

Ficha 5. Estrategias e indicadores añadidos al modelo

Estrategias añadidas al modelo

Las siguientes estrategias (Tabla 1) se consideraron con base en la revisión de la literatura del conflicto del proyecto El Zapotillo, datos recuperados a través del instituto de transparencia, una revisión hemerográfica, y entrevistas con actores clave. Nosotros recuperamos estas estrategias comparándolas con experiencias internacionales exitosas para respaldar su viabilidad. Tales estrategias se encuentran disponibles en el modelo SimBasin Rio Verde para la elección de los participantes para garantizar seguridad hídrica, eficiencia, sustentabilidad y equidad a las ciudades y a la cuenca donante.

Tabla 1. Características de las estrategias incorporadas al modelo

Cambio en la variable	Información utilizada	Influencia en el modelo	Incertidumbres	Fuente
Altura de la presa: Elección entre diferentes alturas (60 m, 80, 105m) de la presa El Zapotillo	* Curva altura-almacenamiento que se encuentra en el modelo WEAP	Una altura menor de la presa implica un menor almacenamiento de agua y, por ende, menor gasto firme para distribuir entre los distintos nodos de demanda.	Ninguna incertidumbre intrínseca a la interacción de altura de la presa y dotación de agua a nodos de demanda.	UNOPS (2017)
Pérdidas físicas de distribución: Incrementar la tasa de reparación de fugas en el sistema de distribución de León y Guadalajara	* Promedio de reparación anual de tuberías de los organismos operadores del agua * Costo por km y costo por millones de metros cúbicos	Un incremento en la tasa de reparación de fugas implicaría menos demanda de agua en el sistema.	El costo marginal por kilómetro de reparación de tuberías es distinto en León y Guadalajara. Es necesario investigar más la causa. También se desconoce la interacción que hay entre las fugas de agua con las dinámicas de los acuíferos urbanos.	Liemberger (2018) SAPAL (2016) SIAPA (2018) Marsalek et al. (2008)
Captación de aguas pluviales (nueva variable añadida al modelo)	* Promedio anual de precipitación en Guadalajara y León * Potencial de captación de agua pluvial * Costo unitario de sistema de captación de agua pluvial * Costo por millones de metros cúbicos captados	Un incremento en el número de usuarios con un sistema funcional de captación de agua de lluvia significaría una disminución en la demanda de agua en los meses húmedos.	Debido a que esta propuesta se basa en la adopción de esta infraestructura por vivienda, no se sabe hasta qué punto la gente se adapte y adopte esta infraestructura, así como su cuidado. La capacidad de almacenamiento podrá rebasarse cuando haya eventos de lluvia seguidos e intensos, por lo tanto, se podría sobreestimar la verdadera capacidad de captación.	Furumai (2008) Gleason et al. (2018) Tagle-Zamora, et al. (2018)

