6,
Ciudad Universitaria,
Col. San Manuel, Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7056

349



PCA/017/2019

A QUIEN CORRESPONDA.

Subdirección General de Planeación del
Archivo Histórico y Biblioteca Central del Agua
Presente.

Por medio del presente reciba un cordial saludo, ocasión que aprovecho para solicitar su autorización para que el **MC. David Pérez González**, alumno de doctorado en el Posgrado de Ciencias Ambientales de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla con matrícula 218570794, tenga acceso al Archivo Histórico y Biblioteca Central del Agua.

Lo anterior a razón de que para el proyecto de investigación del estudiante de Posgrado, se requiere información histórica de la red hidráulica de la ciudad de Puebla del año 1950 en adelante.

De antemano le agradezco su amable atención y le expreso mi más distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"PENSAR BIEN PARA VIVIR MEJOR"
H. Puebla de Z; febrero 05 de 2019.

E. Torres R.

DR. EDUARDO TORRES RAMÍREZ
COORDINADOR
POSGRADO DE CIENCIAS AMBIENTALES



ccp/Archivo
ETR/melh

Posgrado en Ciencias Ambientales | Edificio IC6,
Instituto de Ciencias (ICUAP) | Ciudad Universitaria,
Col. San Manuel, Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7056



BUAP

Oficio No. PCA-049/2019

C. Gustavo Gaytán Alcatraz
Dirección General
SOAPAP
Presente

At'n. Ing. Ana Karina García de Ita
Jefe de Departamento de Calidad Técnica
Servicio Agua Potable
Presente

En seguimiento al oficio PCA/015/2019 recibido por SOAPAP el 14 de marzo del presente (anexo), donde se solicita su amable apoyo para brindar las facilidades al M. C. David Pérez González para la realización de su estudio académico, y en seguimiento a la plática que se sostuvo con el Ing. Miguel Ángel Dattoli Mora, Gerente de Supervisión Técnica de los Servicios, donde se acordó especificar la información requerida para el estudio en mención; se solicita la siguiente información:

- Ubicación y caudales de todas las fuentes de abasto de agua de la red de agua potable de la ciudad de Puebla (pozos, manantiales, etc.)
- Planos de la red de agua potable en la ciudad de Puebla, desde sus fuentes de extracción hasta las áreas de consumo.
- El caudal estimado de fugas en la red de agua potable de la ciudad de Puebla.
- Año aproximado de la instalación de la red de agua potable por zona (periodo de interés, a partir de 1950).
- Planos de la red de drenaje en la ciudad de Puebla, desde las áreas de consumo en la ciudad hasta su desemboque (ríos, plantas tratadoras, campos agrícolas, etc.)
- Ubicación y caudales de todas las plantas tratadoras de aguas residuales.

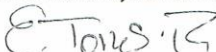
En caso de no contar con alguna información citada, nos sería de gran ayuda su sugerencia para indagar otras fuentes de información.

De antemano le agradezco sus finas atenciones y le expreso mi más distinguida consideración.

ATENTAMENTE

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Z., a 25 de marzo de 2019.


Dr. Eduardo Torres Ramirez
Coordinador
Posgrado en Ciencias Ambientales



Posgrado en Ciencias Ambientales
Instituto de Ciencias (ICUAP)

Edificio IC6,
Ciudad Universitaria,
Col. San Manuel, Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7056



SOAPAP
SISTEMA OPERADOR DE LOS SERVICIOS
DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
DEL MUNICIPIO DE PUEBLA

Heroica Puebla de Zaragoza, a 29 de marzo de 2019
Número de Oficio: SOAPAP/GSTS/0858/2019

DR. EDUARDO TORRES RAMÍREZ
COORDINADOR DEL POSGRADO DE CIENCIAS AMBIENTALES
INSTITUTO DE CIENCIAS (ICUAP)
BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
EDIFICIO IC6, AULA 121 A, CIUDAD UNIVERSITARIA
COL. SAN MANUEL, PUEBLA, PUE.
PRESENTE.

Con fundamento a lo dispuesto en los artículos Primero, Tercero, Cuarto y Quinto del Decreto de Creación del Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Puebla, le informo que derivado de sus Oficios ingresados en Oficialía de Partes de este Organismo los días 14 y 25 de marzo respectivamente, y turnados al Departamento de Calidad Técnica en el Servicio de Agua Potable para su atención, hago de su conocimiento que se efectuaron todas las gestiones necesarias para la remisión de la información relativa a la red hidráulica, solicitada por el M.C. David Pérez González, alumno de Doctorado en el Posgrado de Ciencias Ambientales de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Por lo anterior, se remite la siguiente información:

1. Relación de Pozos con sus caudales reales correspondientes (Anexo 1).
2. Relación de tanques y rebombes, especificando tipo y servicio (Anexo 2).
3. Relación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con sus capacidades correspondientes (Anexo3).

