



**UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL**

**“MODELO DE PROYECCION DE DISPONIBILIDAD DE AGUA EN LA
CUENCA DEL RIO MAIPO”**

CAMILA BELÉN MUÑOZ PINTO

PROFESOR GUÍA: LUIS ROBLEDO ALDANA

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL**

**SANTIAGO – CHILE
DICIEMBRE, 2017**



FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL
DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y PROPIEDAD

Yo, **Camila Belén Muñoz Pinto**, declaro que este documento no incorpora material de otros autores sin identificar debidamente la fuente.

Santiago, _ DICIEMBRE de 2017

Firma del alumno

*“Aquellos que han decido nadar contra l
no deberán esperar que cambie la dirección “*

Stanislav J. Lee

AGRADECIMIENTOS

Normalmente las personas no solemos agradecer el enorme apoyo que nos brindan a diario todos aquellos que se dan el tiempo para guiarnos, ayudarnos y apoyarnos. En esta oportunidad quiero agradecer a todas aquellas personas que siempre creyeron en mis capacidades, aun cuando yo no creía ser capaz de lograr este desafío, a mis amistades que fueron paciente y me otorgaron palabras de apoyo y ánimo constante que sin duda me permitieron fortalecerme y continuar.

Principalmente quiero agradecer a mis padres por creer en mí, por apoyar todas mis decisiones y permitirme crecer, gracias por entregarme su amor incondicional, por ser mi aliento cuando este me faltaba, por cuidar y enseñarme día a día, por sus esfuerzos que se han visto reflejado en enormes alegrías, gracias por ser mis padres. A mi madre especialmente quien además es mi amiga, mi animadora personal, gracias por las conversaciones infinitas, por nunca dejarme sola, por su dulzura en cada palabra, por su preocupación constante, es la persona más increíble del universo. "Gracias por entregarme tanta verdad cuando el mundo no hace más que divagar".

Agradezco a mis hermanos Braulio y Geraldine que siempre han creído en mí y me han alentado y desafiado a más. A mis sobrinos Josefa, Braulito y Maxito que iluminan mi vida y me ayudan a ser cada día mejor persona. A mí cuñada Fanny por darme ánimos para terminar mi carrera. Agradezco a mis amistades, Valentina Olazo por escuchar mis abundantes quejas y recibirme en tu casa tantas veces.

Gracias, mil gracias.

ÍNDICE GENERAL

I. Contenido

I.	INTRODUCCIÓN	8
I.1.	IMPORTANCIA DE RESOLVER EL PROBLEMA DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE	10
I.2.	DISCUSIÓN BIBLIOGRÁFICA	13
I.3.	CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO Y SU IMPORTANCIA	16
I.4.	OBJETIVO GENERAL	17
I.4.1.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
I.5	ESTUDIO DEL ARTE	18
	ANTECEDENTES MUNDIALES.....	18
	INVESTIGACIONES PREVIAS	19
	ESTUDIOS DE DESERTIFICACIÓN Y SEQUÍA.....	23
I.6.	PROPUESTA METODOLÓGICA.....	27
I.6.1	IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	27
I.6.2	COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA	27
I.6.3	ESTRUCTURAS DEL SISTEMA	27
I.6.4	ECUACIONES DEL SISTEMA.....	27
I.6.5	MODELO.....	27
I.6.7	EVALUACIÓN DEL MODELO.....	27
I.6.8	EXPLOTACIÓN DEL MODELO.....	28

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2: UTILIZACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES EN CHILE.....	25
---	----

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRAFICO 1: COMPARACIÓN ENTRE LA OFERTA Y DEMANDA DE AGUA PARA LA EMPRESA AGUAS ANDINAS (M³/s) 13

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2: DESERTIFICACIÓN Y SEQUIAS EN EL MUNDO.....	24
--	----

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un tema abordado mundialmente, por los problemas que ha significado en el cambio de las temperaturas, derretimiento de glaciares, disminución de precipitaciones, elevación de la isoterma cero y disminución de fuentes hídricas (lagos, ríos, lagunas, entre otras). Puntualmente los recursos hídricos en el mundo han generado una alerta a las Naciones Unidas (ONU), Organización Mundial de la Salud (OMS), Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP), entre otras entidades involucradas en el estudio de los efectos del cambio climático. El agua, si bien es uno de los elementos más comunes en el planeta, apenas un 2,53% del total es agua dulce, considerando que parte de ella se encuentra en glaciares, tan solo el 1% se encuentra disponible en ríos, lagos y acuíferos para el consumo humano. La ONU, ha declarado este recurso como la base del desarrollo de la industria, la agricultura, el sustento residencial y medio ambiental es el agua. En 1995 el mundo extrajo 3.906 kilómetros cúbicos de agua para dichos fines. Se ha proyectado que para el año 2025 esta cifra aumentará en un 50% (International Water Management Institute, 2002).

Las enormes sequías producidas en los últimos tiempos alertan a países en vías de desarrollo a tener resguardos y medidas que disminuyan este riesgo. Chile no se encuentra exento del cambio climático. El último reporte climatológico de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) indica un calentamiento persistente en la zona centro y sur del país, donde se ha observado la temperatura media más alta en 56 años. Las ciudades más afectadas fueron Valparaíso y Santiago, con un alza promedio de 1°C. En la temporada 2011-12, 2014-15-16, se registró el mayor número de olas de calor, aumentando en un 40% estos episodios.

Santiago sigue la tendencia con una razón de incremento de 0,14°C por década, además el déficit de precipitaciones es aún menos alentador con un promedio de 202,8 mm en los años 2011-2016 en comparación a décadas anteriores, con un promedio de 331,6 mm, registrándose un déficit promedio de 43%, considerándose la década más seca en los últimos años (Dirección General de Aeronáutica de Civil, Dirección Meteorológica de Chile, 2016)

Se estima que la extracción de agua dulce ha aumentado en un 1% anual desde los años 80' en el mundo debido al crecimiento económico de países en desarrollo, considerando que el 78% de los puestos de trabajo dependen del agua (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la ONU, 2016) .

De lo anteriormente expuesto, los diversos organismos prevén que la demanda de este recurso irá en aumento, y apuntan a que la mala gestión puede afectar la economía y a la sociedad considerablemente. En Santiago contamos con la cuenca del Río Maipo como el principal abastecedor de agua. Este atiende aproximadamente el 70% de la demanda actual de agua potable del Gran Santiago y el 90% del regadío (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, sf).

La cuenca del río Maipo se encuentra situada entre las latitudes 32°56' y 34°05' y longitudes 69°46' y 71°40', abarcando 15.380 km^2 . El río nace en las laderas del volcán Maipo a 5.623 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar) y desemboca en el océano Pacífico. Esta cuenca cubre tres regiones, la Quinta Región, Región Metropolitana y la Sexta Región. Su recorrido total es 250 km. El régimen hidrológico es mixto, su origen fluvial, lacustre y glaciar además recibe aporte de las precipitaciones y derretimiento de las nieves, por lo que se producen fuertes crecidas en invierno y primavera.

