

---

---

# La huella hídrica de la economía mexicana en 2008: un análisis de los patrones de consumo

— Jenny Jocabeth Ibáñez Cruz —

Facultad de Economía, UNAM

---

---

8° Encuentro Universitario del Agua  
Agua UNAM

# Contenido

1. La situación del agua en México
2. Motivación
3. Marco conceptual
4. Marco analítico
5. Resultados

Conclusiones

# México: volumen de agua concesionado, agua renovable e índice de escasez hídrico, 2017

## La situación del agua en México

Regiones hidrológico-administrativas	Total concesionado		Agua renovable		Índice de escasez	
	Subterránea (hm3)	Superficial (hm3)	Subterránea (hm3)	Superficial (hm3)	Subterránea	Superficial
I. Península de Baja California	1,999	1,952	1,641	3,218	121.81	60.65
II. Noroeste	2,928	4,079	3,207	5,068	91.30	80.49
III. Pacífico Norte	1,524	9,286	3,211	23,537	47.47	39.45
IV. Balsas	1,896	8,978	4,871	16,798	38.92	53.45
V. Pacífico Sur	523	1,056	1,936	28,900	27.03	3.65
VI. Río Bravo	4,640	5,040	6,350	6,495	73.06	77.60
VII. Cuencas Centrales del Norte	2,521	1,302	2,474	5,551	101.92	23.46
VIII. Lerma-Santiago-Pacífico	8,025	7,820	9,831	25,241	81.63	30.98
IX. Golfo Norte	1,150	4,905	4,099	24,555	28.06	19.98
X. Golfo Centro	1,536	4,532	4,599	89,764	33.40	5.05
XI. Frontera Sur	760	1,787	22,718	124,477	3.34	1.44
XII. Península de Yucatán	4,491	302	25,316	4,331	17.74	6.98
XIII. Aguas del Valle de México	2,392	2,416	2,294	1,106	104.27	218.45
Total nacional	34,385	53,456	92,547	359,041	59.23	47.82

Fuente: elaboración propia con datos de Conagua (2018)

# México: volumen de agua concesionado por fuente y tipo de uso consuntivo, 2017

La situación del agua en México

Uso	Origen				Total concesionado	
	Superficial		Subterráneo		Volumen (hm <sup>3</sup> )	%
	Volumen (hm <sup>3</sup> )	%	Volumen (hm <sup>3</sup> )	%		
Agrícola	42,475	50.01	24,324	28.64	66,799	78.65
Abastecimiento público	5,250	6.18	7,378	8.69	12,628	14.87
Industria autoabastecida	2,036	2.40	2,231	2.63	4,267	5.02
Energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad	3,696	4.35	451	0.53	4,147	4.88
<b>TOTAL</b>	<b>53,456</b>	<b>62.94</b>	<b>34,385</b>	<b>40.49</b>	<b>87,842</b>	<b>100.00</b>

Fuente: elaboración propia con datos de Conagua (2018)

# Motivación

Se calculó la huella hídrica interna de consumo, utilizando la metodología de insumo producto.

→ Hipótesis: *dados los patrones de consumo en México, la mayor porción de la huella hídrica de los bienes de consumo reside en las cadenas de suministro de los insumos y no en el mismo sector.*