Gestión sustentable de agua de tormenta (nueva variable añadida al modelo)	<ul style="list-style-type: none"> * Promedio anual de escorrentía en Guadalajara y León. * Potencial de captación de agua de tormenta * Costo por millones de metros cúbicos captados 	Un incremento en la infraestructura urbana para la captación de agua de tormenta podría usarse para reúso industrial y agrícola	Es difícil saber los costos asociados a esta propuesta a gran escala, puesto que necesita de espacio urbano para captar esta agua. Los centros de Guadalajara y León tienen escasez de espacio. Asimismo, no sabemos qué tipo de reúso pueda ser el más apropiado al contexto local y a la carga de contaminantes (caudal ecológico, uso habitacional secundario: funcionamiento de escusados, lavado de ropa, etc., recarga de acuíferos, industria, o agricultura.)	Mitchell (2008) Urias-Ángulo (2017) Villarreal et al., (2004) Wong (2007) Roy et al., (2008) US EPA (2007)
Implementar política pública de gestión de la demanda de agua	<ul style="list-style-type: none"> * Porcentaje de disminución en la demanda al instalar equipos ahorradores de agua. * Política pública para incentivar la compra de este tipo de equipo mediante un aporte gubernamental. 	Disminuye la demanda de agua, pero también disminuye los recursos financieros.	No se sabe cuál es el incentivo ideal para que la gente instale estos dispositivos en sus casas.	Bidhendi et al., (2008) Gobierno del Distrito Federal (2009)
Reducción de la demanda: Incremento del reúso de aguas tratadas	<ul style="list-style-type: none"> * Aumento del reúso de aguas tratadas para usos industriales y agrícolas. * Agua tratada para uso industrial y agrícola sin costo para el usuario, gratuita 	Esta medida disminuiría la demanda urbana para uso industrial y agrícola	Es necesario conocer el tipo de calidad que cada industria requiere para ser capaz de usar agua tratada. Tampoco se saben los costos adicionales de transportar el agua hasta zonas de producción agrícola.	Pettygrove (2017) Lyu (2016) Sapal (2016) Siapa (2017) Jimenez-Cisneros & Asano (2008)
Reducción de la demanda e incremento de los ingresos de los organismos del agua: Precio del agua	<ul style="list-style-type: none"> * Costo del agua tiene una elasticidad bien conocida, donde un incremento porcentual del agua disminuye su demanda. * Sin embargo, tal relación tiene un límite al no poder reducirse el consumo de agua sin afectar el bienestar de los habitantes. 	A mayores precios del agua se disminuye la demanda de agua, pero también se incrementan los recursos disponibles para implementar proyectos como captación de agua pluvial y de tormenta.	Para que funcione correctamente esta propuesta necesita ser acompañada de una campaña social continua que concientice a la población sobre los precios del agua, las inversiones que se necesitan hacer, y el objetivo de recuperación de costos.	Briseño et al. (2016) CIDE (2012)

	<p>* Un mayor precio del agua incrementa los ingresos de los organismos operadores del agua para poder invertir en las otras estrategias expuestas en esta tabla.</p>			
Tecnificar el campo con recursos de usuarios urbanos para liberar agua subterránea agrícola para uso urbano	<p>* Al hacer un cálculo de la productividad del agua agrícola, se puede estimar un pago intermedio donde los usuarios urbanos financien la tecnificación del campo que pueda liberar agua para cubrir la demanda urbana,</p>	Disminuir la demanda de agua de los acuíferos puede contribuir a la sustentabilidad y estabilización de los acuíferos.	No se sabe la aceptación social que pueda tener esta estrategia entre los agricultores y usuarios urbanos. Sería necesario una campaña de socialización y la creación de una nueva institución encargada de regular y supervisar esta nueva relación urbano-rural.	Richter (2014) Scott et al. (2001) Ochoa-García et al. (2014)
Cambio en los patrones de temperatura y precipitación: Cambio Climático	<p>* Tomamos las series históricas de temperatura y precipitación, y se aplicó un ajuste recomendado por el IPCC (rcp8.5-2090) respecto a un incremento de la temperatura y eventos extremos de precipitación y sequía a la serie histórica registrada.</p>	Un incremento en la temperatura aumentará la evapotranspiración de toda la cuenca, y por lo tanto la escorrentía del río Verde en los próximos.	El clima global es un sistema hiper-complejo. No es posible establecer con claridad patrones futuros de lluvia y temperatura a nivel local y regional.	Riahi et al. (2011). UNOPS (2017)
Restricción a la demanda futura: Límites al crecimiento	<p>* Tomamos las tasas de crecimiento demográfico anuales de Guadalajara y León hasta el 2015. Se tomaron esas tasas y se redujeron a 1% anual. Para el caso de Los Altos, se consideraron las tasas de crecimiento de la industria y sector agropecuario y se redujeron a 0%.</p>	Poner un límite al crecimiento demográfico y económico conllevaría a una reducción de la demanda sobre todo para los acuíferos	En esta propuesta también estamos en territorio inexplorado. Se pueden usar instrumentos fiscales y de políticas públicas, como impuestos a la expansión de la producción industrial y agropecuaria en las zonas rurales, y a nuevos desarrollos inmobiliarios horizontales y verticales en la ciudad.	Martínez-Alier (2010, 2012) INEGI (2000, 2005, 2010, 2015). IIEG Jalisco (2017). Marsalek et al. (2008: 21).
Servicios ambientales del río Verde: Caudal ecológico	<p>* Tomamos los criterios de la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 y de Salinas (2011) para estimar el mínimo caudal con el que se garanticen los servicios ambientales que brinda el Río Verde.</p>	Obliga al modelo a dar agua al río para cumplir con el caudal ecológico a costa de las demandas humanas.	Se necesita un estudio que analice el impacto de una disminución de caudal del río Verde aguas abajo respecto a la dilución de la contaminación del río Santiago. A menor caudal habrá mayor concentración de contaminantes.	DOF (2012) Salinas-Rodríguez (2011)