El suministro de agua potable en Santiago, debe responder a la demanda de los sectores residenciales (94,01%), comercial (4,8%), industrial (0,18%) y otros (1%). Considerando que hasta el año 2015, solo el sector residencial consume 137 litros por habitante al día. La oferta en el sector sanitario está compuesto por 57 empresas, donde el 95,8% pertenecen al sector privado, mientras que el 4,2% son concesionarios del Estado. De las cuales 28 de las principales empresas abastecen al 99,6% de los clientes de zonas urbanas del país (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2016).

La gestión de las redes es relevante. Hasta el año 2015 las pérdidas de agua potable en las redes alcanzo el 33,65%, valor que se encuentra estancado desde el 2012. Esto corresponde a la etapa de distribución de acuerdo a la información entregada por las empresas sanitarias.

La investigación se enfoca en analizar las variables que afectan el suministro de agua potable específicamente en Santiago. Considerando los impactos que puede producir una escasez hídrica en Santiago. De modo que se logre analizar el impacto en los diversos sectores que se abastecen de la cuenca más relevante de Santiago, la cuenca del Río Maipo. Para ello se realizará un modelo bajo el concepto de dinámica de sistemas usando diagramas causales, con el fin de detectar cuáles son los sectores más sensibles. El modelo permitirá simular los escenarios a los que se expone obteniendo conclusiones y propuestas de gestión del suministro de agua.

I.1. Importancia de resolver el problema de suministro de agua potable.

El agua es esencial para la vida y para el desarrollo de la misma. Abarca la mayoría de los sectores económicos desde la salud, energía, industria, minería, entre otros que de no ser gestionadas eficientemente radican en problemáticas sociales, políticas y económicas. Así lo especifican varios informes. Entre ellos el informe desarrollado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) “La Economía del Cambio climático en Chile”. El informe declara el aumento en un 160% de la extracción de agua dulce en Chile entre los años 1990 al 2002, donde destaca que la mayor parte del consumo corresponde al riego, con un 84,5% del total nacional, haciendo alusión a los graves problemas que generaría el cambio climático en los recursos hídricos. En Chile la extracción entre los años 2000-2006 aumento de 24.600 millones a 35.400 millones de m^3 . De ese delta, un 80% correspondió a la extracción del sector agrícola. (FAO O. d., 2016)

Si bien los recursos hídricos son renovables, a excepción de ciertas aguas subterránea, las precipitaciones son la principal fuente de agua que da inicio al ciclo hidrológico. Sin embargo, este ciclo no ha considerado el papel que ejerce la humanidad. Según un informe de WWAP en el mundo se extrae un 8% del total anual de agua dulce, de ello se apropia del 26% de la evapotranspiración anual y del 54% de las aguas escorrentías accesibles. La ONU en su informe “Agua para todos, Agua para la vida” (2005) señala que 23,8 millones de Km^3 de agua se encuentra congelada, 74.200 Km^3 se evapora, 119.000 Km^3 se precipita

en los continentes y 458.000 Km³ se precipita en el mar. El ciclo hidrológico, como bien lo ha planteado la ONU implica actualmente la evaporación de 502.800 Km³ de los cuales 458.000 Km³ regresan en precipitaciones, 42.600 Km³ en derrames superficiales y 2.200 Km³ en derrames superficiales. La organización prevé para el año 2050 un aumento de temperatura de 1,4 a 5,6°C, causando el aumento del mar en 44 centímetros, un aumento del 5% en las precipitaciones y la extinción de una cuarta parte de las especies.

El consumo de agua potable en Chile ha ido disminuyendo a través del tiempo. En el periodo 1998 - 2008 el promedio mensual presentó una notoria tendencia a la baja pasando de 23,9 a 19,1 m³ por cliente al mes. El consumo promedio del año 2015 fue de 18,4 m³ por cliente al mes. Las medidas de concientización y las nuevas tecnologías aplicadas en el sector agrícola para el regadío han respondido positivamente. La producción de agua potable de las 28 empresas más importantes del sector se incrementó un 1,5% respecto del año anterior, alcanzando 1.698 millones de m³ en el 2015, sin embargo, actualmente las pérdidas de agua en la red en la etapa de producción y distribución alcanzan un 15% en la distribución y hasta un 5% en producción. Si el sistema cuenta con tratamiento de osmosis inversa, se considera un 25% de pérdida para agua salobre¹ y 48% en caso de tratar agua de mar. Las causas son múltiples, desde problemas en la infraestructura de la red, hasta hurtos. Esto afecta directamente el balance oferta- demanda, por lo que es esencial tomar medidas en este caso. Este es uno de los principales desafíos de las empresas sanitarias en los próximos años. En cuanto a la demanda y oferta, podemos observar que existe un riesgo de no satisfacción.

La seguridad en el sistema de abastecimiento de agua cualquiera sea su uso, está directamente asociada a la capacidad de dichos sistemas para satisfacer ciertas demandas en un momento dado, de lo contrario, hablamos de falla en el sistema (Lagos, 2006). El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), establecido el año 1988 por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, se basa en literatura científica y socioeconómica para elaborar

¹ Mezcla de agua dulce y salada, cuya designación salina va entre los 1.000-2.000(ppm), mayor a la del agua dulce, pero menor a la del agua de mar (RWL, 2014)

evaluaciones de impacto. En su último informe, ha destacado en América Central y del Sur la disminución de disponibilidad de agua y el aumento de inundaciones y desplazamiento de tierras, lo que afecta la cantidad y calidad de los recursos hídricos. Según las proyecciones, cuanto mayor sea el nivel de calentamiento en el siglo XXI mayor será el porcentaje de la población mundial que experimentará escasez de agua y que se verá afectada por grandes inundaciones fluviales.

Considerado que la Región Metropolitana concentra aproximadamente el 40% de la población y prácticamente el 50% del PIB nacional, convierte a la cuenca del Río Maipo en una cuenca estratégica, por lo que es fundamental estudiar los efectos del cambio climático. Las proyecciones de la demanda de agua potable realizadas por la CEPAL, considerando un aumento de la población, sube de 14 a 18 m³/s en valores medios anuales y baja 17m³/s en periodo tardío (CEPAL, 2009). El estudio refiere varias consideraciones a la empresa Aguas Andinas, que abastece prácticamente a la totalidad de la población de la Región Metropolitana, donde prevé un déficit entre la disponibilidad de agua natural y la demanda, como bien podemos observar en el Gráfico 1. Bajo este análisis, CEPAL asume que la empresa deberá incurrir en gastos asociados a nuevas inversiones en infraestructura, que pudiesen eventualmente traducirse en aumento en las tarifas de consumo por habitante.