# Marco conceptual

## **Huella hídrica:**

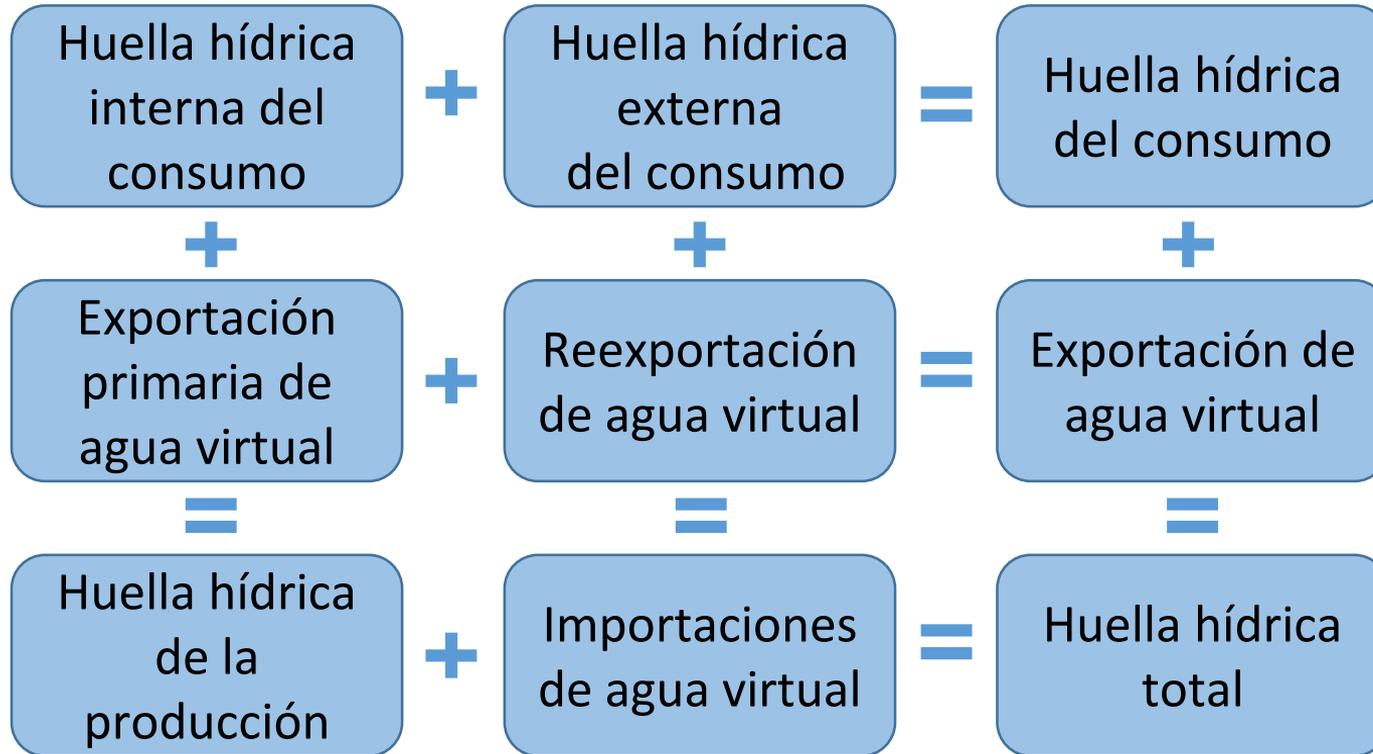
indicador del total de agua utilizada para producir los bienes y servicios que consume un individuo, comunidad o empresa.

## **Agua virtual:**

el agua que se necesita para procesar, fabricar, transportar y comercializar un bien o servicio

# ¿Cuál es la diferencia?

Marco conceptual



Fuente: Hoekstra (2017)

# Marco analítico

El análisis de insumo producto fue desarrollado por el profesor Wassily Leontief, quien recibió el Premio Nobel de Economía en 1973.

El modelo básico es:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y} = \mathbf{L}\mathbf{y}$$

donde  $\mathbf{L}$  es la matriz inversa de Leontief de los requerimientos totales, que muestra la dependencia de cada uno de los productos brutos en el valor de cada demanda final.

Velázquez (2006) hace un modelo de insumo producto del consumo sectorial de agua para el caso de Andalucía, siguiendo el modelo básico de Leontief:

$$W = (I - Q)^{-1} \hat{w}_d^* \hat{y}$$

Lenzen y Foran (2001) también utilizan el análisis de insumo producto:

$$\mathbf{M} = \mathbf{F}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$$

Así, se puede calcular la huella hídrica usando el vector de consumo directo de agua total por unidad producida como el factor de producción:

$$\mathbf{M} = w_d^{*'} (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$$

Para calcular la huella hídrica intersectorial, definimos  $V = \widehat{wd}^{*t}$  :

$$\mathbf{B} = \mathbf{V}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$$

Ahora, es necesario eliminar el supuesto que todos los sectores consumen una unidad de demanda final.