Indicadores

Para evaluar y comparar las estrategias alternativas de gestión utilizamos criterios e indicadores. Para construir estos criterios, nos hemos basado en entrevistas, observación participante y revisión hemerográfica con los actores en conflicto. Basadas en las políticas de agua, identificamos 4 criterios a los cuales las alternativas deberían de responder; seguridad hídrica, eficiencia, sustentabilidad y equidad. Estos criterios se especifican utilizando indicadores. Los indicadores se calculan con base en las variables de entrada y salida que calcula el modelo WEAP. Tales indicadores tienen por objetivo que los participantes puedan evaluar los diferentes impactos que tiene cada estrategia.

Criterio	Indicador	Unidad y método de calculo	Interfaz
Seguridad hídrica	Demanda insatisfecha a Guadalajara y León	La brecha entre el volumen de metros cúbicos que demandan estas ciudades y el abastecido	En SimBasin Río Verde
Eficiencia	Tabla comparativa de costos entre sistemas descentralizados de suministro de agua y grandes infraestructuras	Costo x millones de m ³	En las narrativas de decisiones
Sustentabilidad	Sobreexplotación de acuíferos en las tres regiones	A causa de la falta de información sobre el estado de los acuíferos, esta sobreexplotación se indica a través de la acumulación mensual del cambio entre recarga y extracción	En SimBasin Río Verde
	Caudal ecológico a la salida de la cuenca del río Verde	Se calcula como el volumen de agua mínimo necesario para conservar los servicios ecológicos del río. Si el caudal es menor a lo establecido, se enciende una alarma.	En SimBasin Río Verde
Equidad	Poblaciones desplazadas	Número de poblaciones desplazadas	En las narrativas de decisiones
	Demanda insatisfecha para las actividades productivas de la cuenca donante	La brecha entre el volumen de metros cúbicos que demandan estas actividades y el abastecido	En SimBasin Río Verde

Periodos en las tomas de decisiones

El modelo está diseñado para que haya cuatro periodos en la toma de decisiones hasta el 2042. Las tablas 2, 3 y 4 describen las decisiones que hay que tomar simultáneamente en cada periodo de tiempo, que van del 2019-2024, 2024-2029, 2029-2034, y 2034-2042 hasta el 2042.

¿Por qué se organizan las decisiones en periodos de tiempo?

- Periodo 1 - Las decisiones a tomar en el primer periodo tienen que ver con las decisiones urgentes e inmediatas relacionadas directamente a la infraestructura de El Zapotillo y el precio del servicio del agua, una decisión de la que dependen otras en el segundo periodo de decisiones.
- Periodo 2 - En tanto que las estrategias para la gestión de la demanda apenas están haciendo eco en los foros de toma de decisiones (Mestre, 2018), decidimos poner estas estrategias hasta el segundo periodo, a partir del 2024. Esta decisión refleja los tiempos políticos para llevar a cabo proyectos de esta índole. Asimismo, debido al retraso a la obra de El Purgatorio, hicimos disponible esta obra como una estrategia de aumento de la oferta (Tabla 3) hasta el 2024.
- Periodo 3 y 4- El tercer y cuarto periodo dan la posibilidad de modificar las decisiones de gestión de la demanda, como incrementar la tasa de reparación de fugas y la tasa de implementación de captura de agua pluvial y de tormenta.