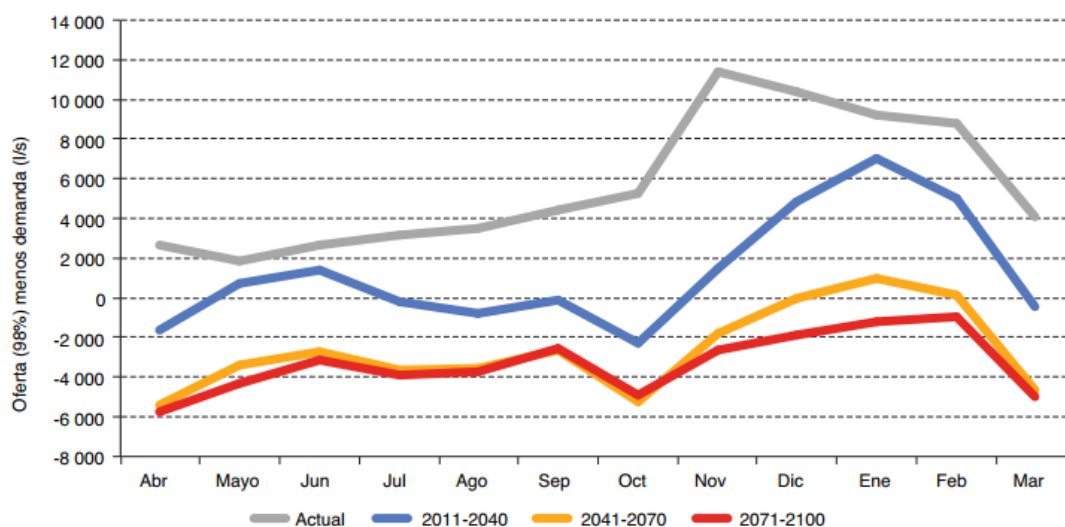


Gráfico 1: Comparación entre la Oferta y Demanda de Agua para la empresa Aguas Andinas (m3/s)

Fuente: (CEPAL, 2009)

Con la representación de un modelo de simulación dinámica, considerando eventos de sequías producidos por aumentos en la temperatura y precipitaciones, además de la elevación de la isoterma 0°, entre otros escenarios generados por los efectos del cambio climático, se pretende analizar cómo afecta a los sectores multidimensionales que es alimentado por la cuenca del Río Maipo. De modo que se logre analizar los sectores más afectados.

I.2. Discusión bibliográfica

El cambio climático no es un tema que se discuta recientemente, sin embargo ha tomado fuerza en los últimos tiempos. Las consecuencias que éste puede generar en la sociedad preocupa a diversas entidades, como anteriormente se ha planteado. Según el quinto informe del IPCC, la temperatura proyecta una tendencia de aumento en América del Sur de +1,7°C a +6,7°C. Mientras que prevé una tendencia de incremento y descensos en la precipitaciones entre un -22% a +25% para el 2100. En el mundo, incluyendo a América Latina, el cambio climático está afectando los recursos de agua dulce, impactando en la calidad y cantidad del agua potable (IPCC, 2014).

En Chile se distinguen tres tipos de distribución de precipitación al año. En la Región Central y Centro-Sur existe un ciclo anual definido, caracterizado por un máximo invernal y un periodo estival con un monto significativamente menor que va aumentando hacia el sur. Este régimen se reconoce como mediterráneo y abarca desde los 30°S hasta los 40°S, aproximadamente (CONAMA, Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2006)

El régimen climatológico de Chile se encuentra relacionado con el fenómeno del Niño y la Oscilación del Sur (Efecto Niña). El fenómeno del Niño, ocurre cada 2 a 7 años aproximadamente en la región del Océano Pacífico tropical, sin embargo, sus consecuencias se extienden por el mundo. Este fenómeno también es conocido como evento ENOS (El Niño-Oscilación del Sur) donde actúa en 2 fases, una cálida (“El Niño”) y otra fría (“La Niña”) (SHOA, s.f.).

Según varios estudios realizados, la variabilidad en las precipitaciones se ve afectada por el ciclo ENOS. Existe una tendencia a la baja en las precipitaciones, observándose condiciones anormalmente secas durante el fenómeno de Oscilación del Sur (Rubin, 1955; Pittock, 1980). Mientras que la tendencia del efecto “El Niño” genera un alza en las precipitaciones (Quinn y Neal, 1983; Kane, 1999).

El segundo informe del ministerio de medio ambiente a la ONU, vincula directamente el cambio climático con la disponibilidad de recursos hídricos, por lo que es de esperar que las temperaturas y las precipitaciones cambien los modelos para pronosticar el clima a futuro en Chile continental en el siglo XXI. Los aumentos de temperatura reducirían el área andina capaz de almacenar nieve entre años sucesivos, considerando que la isoterma 0°C experimentaría un alza de altura (Carrasco et al 2005).

H. Liniger y R. Weingartner (1998) relacionan las montañas con el suministro del agua dulce, dado que todos los grandes ríos tienen como cabecera zonas montañosas. Plantea que al aumentar la demanda, aumentan los conflictos por el uso de agua potable. Prevé que la situación desfavorable se agudiza, debido a la disminución en el almacenamiento de hielo para posterior distribución para el consumo humano, abastecimiento hidroeléctrico, desarrollo industrial y capacidad de riego, particularmente en épocas de sequía.

Hreiche (2007) simuló seis escenarios para estimar el cambio en la escorrentía en la costa de los ríos Libaneses, mediante un modelo estocástico de lluvia y temperatura. Este modelo climático-escorrentía fue utilizado para determinar el impacto que generaría un aumento de 2°C sobre el flujo de la cuenca afectada por cubierta de nieve estacional. El modelo presentó modificaciones del régimen hidrológico significativas; las sequías podrían producirse 15 días a un mes antes; las inundaciones de nieve derretida son substituidas a menudo por inundaciones de precipitaciones, y el flujo máximo ocurriría dos meses antes. Generando un gran impacto en los recursos hídricos en el futuro.

En Chile Givovich W. (2006) expuso el creciente aumento de la utilización de los recursos de agua en la zona norte- central del país, debido al crecimiento económico, el desarrollo social y el aumento de la población. Destacó el deterioro de los recursos hídricos en su calidad y disminución en la oferta natural. Sostuvo que *“La zona Centro-Norte del país, se ha observado una sostenida tendencia a la baja en las precipitaciones durante los últimos 100 años en La Serena y Santiago”*. Observó el derretimiento de nieves a un ritmo acelerado. Sus análisis determinaron que el río Maipo aumentó de 0,747 m³ /seg como promedio anual, llegando a un incremento de 1,78 m³ /seg/año durante el mes de enero. Finalmente concluyó que se debe velar por mantener un equilibrio, considerando que la sobreexplotación de los ríos, la constante competencia por el agua, su privatización y cambios climáticos atentan contra este equilibrio.