Cabe mencionar, que este Sistema Operador se reserva el derecho de informar respecto a las ubicaciones y ramales de la red hidráulica de la zona de cobertura, por motivos de seguridad, clandestinaje, gobernabilidad y aseguramiento de la calidad del recurso.

Sin otro particular por el momento, reitero a usted mi atenta y distinguida consideración.

ATENTAMENTE


LIC. MIGUEL ÁNGEL DATTOLI MORA
GERENTE DE SUPERVISIÓN TÉCNICA DE LOS SERVICIOS
DEL SISTEMA OPERADOR DE AGUA POTABLE Y
ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE PUEBLA (SOAPAP)



C.c.p.
o Archivo

I'AM'AKGDI

Río Grijalva 5312 Int. 1, Col. San Manuel, Puebla, Puebla / (222) 2461703, 2460215, 2468297 y 2422564 / soapap.gob.mx



BUAP

Oficio PCA-055/2019

C. Gustavo Gaytán Alcatraz
Dirección General del SOAPAP
Presente

Atención: **Ing. Ana Karina García de Ita.**
Jefe de Departamento de Calidad Técnica en el Servicio de Agua Potable

En seguimiento al oficio PCA/015/2019 recibido por SOAPAP el 14 de marzo del presente (anexo), donde se solicita su amable apoyo para brindar las facilidades al M. C. David Pérez González para la obtención de información necesaria para su estudio académico, y a la respuesta afirmativa que derivó de la plática con el Lic. Miguel Ángel Dattoli Mora, Gerente de Supervisión Técnica de los Servicios, donde se acordó que la requisición de información específica se realice por oficio, se solicita la siguiente información:

- La zona de cobertura del Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Puebla.
- Edad aproximada de la red hidráulica de agua potable.
- Cobertura de las regiones de producción y registro de sus caudales medios anuales de 1950 a 2018.
- Tomas activas por colonia y sus caudales medios anuales de 1950 a 2018.
- Caudales medios anuales reales de las plantas de tratamiento de aguas residuales de 1950 a 2018.

De antemano se agradecen sus finas atenciones y le expreso mi más distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Z., a 12 de abril de 2019

E. Torres R.

Dr. Eduardo Torres Ramírez
Coordinador del Posgrado de Ciencias Ambientales



c.c.p Minutario
Dr.*ETR/melh

Posgrado en Ciencias Ambientales
Instituto de Ciencias (ICUAP)

Edificio IC6,
Ciudad Universitaria,
Col. San Manuel, Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7056





Oficio No. PCA-086/2019

C. Gustavo Gaytán Alcatraz
Dirección General del SOAPAP
Presente.

Atención: Arq. Daniel Hiram Marroquín Ortiz
Gerente de Proyectos y Supervisión de Obras e Infraestructura.

Hago referencia al oficio PCA/015/2019 recibido por SOAPAP el 14 de marzo del presente (anexo), donde se solicita su amable apoyo para brindar las facilidades al **M. C. David Pérez González** en la obtención de información necesaria para su estudio académico denominado "Metabolismo Urbano en la Ciudad de Puebla". Y en seguimiento al oficio antes mencionado se solicita lo siguiente:

- Edad aproximada de la red hidráulica de agua potable correspondiente a la cobertura de SOAPAP.

Cualquier duda o aclaración se le sugiere comunicarse con el estudiante en mención al número celular 222125316.

Sin otro particular y agradeciendo el apoyo que brinde al presente, reitero a Usted la seguridad de mi atenta y distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Z., a 14 de junio de 2019.

E. Torres R.

Dr. Eduardo Torres Ramírez
Coordinador
Posgrado en Ciencias Ambientales

c.c.p minutarlo
Dr.*ETR/meh

Posgrado en Ciencias Ambientales
Instituto de Ciencias (ICUAP)

Edificio IC6,
Ciudad Universitaria,
Col. San Manuel, Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7056





Oficio No. PCA-087/2019

C. Gustavo Gaytán Alcatraz
Dirección General del SOAPAP
Presente.

Atención: Lic. Tatiana Ramírez Molinos
Gerencia de Saneamiento y Medio Ambiente.