Tabla 2. Decisiones para cada periodo

	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Decisiones 2019				
1	Desmantelar la presa El Zapotillo	Presa El Zapotillo operada con un máximo de 60 m de altura	Presa El Zapotillo a 80 m de altura	Presa El Zapotillo a 105 m de altura
2	Incrementar el precio del agua en un 15% para usarlo en proyectos de infraestructura de gestión de la demanda	Incrementar el precio del agua en un 10% para usarlo en proyectos de infraestructura de gestión de la demanda	Incrementar el precio del agua en un 5% para usarlo en proyectos de infraestructura de gestión de la demanda	Implementar política pública de gestión de la demanda de agua
3	Cancelar el trasvase a León (esta decisión conlleva a que el agua de el Zapotillo sea para Guadalajara)	Construir acueducto a León, sin contemplar a Guadalajara y Los Altos	Respetar la distribución de agua a las tres regiones (la cantidad de agua dependerá de la altura de la presa)	Respetar la distribución de agua a las tres regiones de acuerdo al quinto escenario de UNOPS (Esta decisión solo posible si se eligió previamente una altura de presa de 105 m)
Decisiones 2024				
1	Dar prioridad a los flujos ecológicos del río Verde en su confluencia con el río Santiago	Implementar política pública de gestión de la demanda de agua	Incrementar el precio del agua en un 10% para usarlo en proyectos de infraestructura de gestión de la demanda	Incrementar el precio del agua en un 15% para usarlo en proyectos de infraestructura de gestión de la demanda
2	Modificar la tasa de reparación de fugas	Implementar proyectos de recolección de agua de lluvia	Incrementar el reúso de agua tratada en las ciudades de León y Guadalajara	Implementar proyectos de separación y uso de agua de tormenta en León y Guadalajara
3	Limitar el crecimiento agropecuario e industrial de los Altos a 0%	Limitar el crecimiento poblacional de Guadalajara y León a 1% anual	Sin límites de crecimiento económico y poblacional	Tecnificar el campo con recursos de los usuarios urbanos para liberar agua subterránea agrícola para uso urbano

Tabla 2. Decisiones para cada periodo (continuación)

Decisiones 2029				
1	Modificar la tasa de reparación de fugas	Implementar o incrementar proyectos de recolección de agua de lluvia en León y Guadalajara	Incrementar el reúso de agua tratada en las ciudades de León y Guadalajara	Implementar o incrementar proyectos de separación y uso de agua de tormenta en León y Guadalajara
2	Incrementar el precio del agua en un 15% para usarlo en proyectos de infraestructura de gestión de la demanda	Incrementar el precio del agua en un 10% para usarlo en proyectos de infraestructura de gestión de la demanda	Incrementar el precio del agua en un 5% para usarlo en proyectos de infraestructura de gestión de la demanda	No incrementar el precio del agua en Guadalajara y León
3	Limitar el crecimiento agropecuario e industrial de los Altos a 0%	Limitar el crecimiento poblacional de Guadalajara y León 1% anual	Sin límites de crecimiento económico y poblacional	Tecnificar el campo con recursos de los usuarios urbanos para liberar agua subterránea agrícola para uso urbano
Decisiones 2034				
1	Modificar la tasa de reparación de fugas	Implementar proyectos de recolección de agua de lluvia en León y Guadalajara	Incrementar el reúso de agua tratada en las ciudades de León y Guadalajara	Implementar o incrementar proyectos de separación y uso de agua de tormenta en León y Guadalajara
2	Incrementar el precio del agua en un 15% para usarlo en proyectos de infraestructura de gestión de la demanda	Incrementar el precio del agua en un 10% para usarlo en proyectos de infraestructura de gestión de la demanda	Incrementar el precio del agua en un 5% para usarlo en proyectos de infraestructura de gestión de la demanda	Implementar política pública de gestión de la demanda de agua
3	Limitar el crecimiento agropecuario e industrial de los Altos a 0%	Limitar el crecimiento poblacional de Guadalajara y León 1% anual	Sin límites de crecimiento económico y poblacional	Tecnificar el campo con recursos de los usuarios urbanos para liberar agua subterránea agrícola para uso urbano.