Santibañez F. (2013) en la primera jornada temática de desertificación y sequía de la Comisión de Recursos Hídricos, Desertificación y Sequía, declara que la desertificación es un tema multidimensional por el gran número de elementos que influyen en el medio ambiente. Muestra una real amenaza en la escasez hídrica, donde la degradación de los suelos en Chile es de 630 hectáreas por día. Los desiertos podrían expandirse unos 10 millones de Km² en el mundo. Destaca que el clima se ha tornado más inestable, más variable y más hostil. Los cuerpos de hielo disminuirían en un 50% generando disminución en la disponibilidad de agua en las cuencas. Asevera que el primer sector que se verá afectado por la aridez, es la agricultura ya que el 75% del PIB agrícola se desarrolla en zonas secas. Observa que las precipitaciones siguen una tendencia de disminución.

Concluye que el problema de desertificación se genera por la mala utilización de los suelos, sobreexplotación de los recursos, dando paso a un aumento de la pobreza en la población. Considera al ser humano como la causa y la consecuencia del cambio. Y realiza una retrospectiva de la gestión insustentable de los recursos, la falta de conocimiento y la ausencia de conciencia con la sustentabilidad del planeta para próximas generaciones.

Serrano B. R. (2014) en su Tesis “Proyecciones de disponibilidad de agua del recurso hídrico en la cuenca alta del Maipo, bajo escenarios recientes de cambio climático”, destaca la vulnerabilidad de la cuenca para el periodo 2040-2070. Prevé un cambio importante en el comportamiento de las cuencas estudiadas (Yeso, Queltehue, Melosas), pasando de un régimen netamente nival a un régimen mixto nivo-pluvial, con crecidas en Junio y Octubre, provocando crecidas en los deshielos, producto del aumento de temperatura. Por otra parte aumentarían los caudales mínimos entre mayo y octubre, proyectándose un déficit del 50% durante el verano, generando periodos secos. (Serrano Bustos, 2014)

I.3. Contribución del trabajo y su importancia

El estudio de los sectores multidimensionales que se ven afectados por la escasez en el suministro del caudal de río Maipo, particularmente las variables climatológicas que generan una variación en el caudal, permitirá analizar el riesgo percibido por los sectores afectados por los eventuales cambios y el riesgo aceptado. Al hacer referencia a los sectores afectados, se considera la demanda residencial, industrial y agricultura, que requieren de este recurso considerablemente para realizar sus funciones. Como anteriormente se ha señalado, en los diversos estudios e informes de las instituciones, se ha vinculado fuertemente estos sectores con el crecimiento del país.

Se ha destacado en diferentes investigaciones previas la importancia en la extracción de agua en los sectores de la agricultura, riego y municipal, además se ha realizado la necesidad que su demanda sea satisfecha. Tras la investigación de las variables que generan cambio en el caudal del río Maipo, una de las más relevantes de Santiago.

Como podemos observar en la Tabla 1, las extracciones de estos sectores requieren de una oferta capaz de satisfacer la demanda anual, sin embargo, si el caudal disminuye su

escorrentía se puede ver afectado el balance hídrico generando escenarios de escasez. Por otra parte, si el caudal aumenta su escorrentía es probable generar daños por inundaciones.

<i>Chile</i>	1988-1992	1998-2002	2003-2007
<i>Extracción de agua agrícola (10⁹ m³/año)</i>			29,42 (2006)
<i>Extracción de agua industrial (10⁹ m³/año)</i>	2,211(1992)	2,324 L (2000)	4,744 (2006)
<i>Extracción de agua municipal (10⁹ m³/año)</i>	1,098 (1992)	1,043 L (2000)	1,267 (2006)
<i>Extracción de agua para riego (10⁹ m³/año)</i>			16,64 ² (2006)
<i>Extracción de agua agrícola (% extracción total)</i>			83,04 (2006)
<i>Extracción de agua industrial (% extracción total)</i>	10,9 I (1992)		13,39 (2006)
<i>Extracción de agua municipal (% extracción total)</i>	5,397 I (1992)		3,576 (2006)
<i>Extracción total de agua per cápita (m³/hab/año)</i>	1,496 K (1992)		2,152 K (2006)

Tabla 1: Extracción de agua de diversos sectores en Chile

Fuente: Base de Datos principal AQUASTAT

Se considera relevante estudiar el impacto por medio de un modelo de simulación de dinámica de sistemas, para evaluar las decisiones gubernamentales que se están desarrollando por medio de la homeostasis del riesgo ante el escenario de escasez en Santiago, ya que a través de este se puede observar las variables más sensibles al cambio de escorrentía.. De modo que se discutan nuevas tomas de decisiones en los sectores, para disminuir el eventual riesgo.

I.4. Objetivo general

Proponer un modelo de simulación dinámica para evaluar la homeostasis del riesgo gubernamental ante el riesgo de escasez en los recursos hídricos del caudal del río Maipo, principal abastecedor de agua en el área de la Región Metropolitana, para evaluar el eventual impacto en el balance hídrico (oferta- demanda) y los sectores afectados.

I.4.1. Objetivos específicos

1. Analizar las medidas que se han tomado ante el tema, entendiendo el riesgo percibido y aceptado por las autoridades ante el escenario de escasez en recursos a nivel superficial de agua potable en Santiago, en la cuenca del Río Maipo.
2. Establecer diagramas causales de modo de observar las principales variables que intensifican el riesgo de escasez en los diversos sectores .

² 16.522 irrigation + 0.123 forestry

3. Desarrollar un modelo de dinámica de sistemas que muestre cómo se comporta el riesgo por homeostasis a nivel gubernamental ante la escasez de agua potable de los sectores que se abastecen de la cuenca del río Maipo.
4. Evaluar las consecuencias en la demanda por los cambios en la oferta de los recursos hídricos a nivel superficial de la cuenca del río

I.5 Estudio del Arte

Antecedentes mundiales

El mundo en las últimas décadas ha prestado mayor atención a los impactos que el cambio climático pudiese eventualmente generar. Dentro de los impactos, el agua se convierte en un foco de gran importancia, por los daños que este puede provocar, tanto en escenarios de sequías como en inundaciones en las ciudades. Para ello es necesario, realizar un análisis del entorno, y considerar los daños que hoy en día se han vinculado al cambio climático. Tras la revisión de antecedentes se encuentra diversas problemáticas en el mundo.

Bolivia afronta una de las mayores crisis de agua. En el año 2000 decenas de miles de personas protestaron por la privatización de los servicios de agua de la ciudad, como resultado, una persona murió y varios resultaron heridos. Este hecho fue conocido como la “primera guerra del agua del siglo XXI” (Vidal, 2017). Actualmente Bolivia atraviesa por una larga sequía que afecta varias regiones del país, donde el agua potable es racionada a unos cuantos días a la semana en varias ciudades. Esto ha generado una enorme incertidumbre en el gobierno de Morales. Pablo Solón, ex embajador de Bolivia en la ONU ha señalado en el diario The Guardian, que uno de los principales factores ha sido la mala gestión de los recursos, destacando que las ciudades se encuentran vulnerables al cambio climático y las malas prácticas políticas empeoran la situación, haciendo alusión al desarrollo de la industria extractiva, la deforestación y las mega represas.