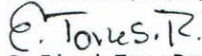
Hago referencia al oficio PCA/015/2019 recibido por SOAPAP el 14 de marzo del presente (anexo), donde se solicita su amable apoyo para brindar las facilidades al **M. C. David Pérez González** en la obtención de información necesaria para su estudio académico. Y en seguimiento a lo anterior, amablemente se hace la siguiente solicitud de información:

- Caudales medios anuales reales procesados en las plantas de tratamiento de aguas residuales en la cobertura de SOAPAP (Periodo 2000 a 2018).
- Caudales medios anuales reales del agua tratada que se reincorpora para usos industriales, agrícolas, usos municipales entre otros dentro de la cobertura de SOAPAP (Periodo 2000 a 2018).
- Caudales medios anuales reales de aguas negras descargadas a los efluentes dentro de la cobertura de SOAPAP (Periodo 2000 a 2018).
- Caudales medio anuales reales del agua residuales no tratadas para agricultura (Periodo 2000 a 2018).

Cualquier duda o aclaración se le sugiere comunicarse con el estudiante en mención al número celular 222125316.

De antemano se agradecen sus finas atenciones y le expreso mi más distinguida consideración.

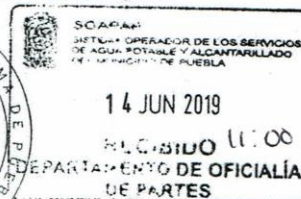
ATENTAMENTE
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Z., a 14 de junio de 2019.


Dr. Eduardo Torres Ramírez
Coordinador
Posgrado en Ciencias Ambientales

c.c.p. minutarlo
Dr.:ETR/meth

Posgrado en Ciencias Ambientales
Instituto de Ciencias (ICUAP)

Edificio IC6,
Ciudad Universitaria,
Col. San Manuel, Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7056





BUAP

Oficio No. PCA-131/2019



C. Alejandro Manuel Márquez Hernández
Representante de Concesiones Integrales S.A. de C.V.
Presente.

At n: Lic. Sandra Ivonne Solano Andrés
Gerencia de Cultura del Agua

Por medio del presente reciba un cordial saludo, ocasión que aprovecho para presentarle al M.C. **David Pérez González**, alumno de Doctorado del Posgrado de Ciencias Ambientales de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con matrícula 218570794; David se encuentra realizando el estudio académico denominado "Estudio de metabolismo urbano en la ciudad de Puebla", el cual requerirá información relacionada con el servicio de agua en la ciudad de Puebla. Por tal motivo, se solicita su amable apoyo para brindar las facilidades a su alcance al alumno en la obtención de la información necesaria para su estudio académico.

Listado de información requerida:

- Caudales totales reales provistos por uso.
- Habitacional, servicios, comercial, industrial, agricultura, etc.
- Caudales totales estimados de pérdida de agua por fugas.
- Caudales reales de aguas saneadas en plantas de tratamiento.
- Caudal de reúso y vertido a ríos.
- Caudal total facturado de agua.
- Caudal de agua cobrado.
- Cantidad de energía eléctrica requerida para la operación del sistema de provisión de agua en su totalidad.
- Monto del costo económico facturado en función del consumo energético por año.
- Información geográfica de los polígonos de los estratos y sub-estratos socioeconómicos en los que se clasifica el espacio de cobertura del servicio de agua.
- Número de tomas por polígono de estratos y sub-estratos socioeconómicos.
- Porcentaje de usuarios que reciben el servicio por tandeo y cuota fija.

Posgrado en Ciencias Ambientales
Instituto de Ciencias (ICUAP)

Edificio IC6,
Ciudad Universitaria,
Col. San Manuel, Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7056



BUAP

PCA/015/2019

C. Gustavo Gaytán Alcatraz
Dirección General del SOAPAP
Presente.

Por este medio reciba un saludo cordial, ocasión que aprovecho para presentarle al **M.C. David Pérez González**, alumno de Doctorado en el Posgrado de Ciencias Ambientales de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con matrícula 218570794, quien se encuentra realizando el estudio denominado "Estudio de metabolismo social en la ciudad de Puebla", el cual requiere información relativa a la red hidráulica en la Zona Metropolitana de Puebla.

Por lo anterior, le solicito amablemente su apoyo para que le sean brindadas las facilidades a su alcance para que el M.C. Pérez consulte la información necesaria para su proyecto de investigación.