→ Sea  $r$  el vector demanda final ponderada, donde cada  $r_i = \frac{y_i}{\sum y_i}$ , tal que  $\sum_i r_i = 1$ . Formando la matriz diagonal  $\mathbf{R}$  del vector  $\mathbf{r}$ :

$$\mathbf{H} = \mathbf{B}\mathbf{R}$$

Donde  $\sum_i h_{ij} = \sum_i b_{ij}r_j$  representa la huella hídrica de la economía para satisfacer  $r_j$  unidades de demanda final del sector  $j$ .

# Resultados:

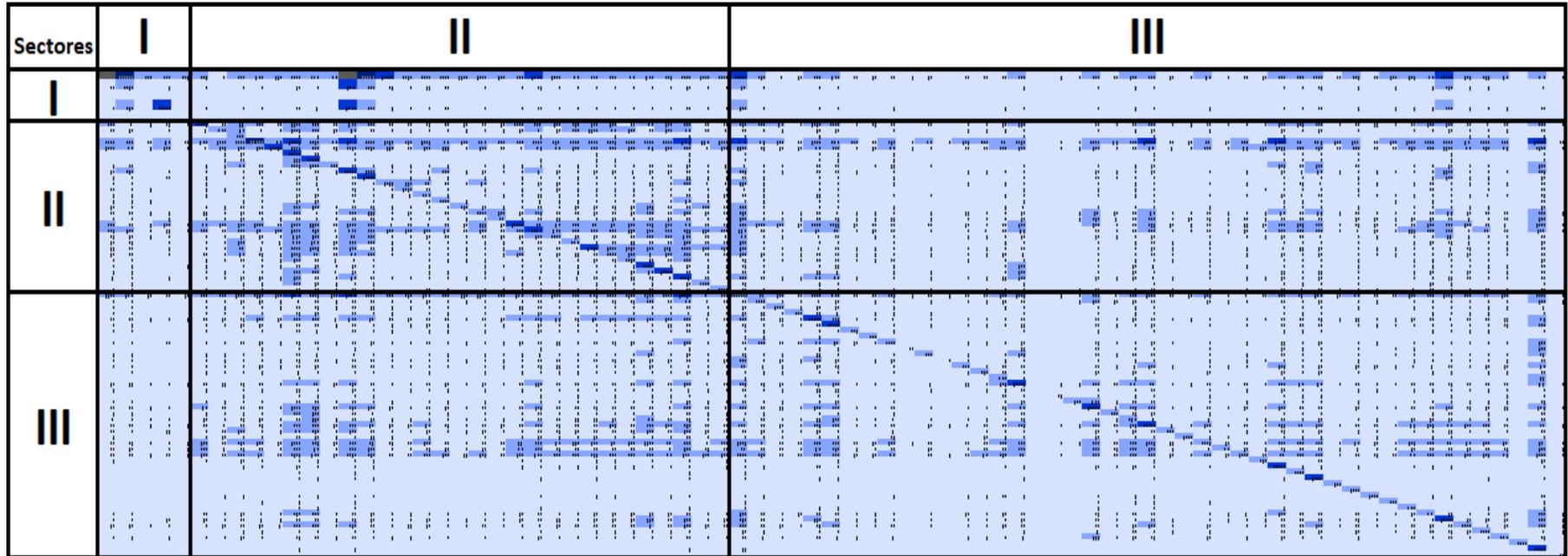
## Flujo de agua virtual en México, 2008 -19 sectores, hm<sup>3</sup>-