En Ecuador, si bien no existe escasez del recurso hídrico, los problemas radican en la desigualdad en el acceso de agua potable.

La salida de Estados Unidos del acuerdo del cambio climático de París en el gobierno de Trump, genera preocupación en la comunidad de investigadores. Este acuerdo tiene como objetivo reducir las emisiones de CO₂ y evitar que la temperatura global suba de 2°C, con el fin de detener el cambio climático. Este acuerdo ha unido a 195 países. Considerando que Estados Unidos y China son los mayores emisores de gases contaminantes. Tan solo el año 2015, Estados Unidos emitió 5,1 millones de kilotonnes de dióxido de carbono, más que los 28 países combinados de la Unión Europea. Estados Unidos se había comprometido en disminuir en un 26- 28% las emisiones. Este acuerdo si bien tiene un objetivo en común, cada país puede generar sus propios objetivos para alcanzar dichas disminuciones.

La revista Nature Climate Change (Diciembre, 2016) expresó que la demora de Estados Unidos podría generar que los objetivos del acuerdo de París sean inalcanzables. Un análisis de Climate Interactive plantea que si Estados Unidos no toma ninguna acción, la temperatura global podría aumentar en 0,3°C. Mientras que el profesor de política ambiental de la Universidad de Sidney, David Schlosberg comenta que los esfuerzos de China e India podrían compensar el retiro de Estados Unidos (Ben Westcott, Steve George, 2017).

Investigaciones Previas

Entre las investigaciones que se han enfocado en el análisis de los daños que puede generar una mala gestión de los recursos hídricos y de los efectos que produce el cambio climático, encontramos a Gleik P. (1993), quien explica cómo se ve afectado el balance del ciclo hidrológico, considerando las variaciones de precipitaciones, evaporación, escorrentía y sus áreas, cuando en la renovación de este ciclo interviene una rápida tasa de extracción de este recurso por parte de los humanos. En su investigación, repasa sobre el impacto que se genera en los recursos hídricos producido por las actividades económicas, tras el incremento de las últimas décadas en el crecimiento de la agricultura, el desarrollo industrial y el crecimiento poblacional. Produciendo cambios en la cantidad y calidad de agua. Afirma que el volumen de agua necesario por cada región depende de la población, de factores climáticos, y del nivel de desarrollo social y económico;

considerando que las características climáticas son de especial importancia. En su investigación Gleik asevera que en los confines de cada continente existen vasta regiones con clima árido y regiones con recursos limitados, entre ellos Europa tiene un 33% de zona árida, el 60% corresponde a Asia, una larga fracción de África y el sur-oeste de Norte América, un 30% en Sur América y la mayor cantidad se encuentra en Australia (Figura 2)

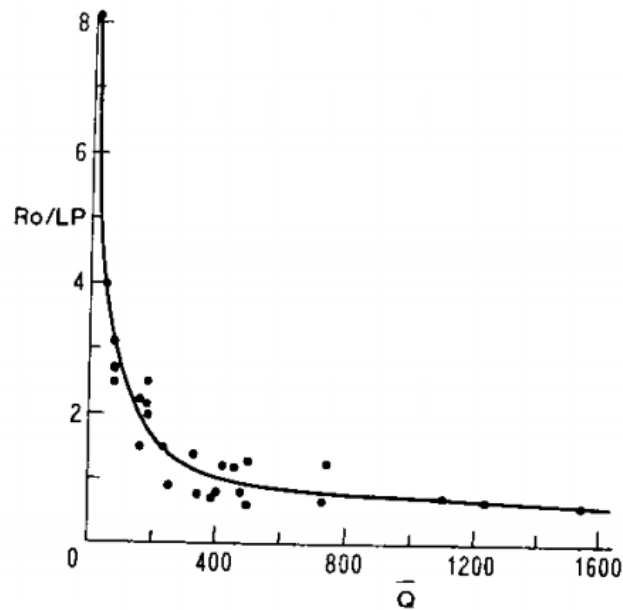


Figura 1: Escorrentía a largo plazo por región. La dependencia de la escorrentía media a largo plazo del río (Q) se representa para la región fisiográfica y económica del mundo en función del índice de aridez (Ro/LP)

Fuente: (Gleik, 1993)

Gleik realiza una relación entre la escorrentía y los factores climáticos para observar la disminución de los recursos hídricos, donde Ro corresponde al balance de radiación de la superficie húmeda. L, la evaporación y P, las precipitaciones (figura 1).

Frederick y Gleik (1999) señalan: “Los impactos socioeconómico de las inundaciones, las sequías y los factores climático y no climáticos que afectan la oferta y la demanda de agua dependerá en gran parte de cómo se adapte la sociedad”.

Actualmente en el mundo encontramos distintos modelos capaces de abordar el problema de la gestión de los recursos hídricos . El modelo PODIUM (Modelo de Dialogo de Políticas), desarrollado por el Instituto Internacional de Gestión del Agua (IWMI), es

utilizado como marco analítico para ayudar a los países a determinar las futuras direcciones con respecto a la agricultura y las políticas de recursos hídricos. Puede utilizarse para generar escenarios de agua/ alimentos por país o a nivel mundial, basado en los datos ingresados. El modelo estima la producción futura de cereales proyectada al 2025, en base a rendimiento esperados y áreas cultivadas, con y sin irrigación. Esta estimación en la producción se traduce en la demanda de riego y se compara con los desechos y los recursos renovables de 1995.

El modelo POLESTAR, desarrollado por el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo, es aplicable a escala global, nacional y regional. Aborda aspectos críticos de la transición a la sostenibilidad, donde el usuario puede personalizar la estructura, los horizontes temporales y los límites espaciales. Desarrolla escenarios futuros según los criterios de sostenibilidad ingresados por el usuario. Estos escenarios se generan en una serie de módulos, los tres módulos principales contienen variables económicas, demográficas y sociales. En los otros modelos se describen:

- i. La Sociedad (hogares, transporte, servicios, industria, agricultura y conversión energética) se introducen datos más detallados y las hipótesis del escenario.
- ii. Las presiones ambientales se explican en los módulos de Recursos (Recursos Energéticos, Minerales, Recursos Terrestres e Hídricos).
- iii. Los módulos de Poluciones (Aire, Agua, Tóxicos)

Los datos en los módulos pueden desagregarse por región, por subsector (por ejemplo, tipo de hogar, categoría industrial, modo de transporte, cultivo) y por proceso (por ejemplo, dispositivos finales de uso doméstico, proceso de fabricación, tipo de vehículo, práctica agrícola). El número y el tipo de regiones, subsectores y procesos son establecidos por el usuario para que coincida con los objetivos del análisis y la disponibilidad de datos. (Simonovic, 2002)

El Sistema de Evaluación y Planificación de Agua (WEAP), desarrollado por el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo y el Instituto Boston Tellus, es una herramienta computacional que provee un enfoque integral, basado en simulación. Calcula la demanda, oferta, escorrentía, infiltración, requisitos para la cosecha y almacenamiento del agua y

generación, tratamiento, descarga de contaminantes y calidad de agua en ríos para variados escenarios hidrológicos y de política. WEAP es un modelo forzado por variables climáticas.