De antemano le agradezco su amable atención y le expreso mi más distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"PENSAR BIEN PARA VIVIR MEJOR"
H. Puebla de Z; enero 29 de 2019.

E. Torres R.

DR. EDUARDO TORRES RAMÍREZ
COORDINADOR DEL POSGRADO DE CIENCIAS AMBIENTALES



Recibi Original
[Signature]
29 enero 2019

ETR/melh
ccp/Archivo

Posgrado en Ciencias Ambientales
Instituto de Ciencias (ICUAP)

Edificio IC6,
Ciudad Universitaria,
Col. San Manuel, Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7056

Oficio. ADPCA/2020/2

Lic. Gustavo Gaytán Alcaraz
Dirección General del SOAPAP
Presente.



SISTEMA OPERADOR DE LOS SERVICIOS
DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
DEL MUNICIPIO DE PUEBLA

01 JUL 2020
12:59
RECIBIDO
DEPARTAMENTO DE OFICIALÍA DE PARTES

Atención: **Ing. Palmira del Castro Solís**

Jefe de Departamento de Calidad Técnica en el Servicio de Agua Potable

Por medio del presente reciba un cordial saludo. Hago referencia al oficio PCA/015/2019 recibido por el SOAPAP el 14 de marzo del 2019, donde el Dr. Eduardo Torres Ramírez, coordinador del Posgrado en Ciencias Ambientales solicitó su amable apoyo para que sean brindadas las facilidades a su alcance para otorgar la información requerida en el estudio académico que me encuentro realizando, denominado "Estudio de metabolismo social en la Ciudad de Puebla"; Al Acuerdo de Confidencialidad que suscribí con el Lic. Miguel Ángel Dattoli Mora, con fecha de 25 de abril del 2019; en seguimiento al oficio ADPCA/2020/1 que fue recibido por SOAPAP el 3 de abril del 2020 (Anexo), el cual continua pendiente de respuesta; y con fundamento en el artículo 6to constitucional, el 23 de la Ley de agua de Puebla, el 24 fracción XLIII del Reglamento interno del SOAPAP. Se solicita la siguiente información:

- **Nombre de cada una de las colonias que se encuentran dentro de la cobertura del SOAPAP** (Listado desglosado por las cuatro regiones y 12 zonas de la cobertura del SOAPAP).
- **Cantidad de población total comprendida por la cobertura del SOAPAP** (Listado desglosado por municipio y por colonia).
- **Número total de tomas registradas en el Padrón de Usuarios** (Listado por municipio y por colonia).
- **Número de tomas activas en el Padrón de Usuarios** (Listado por municipio y por colonia).
- **Número de tomas con servicio continuo, 24 horas al día, 365 días por año.** (Listado desglosado por municipio y por colonia).
- **Número de tomas con servicio tandeado** (Listado desglosado por municipio, colonia y días a la semana que se les suministra agua).
- **Número de micro-medidores funcionando** (Listado desglosado por municipio y por colonia).

Para la recepción de respuestas, por favor enviar al correo d4v17@hotmail.com con copia para ciencias.ambientales@correo.buap.mx. Cualquier duda acerca de la solicitud de información, por favor llamar al número celular 222125316, donde se les atenderá con gusto.

A3.3 Cursos, congresos y reconocimientos



sustainability

an Open Access Journal by MDPI



Puebla City Water Supply from the Perspective of Urban Water Metabolism

David Pérez-González; Gian Carlo Delgado-Ramos; Lilia Cedillo Ramírez; Rosalva Loreto López; María Elena Ramos Cassellis; José Víctor Rosendo Tamariz Flores; Ricardo Darío Peña Moreno

Sustainability 2023, Volume 15, Issue 19, 14549

La Jornada de Oriente

Puebla

MIÉRCOLES 17 DE ENERO DE 2024

DIRECTOR FUNDADOR: CARLOS PAYÁN ■ DIRECTORA GENERAL: CARMEN LIRA ■ PUBLICACIÓN PARA PUEBLA Y TLAXCALA ■ AÑO 34 NÚM 7279

15 PESOS JUNTO CON LA JORNADA

El líquido perdido por la red supera al consumido en Kenia, Tanzania y Senegal: estudio

Los poblanos pagan más por pipas que a Agua de Puebla

● David Pérez, académico del ICUAP, reveló que los costos pagados por camiones cisterna y agua embotellada en 2019 ascendieron a 3 mil mdp, mientras que la firma recaudó 308 mdp



La Universidad Autónoma del Estado de Morelos
y el Centro de Investigación Transdisciplinar en Psicología
Otorgan la presente

Constancia

A: David Pérez González

Por su participación y contribución académica como ponente en la mesa de trabajo: "Ambiente y sustentabilidad (1)", con el tema "Aproximación a la asequibilidad del agua desde el Metabolismo Hídrico Urbano", presentado en el marco del 4to Congreso Internacional de Investigación Transdisciplinar en Ciencias Humanas. Los desafíos del diálogo transdisciplinario frente a las emergencias, efectuado del 18 al 21 de mayo del 2022, en modalidad virtual.