Sectores	11	21	22	23	31-33	43-46	48-49	51	52	53	54	55	56	61	62	71	72	81	93	Σ
11	30,372.18	170.12	248.56	1,914.44	25,638.78	438.69	1,132.78	85.43	72.27	168.00	12.05	0.45	6.33	64.13	205.38	24.30	231.32	105.75	329.56	61,221
21	2.78	357.34	3.59	32.71	288.67	5.19	12.90	1.02	0.84	2.03	0.14	0.01	0.07	0.82	2.37	0.29	2.70	1.26	3.82	719
22	55.48	55.91	1,486.03	182.68	940.28	304.54	122.74	44.19	35.96	156.96	9.20	0.19	4.16	118.02	110.35	27.12	183.25	63.16	175.05	4,075
23	0.40	1.31	0.29	1,083.54	3.23	1.08	1.11	0.03	0.03	0.19	0.01	0.00	0.00	1.87	2.86	0.08	0.22	0.18	1.48	1,098
31-33	29.11	22.44	32.80	247.46	3,383.29	57.87	149.46	11.27	9.53	22.16	1.59	0.06	0.84	8.45	26.70	3.21	30.43	13.86	43.47	4,094
43-46	30.03	20.30	24.09	218.52	643.39	2,527.36	96.11	17.61	9.37	15.73	1.52	0.04	0.70	7.91	27.99	2.64	22.74	15.11	38.04	3,719
48-49	2.39	2.20	2.73	19.13	69.26	10.46	632.70	3.48	4.63	2.22	0.47	0.01	0.17	1.88	3.54	0.44	1.99	1.72	11.58	771
51	0.50	1.16	0.61	13.80	16.90	9.46	6.89	228.35	22.08	5.28	1.04	0.04	0.32	5.27	3.33	0.95	2.22	2.42	14.17	335
52	1.61	2.53	0.71	29.40	25.37	8.80	8.04	5.12	283.08	7.35	1.04	0.02	0.24	1.97	1.46	0.69	2.41	0.79	16.91	398
53	1.39	2.66	0.84	14.70	38.94	36.28	11.15	6.85	7.07	897.94	1.41	0.06	0.31	5.30	4.52	1.39	3.39	8.93	7.54	1,051
54	1.05	6.24	1.88	22.68	55.40	17.56	23.10	8.18	13.28	13.07	48.50	0.19	0.72	6.59	12.27	1.54	4.96	4.78	16.09	258
55	0.33	3.23	0.54	3.81	21.23	7.34	6.14	2.95	7.41	1.35	0.19	3.02	0.14	0.86	0.86	0.22	1.54	0.60	1.62	63
56	1.72	5.19	1.94	30.23	97.88	55.66	22.58	10.17	11.14	6.10	2.86	0.12	22.12	5.42	7.92	2.87	15.87	5.40	12.35	318
61	0.01	0.01	0.05	0.14	0.23	0.09	0.33	0.04	0.28	0.04	0.05	0.00	0.01	355.52	0.03	0.04	0.02	0.01	0.06	357
62	0.01	0.01	0.01	0.07	0.14	0.03	0.03	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	242.36	0.00	0.01	0.01	0.03	243
71	0.01	0.03	0.01	0.08	0.32	0.10	0.07	0.30	0.11	0.04	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	49.88	0.02	0.02	0.56	52
72	0.24	0.71	0.34	5.82	8.62	3.35	4.22	1.57	1.61	0.82	0.15	0.01	0.15	1.90	1.88	0.24	226.79	0.75	12.45	272
81	0.49	0.65	0.34	6.93	10.51	4.19	6.42	0.63	2.93	1.80	0.31	0.01	0.06	1.25	3.52	0.76	2.15	185.98	4.44	233
93	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	437.15	437
Σ	30,500	652	1,805	3,826	31,242	3,488	2,237	427	482	1,301	81	4	36	587	657	117	732	411	1,126	79,712

Fuente: elaboración propia con datos de Conagua (2014) e INEGI (2008)

# Flujo de agua virtual en México, 2008

-79 subsectores, hm<sup>3</sup>-



Fuente: elaboración propia con datos de Conagua (2014) e INEGI (2008)