Simonovic S. P. (2002) considera que las siguientes variables cuantitativas varían el uso de los recursos hídricos, el desarrollo socioeconómico, la población y las características fisiográficas incluyendo al clima. Explica que la combinación de estos factores determina el volumen, el carácter del uso del agua, su dinámica y tendencias futuras (considerando el alto margen de error en las predicciones de uso).

Bonelli S., Vicuña S., Meza F., Gironás J., Barton J. (2014) utilizaron el modelo WEAP en su investigación. Plantearon que los sistemas de gestión del agua han sido típicamente diseñados y operados bajo el supuesto de estacionalidad. Consideraron que esta hipótesis puede no ser válida en los escenarios de cambio climático, donde la disponibilidad de agua puede cambiar drásticamente en algunos lugares debido principalmente a los posibles impactos de los cambios en la temperatura y la precipitación sobre el volumen del flujo y la estacionalidad, agregando presión a los sistemas de abastecimiento de agua. Se ha demostrado que las cuencas dominadas por la fusión de nieve son particularmente sensibles a tales cambios. El estudio lo basan en la cuenca del río Maipo con el fin de evaluar las opciones de adaptación a nivel urbano, comparando periodos históricos con periodos de mediados del siglo XXI. Entregando dos alternativas como opciones altamente eficaces para este fin: compras de derechos de agua y mejoras en la eficiencia del uso del agua (Sebastián Bonelli, Sebastián Vicuña, Francisco J. Meza, Jorge Gironás and Jonathan Barton,, September, 2014).

La dinámica de sistemas es un enfoque asistido por computadoras para el análisis y diseño de políticas, a través de la observación del mundo. Se utiliza en cualquier sistema dinámico caracterizado por la interdependencia, interacción mutua, retroalimentación de información y causalidad circular de las variables. Forrester (1961) en su libro "*Industrial Dynamic*" inicia el desarrollo de este modelo, donde nace el software DYNAMO. Entre sus modelos más destacados, encontramos el controversial *Urban Dynamic*, que causó rechazo en un principio por los expertos, tiempo después publica *World Dynamics, Limits*

to Growth. Ferrester. Específicamente es en esta última publicación es donde se expone las necesidades de la sociedad para que esta continúe el crecimiento económico y demográfico de la sociedad, donde destaca como componente principal las necesidades físicas; agua dulce, tierras cultivables, metales, bosques y océanos. Mientras que los componentes secundarios, que radican de las necesidades sociales (paz y estabilidad social, educación y empleo), los considera de gran dificultad de evaluar y predecir, sin embargo, son estos los que apoyan los componentes principales y que pueden detener el crecimiento (Meadows, 1972).

Estudios de Desertificación y Sequía

Dado a la enorme preocupación que existe en el mundo por estos cambios, se hace inminente estudiar el avance de la desertificación y sequía que aqueja a varias regiones del mundo. Los esfuerzos no son menores, y la conciencia por la sustentabilidad de los recursos hídricos ha despertado en más de 168 países, que se han unido para combatir el daño que se ha generado en la tierra. El día 17 de junio se celebra el Día Mundial de Lucha contra la Desertificación y Sequía, impulsado por UNESCO. Dentro de las grandes preocupaciones que se abordan es escasez y calidad del agua. Si bien aún existe en el planeta suficiente agua dulce para satisfacer las necesidades de una población mundial de cerca de 7 mil millones de personas, el problema se genera en la desigualdad en la distribución, donde en muchos casos se desperdicia, contamina o se tiene un manejo insostenible. El uso del recurso hídrico ha aumentado el doble, esto tiene directa relación con el aumento en la población en el último siglo. Según UNESCO (2016) cerca de la quinta parte de la población mundial (1.200 millones) habita en sectores que enfrentan escasez, y otro cuarto de la población (1.600 millones) enfrentan recortes en el suministro, debido a que no tienen la infraestructura adecuada (ONU, 2005)

UNESCO define la escasez como *“la condición en la cual la demanda del agua, en todos los sectores, incluyendo el medio ambiente, no puede ser satisfecha debido al impacto del uso del agua en el suministro o en la calidad del recurso”*. Asocia al cambio climático en la aseveración del problema, especialmente en zonas áridas y semiáridas. Ya que el clima no es una variable controlable, refuerza la importancia de invertir en programas que protejan al medio ambiente natural, se conserven los recursos hídricos utilizándose de manera eficiente (UNESCO, 2016)

Podemos observar en la Figura 2 el avance de la desertificación en el mundo.

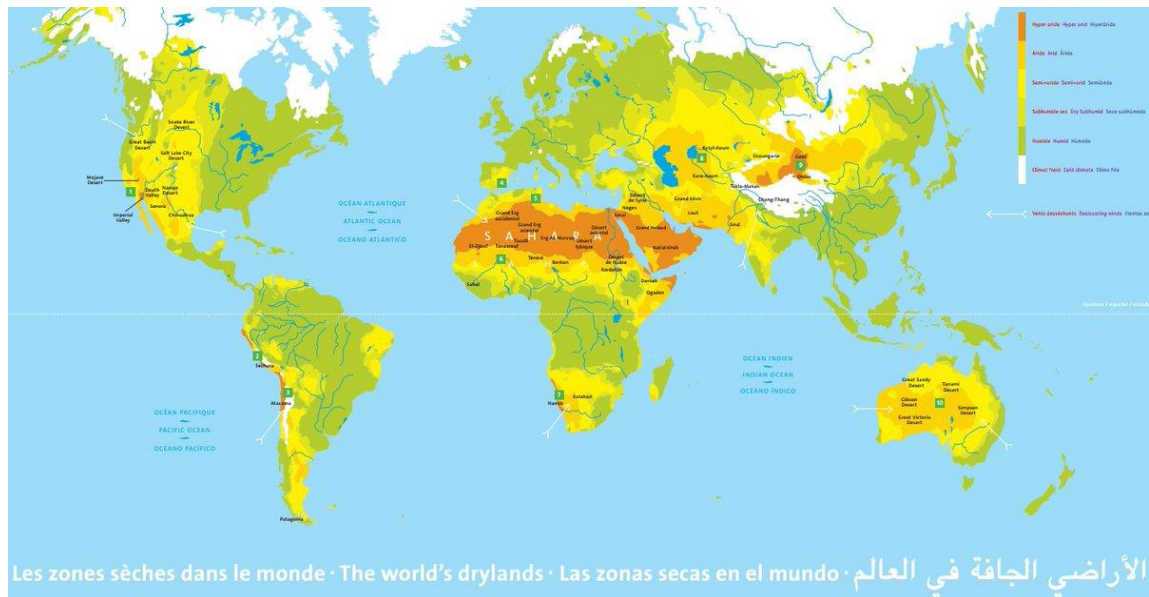


Figura 2: Desertificación y Sequías en el Mundo

Fuente: (UNESCO, 2016)