Firmado digitalmente por Dr. Guillermo Delahanty Matuk
Nombre de reconocimiento (DN): cn=Dr. Guillermo Delahanty Matuk, o=UAEM, ou=Centro de Investigación Transdisciplinar en Psicología, email=delahanty@uaem.mx, c=MX
Fecha: 2022.06.08 09:07:32 -05'00'

Dr. Guillermo Delahanty Matuk
Director del CITPSi y
Presidente del 4to CONIITCH 2022

Firmado digitalmente por Dra. Gabriela López Aymes
Nombre de reconocimiento (DN): cn=Dra. Gabriela López Aymes, o=UAEM, ou=Centro de Investigación Transdisciplinar en Psicología, email=gabriela.lopez@uaem.mx, c=MX
Fecha: 2022.06.08 09:07:59 -05'00'

Dra. Gabriela López Aymes
Presidenta del Comité Científico
del 4to CONIITCH 2022



La Sociedad Latinoamericana y Caribeña de Historia Ambiental (SOLCHA)

otorga la presente **constancia** a

David Pérez González

Por impartir la **ponencia** titulada

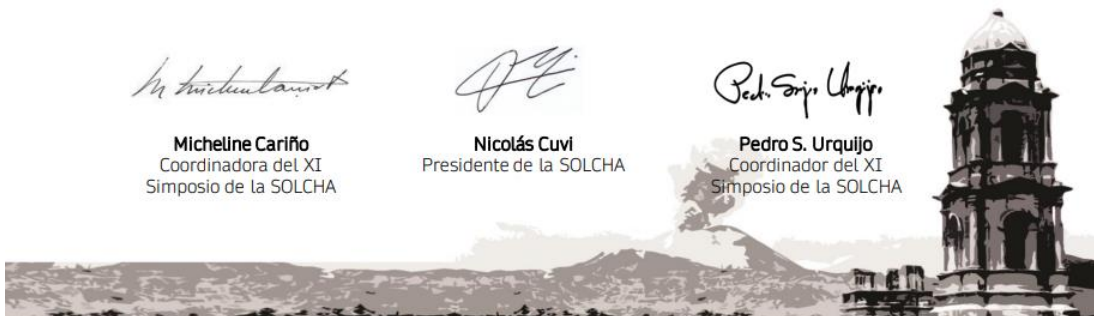
Aproximación al metabolismo hídrico de la ciudad de Puebla

En el marco del XI Simposio de la Sociedad Latinoamericana y Caribeña de Historia Ambiental, celebrado en la ciudad de Morelia, Michoacán, México, del 19 al 24 de junio de 2023.

Micheline Carriño
Coordinadora del XI
Simposio de la SOLCHA

Nicolás Cuví
Presidente de la SOLCHA

Pedro S. Urquijo
Coordinador del XI
Simposio de la SOLCHA





BUAP

Oficio. No. DIHMO/009/2024

A QUIEN CORRESPONDA.

Reciba por este medio un cordial saludo, al tiempo que:

Hago constar que el Mtro. David Pérez González, doctorante del posgrado en Ciencias Ambientales del ICUAP (BUAP), participó como ponente en el II Congreso sobre la Gestión Integral del Agua con el tema “Suministro de Agua en la Ciudad de Puebla desde la perspectiva del Metabolismo Hídrico Urbano”, el cual fue presentado el 26 de octubre del año anterior en la Casa del Libro “Gilberto Bosques Saldívar” de la BUAP.

Sin otro particular, reciba mis consideraciones distinguidas.

A t e n t a m e n t e

“Pensar bien para vivir mejor”

H. Puebla de Z. 22 de enero de 2024.

Mtra. María Eugenia Ochoa García.
Coordinadora.

C.c.p. Archivo.



Departamento de Investigaciones
Históricas del Movimiento Obrero

Av. Juan de Palafox y Mendoza
208, Col. Centro Histórico,
Puebla, Pue. Pue. C.P. 72000
Tel Fax/246 02 36