- Bidhendi, G. N., Nasrabadi, T., Vaghefi, H. R. S., Hoveidi, H., & Jafari, H. R. (2008). Role of water-saving devices in reducing urban water consumption in the mega-city of Tehran, case study: a residential complex. *Journal of environmental health*, 70(8), 44-47.
- Briseño-Ramírez, H., & Decle-Castro, J. (2017). Factores asociados al consumo urbano de agua en México: la importancia de la tarifa. *Revista Economía y Política*, 11-24.
- CIDE (2012). Estimación de los factores y funciones de la demanda de agua potable en el sector doméstico en México. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/274053633_Estimacion_de_los_factores_y_funciones_de_la_demanda_de_agua_potable_en_el_sector_domestico_en_Mexico
- Diario Oficial de la Federación (2012). NMX-AA-159-SCFI-2012 que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas. Disponible en:
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166834/NMX-AA-159-SCFI-2012.pdf>
- Furumai, H. (2008). Rainwater and reclaimed wastewater for sustainable urban water use. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33(5), 340-346.
- Gleason Espíndola, J. A., Cordova, F., & Casiano Flores, C. (2018). The importance of urban rainwater harvesting in circular economy: the case of Guadalajara city. *Management Research Review*.
- Gobierno del Distrito Federal (2009). Catálogo de productos y dispositivos ahorradores de agua. Disponible en:
<https://agua.org.mx/biblioteca/catalogo-de-productos-y-dispositivos-ahorradores-de-agua/>
- IIEG Jalisco (2017). Alcanza área metropolitana de Guadalajara los 5 millones de habitantes. Disponible en:
<https://iieg.gob.mx/strategos/alcanza-area-metropolitana-de-guadalajara-los-5-millones-de-habitantes/>
- INEGI (2005). II Conteo de Población y Vivienda 2005. Disponible en
<http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2005/default.html>
- INEGI (2010). Censo de población y vivienda 2010. Disponible en
<http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/>
- INEGI (2015). Encuesta intercensal 2015. Disponible en:
<http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/especiales/intercensal/>