En Chile las preocupaciones no son menores, en el año 2013 se genera la primera jornada temática de desertificación y sequía impulsada por la Comisión de Recursos Hídricos, Desertificación y Sequía, se expusieron la problemática que el país enfrenta. Dentro de los expositores, Heitor Matallo, oficial de la Convención de las Naciones Unidas contra la Desertificación y Sequía, destacó lo multidimensional del problema, donde la complejidad se da por problemas sociales, ecológicos, políticos y económicos que al juntarse son es sencillo de tratar. Considera relevante de abordar el tema por la población y el territorio que habita zonas secas, explica la razón entre las precipitaciones (lo que se gana en la escorrentía) y la evaporación (lo que se pierde), donde las precipitaciones juega un importante rol en la acentuación de las zonas áridas, donde el balance hídrico es negativo. Matallo recalca las problemáticas que se pueden provocar por la prolongación de las sequías, entre ellas, las migraciones, la inseguridad alimentaria, los pérdidas económicas y biodiversidad. Promueve observar los impactos del cambio climático en los balances hídricos, donde la ausencia o inadecuadas políticas, la falta de inversión y las prácticas inadecuadas aumentan el riesgo de escasez (Matallo, 2013).

Herrada P. (2013) Gerente de estudios de ANDESS Chile A.G, asociación gremial que agrupa a las principales compañías de agua potable en las zonas urbanas, presentó la

capacidad de las empresas en la jornada temática. Destaca que el 77% de la utilización del agua es utilizada por el sector agrícola, y el 5% es utilizado por el sector sanitario con esto se debe prestar servicio a más de 4,7 millones de hogares, respecto a las fuentes con la que se alimenta el sector sanitario es a través de fuentes superficiales (53%) y fuentes subterráneas (47%). Comenta que la situación climática ha generado una variabilidad mayor, por otra parte la sobreexplotación de los recursos genera una zona de crisis, desde la tercera región hasta la octava región. Las empresas han tomado medidas, invirtiendo para enfrentar el problema. En cuanto a la región metropolitana, destaca el control efectivo en la primera etapa de extracción por parte de la empresa de Aguas Andinas. Considera necesario la integración de los sectores que se alimentan de las cuencas, donde se cree que debe haber una priorización de los recursos al consumo humano y mayor empoderamiento de las instituciones encargadas.

La unidad de diagnóstico del parlamento (2012) hace referencia a la disminución de la productividad agrícola en un 32% en una década. Científicos pronostican al 2030 un aumento de temperatura entre Arica y Chiloé, de 2 a 4°C, con avance del desierto hacia el sur, reducción hídrica en la zona central, aumento de las precipitaciones en la zona sur y disminución de los cuerpos de hielo. Finalmente muestra que si bien la problemática de la disponibilidad de agua en el país no es grave, el desequilibrio de la distribución y el uso ineficiente del recurso es lo que produce un riesgo. (Unidad de Diagnostico Parlamentario, 2012)

Crecimiento del uso del agua por sector (m3/s/año)				
Uso	1990	1999	2002	2006
Riego	516	611	647	527
Agua Potable	27	34	37	40
Industrial	47	68	77	84
Minería	43	51	53	63
Energía	1.189	2.914	3.929	3.997
Total	1.823	3.678	4.743	4.711

Tabla 2: Utilización de Aguas Superficiales en Chile

Fuente: (Banco Mundial, 2010)

La dinámica de sistemas permite un nuevo enfoque en la complejidad del desarrollo futuro. El cambio climático es un problema que radica de variables sociales, de como hasta ahora se desarrollado la industria, los asentamientos humanos, el desarrollo de la sociedad está ligado a la extracción de recursos naturales, y una vez utilizados estos mismos recursos utilizados producen contaminantes y el ciclo es necesario que sea estudiado. De modo que puedan tomarse medidas antes de que sea demasiado tarde. Considerando la complejidad del cambio climático, y de las dificultades que pueden generar en los componentes principales anteriormente mencionados. Entre los que destacamos el agua dulce como principal desarrollador de vida. La investigación apunta al estudio de las variables de generan un cambio en el balance hídrico. Como anteriormente se ha investigado es relevante estudiar la percepción del riesgo de escasez que tiene el gobierno y la población, de modo de analizar cuanto riesgo se acepta, y en qué momento los sectores que se ven afectados deben actuar, específicamente en la cuenca del rio Maipo. Para ello utilizaremos conceptos de la teoría de la homeostasis del riesgo. La teoría de Homeostasis del Riesgo sostiene que en cualquier actividad, las personas están dispuestas a aceptar cierto riesgo subjetivamente estimado para su salud, seguridad y otras que valoran a cambio de un beneficio que esperan obtener de dicha actividad (Wilde, 1994). Con ello en necesario destacar que la “homeostasis” no se refiere a un resultado fijo e invariable, sino a un proceso dinámica que ajusta la salida real a un objeto. Esta teoría permite condensar muchas experiencias de forma concisa para guiar las acciones de remediación y permitir decidir hacia dónde dirigir los esfuerzos y desarrollar solución. El término “homeostasis” fue acuñado en 1930 por el médico Walter Cannon. Su libro, *La Sabiduría del Cuerpo*, describe cómo el cuerpo humano mantiene constantes niveles de temperatura y otras condiciones vitales como el agua, la sal, el azúcar, las proteínas, la grasa, el calcio y el contenido de oxígeno de la sangre. Procesos similares mantienen dinámicamente las condiciones de estado estacionario en el ambiente de la Tierra (Rodolfo, 2000). De este modo en esta investigación se pretende abordar el riesgo percibido y aceptado bajo el enfoque del Estado ante la problemática de escasez hídrica.

I.6. Propuesta metodológica

El proceso de modelación de dinámica de sistemas no es un paso a paso secuencial. Generalmente se produce que al completar una de ellas se requiere volver a los anteriores procesos para reconsiderar algunos supuestos.

I.6.1 Identificación de la problemática

En esta primera fase se pretende estudiar de la problemática y si es útil simularla. Para ello se basará en la Teoría de Homeostasis del Riesgo (THR), planteando la problemática de escasez en los diversos sectores económico y la percepción de riesgo del Estado.

I.6.2 Comportamiento del Sistema

Se definirán las variables que acentúan la percepción social de riesgo, con el fin de conocer la estructura del comportamiento del sistema en el tiempo. Con esto se pretende conocer las causalidades. El resultado de esta fase, es la base del diagrama de causalidad.

I.6.3 Estructuras del Sistema

A través de la observación de tendencias y causalidad. Se realizarán diagramas para identificar como se relacionan las variables entre ellas. Esto implica conocer como cada elemento del sistema, observando como diferentes acciones, realizadas en diferentes partes del sistema, acentúan o atenúan las tendencias de comportamiento de la sociedad ante la vulnerabilidad ante el riesgo de escasez. Con este análisis podemos generar un esquema de la realidad. Dando paso a la generación del diagrama Forrester.

I.6.4 Ecuaciones del Sistema

A partir del diagrama Forrester, se pueden escribir las ecuaciones del modelo. Con esto podemos comenzar a simular en Anylogic.

I.6.5 Modelo

Esta fase consiste en la simulación informática del modelo para determinar la trayectoria que genera.

I.6.7 Evaluación del Modelo

En esta fase, se someterá analizará el modelo para verificar su validez y comprobar su lógica, donde se establecerán las limitaciones. Finalmente se plantearán conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones

I.6.8 Explotación del Modelo

En esta última fase se pretende analizar políticas alternativas, que hayan sido efectuadas con éxito en otros países del mundo y que puedan aplicarse al sistema que se está estudiando.

I.7. Referencias

1. Sebastián Bonelli, Sebastián Vicuña, Francisco J. Meza, Jorge Gironás and Jonathan Barton,. (September, 2014). Incorporating climate change adaptation strategies in urban water supply planning: the case of central Chile. *Journal of Water and Climate Change*, Vol. 5, No. 3, pp. 357-376.
2. Unidad de Diagnostico Parlamentario. (2012). *La Desertificación en Chile*. Valparaiso.
3. Arcil, J. (1995). Construcción, Análisis y Explotación de Modelos. En J. Arcil, *Dinamica de Sistemas* (págs. 52-61). Madrid: Isdefe.
4. Ben Westcott, Steve George. (1 de Junio de 2017). *¿Qué impacto tendrá la salida de Estados Unidos del Acuerdo de París?* Obtenido de CNN: <http://cnnespanol.cnn.com/2017/06/01/asi-seria-el-acuerdo-climatico-de-paris-sin-estados-unidos/>
5. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, B. (sf de sf de sf). *Chile Nuestro País*. Obtenido de Hidrografía Región Metropolitana de Santiago: <http://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region13/hidrografia.htm>
6. CEPAL, C. E.-c. (2009). *"La Economía del cambio climático en Chile"*. Santiago de Chile: Publicacion de las Naciones Unidas .
7. CONAMA, Comisión Nacional del Medio Ambiente. (Diciembre de 2006). *Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI*. Santiago, Chile: Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias: Universidad de Chile.
8. Dirección General de Aeronáutica de Civil, Dirección Meteorológica de Chile. (2016). *Resumen Climatico Chile-2016*. Obtenido de archivos.meteochile.gob.cl: <http://archivos.meteochile.gob.cl/portaldmc/meteochile/documentos/ResumenClimaticoChile2016.pdf>
9. FAO, O. d. (2016). *AQUASTAT*. Obtenido de Base de Datos Principal AQUASTAT: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html>
10. FAO, O. d. (2016). *Resumen general- América del Sur, Centroamérica y Caribe*. Obtenido de Tendencias : <http://www.fao.org/nr/water/aquastat>
11. Forrester, W. J. (July de 1989). The Beginning of System Dynamics. *Banquet Talk at the international meeting of the System Dynamics Society Stuttgart*. Germany.
12. Givochic, W. (2006). Derretimiento de las nieves y recursos hídricos. *AMBIENTE Y DESARROLLO*, 22(1): 58-67.
13. H. Liniger y R. Weingartner. (1998). *Montañas y recursos hídricos*. (U. d. Instituto de Geografía, Ed.) Obtenido de Deposito de documentos de la FAO: <http://www.fao.org/docrep/w9300s/w9300s08.htm#monta%C3%B1as%20y%2>
14. Hreife A., N. W. (2007). "Hydrological impact simulation of climate change on Lebanese coastal rivers". *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences*

- Hydrologiques*, 52(6), 1119-1133. Obtenido de Hydrological Sciences- Journal- des Sciences Hydrologiques .
15. International Water Management Institute, I. (2002). *Panorama global del agua hasta el año 2025*. Colombo: Instituto para el manejo del agua.
 16. IPCC. (2014). *Cambio Climático 2014: Impactos, adaptación*. Suiza: Organización Meteorológica Mundial.
 17. Lagos, S. M. (2006). Criterio de seguridad hidrológicos en sistemas de abastecimiento de agua potable. *Tesis para optar a magister en ciencia de la ingeniería , mención recursos y medio ambiente hídrico y Tesis para optar al título de Ingeniero Civil*. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas .
 18. Matallo, H. (17 de Junio de 2013). *La desertificación: un problema multidimensional a nivel mundial* . Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: https://www.bcn.cl/seminarios_actividades/evento.html?h=10221.1/39235&hs=10221.1/38974
 19. Meadows, D. H. (1972). *The Limits to Growth*. New York, United States of America : Universe Book.
 20. Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, I. (2014). *Cambio Climático 2014: Informe de Síntesis*. Suiza: IPCC.
 21. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la ONU, W. (2016). *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016: Agua y Empleo*. Paris: UNESCO.
 22. Rodolfo, K. (2000). What is Homeostasis? *Scientific American*, 1-10. Obtenido de Scie: <https://www.scientificamerican.com/article/what-is-homeostasis/>
 23. RWL, W. N. (29 de Septiembre de 2014). *¿Qué es el agua solobre?* Obtenido de RWL Water : <https://www.rwlwater.com/que-es-el-agua-salobre/?lang=es>
 24. Serrano Bustos, R. (Mayo de 2014). Repositorio Académico de la Universidad de Chile. *Proyecciones de disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca alta del Maipo, bajo escenarios recientes de cambio climático*. Santiago. Obtenido de Proyecciones de disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca alta del Maipo, bajo escenarios recientes de cambio climático.: <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/117011>
 25. SHOA. (s.f.). *Servicios Hidrográficos y Oceanográficos de la Armada*. Obtenido de ENOS- Fenómeno de "El Niño": <http://www.shoa.cl/nuestros-servicios/mareas/54-servicios/753-enos-fenomeno-de-el-nino>
 26. Simonovic, S. P. (2002). World water dynamics: global modeling of water resources . *Environmental Management*, 00, 1-19 .
 27. Superintendencia de Servicios Sanitarios, S. (2016). *Informe de Gestión del Sector Sanitario 2015*. Maval Ltda.
 28. UNESCO. (2016). *Abordar la Escasez y la Calidad del Agua*. Obtenido de Programa Hidrológico Internacional : <http://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/escasez-calidad>

29. Vidal, J. (1 de Marzo de 2017). "Crece la inestabilidad en Latinoamérica por la falta del agua". *The Guardian*. Obtenido de <https://www.theguardian.com/global-development-professionals-network/2017/mar/01/crece-la-inestabilidad-en-latinoamerica-por-la-falta-del-agua>
30. Wilde, G. (1994). *Target Risk*.