- Jiménez-Cisneros, B., & Asano, T. (2008). Water reclamation and reuse around the world. In B. Jimenez-Cisneros & T. Asano (Eds.), *Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs*. London: IWA Publishing.
- Liemberger, R. & Wyatt, A. (2018). Quantifying the Global Non-Revenue Water Problem. IWA 2018 World Congress Conference.
- Lyu, S., Chen, W., Zhang, W., Fan, Y., & Jiao, W. (2016). Wastewater reclamation and reuse in China: opportunities and challenges. *Journal of Environmental Sciences*, 39, 86-96.
- Marsalek, J., Cisneros, B. J., Karamouz, M., Malmquist, P.-A., Goldenfum, J. A., & Chocat, B. (2008). Urban Water Cycle Processes and Interactions: Urban Water Series - UNESCO-IHP, (78), 152. Retrieved from <https://books.google.com/books?id=UXJXJgQCVUwC&pgis=1>
- Martínez-Alier, J., Pascual, U., Vivien, F. D., & Zaccai, E. (2010). Sustainable de-growth: Mapping the context, criticisms and future prospects of an emergent paradigm. *Ecological economics*, 69(9), 1741-1747.
- Martinez-Alier, J. (2012). Environmental justice and economic degrowth: an alliance between two movements. *Capitalism Nature Socialism*, 23(1), 51-73.
- Mestre, E., (2018). La reingeniería del agua en México. Colegio de Ingenieros de Jalisco.
- Mitchell, V. G., McCarthy, D. T., Deletic, A., & Fletcher, T. D. (2008). Urban stormwater harvesting—sensitivity of a storage behaviour model. *Environmental Modelling & Software*, 23(6), 782-793.
- Ochoa-García, H., Arrojo-Agudo, P., Godínez-Madrigal, J., López-Villegas, P., López-Aguayo, A., & Quiroz-Hernández, M. L. (2014). Agua para el desarrollo regional en los Altos de Jalisco. Gestión del agua e impacto social del proyecto El Zapotillo.
- Pettygrove, G. S. (2017). *Irrigation With Reclaimed Municipal Wastewater-A Guidance Manual: 0*. CRC Press.
- Riahi, K. et al., (2011). RCP 8.5-A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109(1), p. 33. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-011-0149-y>.
- Richter, B. (2014). *Chasing water: a guide for moving from scarcity to sustainability*. Island Press.
- Roy, A. H., Wenger, S. J., Fletcher, T. D., Walsh, C. J., Ladson, A. R., Shuster, W. D., ... Brown, R. R. (2008). Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: Lessons from Australia and the United States. *Environmental Management*, 42(2), 344–359. <http://doi.org/10.1007/s00267-008-9119-1>
- Salazar Adams, A., & Pineda Pablos, N. (2010). Factores que afectan la demanda de agua para uso doméstico en México. *Región y sociedad*, 22(49), 3-16.

- Salinas Rodríguez, S. (2011). Guía rápida para la determinación de caudales ecológicos. WWF/Conagua. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/GUIA.pdf>
- SAPAL (2016). Agua Siempre y Para Todos: Informe de Resultados 2013-2016. León. Disponible en: <http://www.sapal.gob.mx/media/files/1456268400-Informe Consejo 2013-2016.pdf>
- SAPAL (2018). Agua Potable. Retrieved May 28, 2018, from <http://www.sapal.gob.mx/servicios/aguapotable>
- Scott, C. A., Silva-Ochoa, P., Florencio-Cruz, V., & Wester, P. (2001). Competition for water in the Lerma-Chapala basin. In A. M. Hansen & M. van Afferden (Eds.), *The Lerma- Chapala Watershed* (pp. 291–323). New York: Kluwer academic/Plenum publishers.
- SIAPA (2017). Informe de Actividades Anual 2017. Disponible en: http://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/doctrans/informe_de_actividades_-_anual_2017.pdf
- UNOPS (2017). Análisis de Escenarios de Cambio Climático. Disponible en: <http://201.131.6.193:8001/JaliscoSostenible/informe/>
- Urias-Angulo (2017). Hidrología urbana con criterios de sustentabilidad en desarrollos habitacionales de Tlajomulco de Zúñiga , Jalisco. Tesis de maestría. ITESO: Tlaquepaque.
- US EPA (US Environmental Protection Agency) (2007) Reducing stormwater costs through low impact development (LID) strategies and practices (EPA 841-F-07-006). Nonpoint Source Control Branch, US EPA, Washington, DC
- Villarreal, E. L., Semadeni-Davies, A., & Bengtsson, L. (2004). Inner city stormwater control using a combination of best management practices. *Ecological Engineering*, 22(4–5), 279–298. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.06.007>
- Wong, T. H. F. (2007). Water Sensitive Urban Design – the Journey Thus Far Actions Towar ds Sustainable Outcomes. *Environment Design Guide*, 11(April 2006). <http://doi.org/10.1088/1674-1056/21/1/016201>
- Zamora-Tagle, D., Alonso, A., & Ortega, A. C. (2018). Cosecha de agua de lluvia como alternativa para la resiliencia hídrica en León, Guanajuato: una reflexión desde la nueva cultura del agua. *Expresión Económica. Revista de análisis*, (40), 5-24.