# Huella hídrica del patrón de consumo en México, 2008

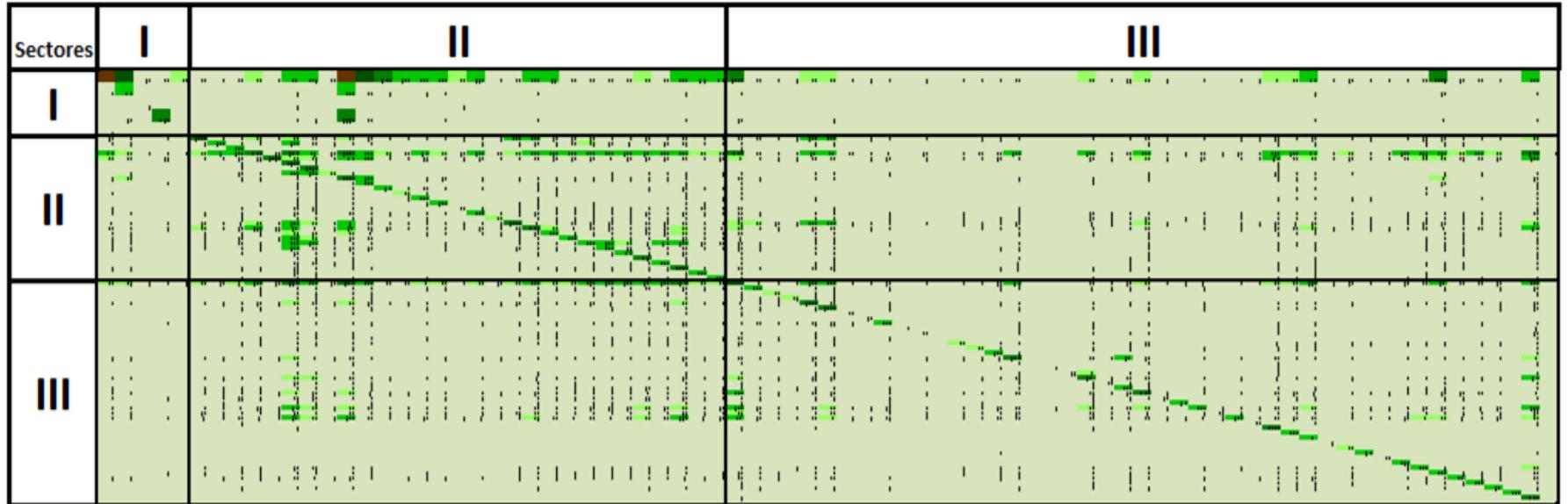
## -19 sectores, m<sup>3</sup>-

Sectores	11	21	22	23	31-33	43-46	48-49	51	52	53	54	55	56	61	62	71	72	81	93
11	2104.95	11.79	17.23	132.68	1776.90	30.40	78.51	5.92	5.01	11.64	0.84	0.03	0.44	4.44	14.23	1.68	16.03	7.33	22.82
21	0.19	24.77	0.25	2.27	20.01	0.36	0.89	0.07	0.06	0.14	0.01	0.00	0.01	0.06	0.16	0.02	0.19	0.09	0.26
22	3.84	3.87	102.99	12.66	65.17	21.11	8.51	3.06	2.49	10.88	0.64	0.01	0.29	8.18	7.65	1.88	12.70	4.38	12.13
23	0.03	0.09	0.02	75.10	0.22	0.08	0.08	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.13	0.20	0.01	0.02	0.01	0.10
31-33	2.02	1.56	2.27	17.15	234.48	4.01	10.36	0.78	0.66	1.54	0.11	0.00	0.06	0.59	1.85	0.22	2.11	0.96	3.01
43-46	2.08	1.41	1.67	15.14	44.59	175.16	6.66	1.22	0.65	1.09	0.11	0.00	0.05	0.55	1.94	0.18	1.58	1.05	2.64
48-49	0.17	0.15	0.19	1.33	4.80	0.73	43.85	0.24	0.32	0.15	0.03	0.00	0.01	0.13	0.25	0.03	0.14	0.12	0.80
51	0.03	0.08	0.04	0.96	1.17	0.66	0.48	15.83	1.53	0.37	0.07	0.00	0.02	0.36	0.23	0.07	0.15	0.17	0.98
52	0.11	0.18	0.05	2.04	1.76	0.61	0.56	0.35	19.62	0.51	0.07	0.00	0.02	0.14	0.10	0.05	0.17	0.05	1.17
53	0.10	0.18	0.06	1.02	2.70	2.51	0.77	0.47	0.49	62.23	0.10	0.00	0.02	0.37	0.31	0.10	0.23	0.62	0.52
54	0.07	0.43	0.13	1.57	3.84	1.22	1.60	0.57	0.92	0.91	3.36	0.01	0.05	0.46	0.85	0.11	0.34	0.33	1.12
55	0.02	0.22	0.04	0.26	1.47	0.51	0.43	0.20	0.51	0.09	0.01	0.21	0.01	0.06	0.06	0.02	0.11	0.04	0.11
56	0.12	0.36	0.13	2.10	6.78	3.86	1.56	0.70	0.77	0.42	0.20	0.01	1.53	0.38	0.55	0.20	1.10	0.37	0.86
61	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	24.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
62	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.80	0.00	0.00	0.00	0.00
71	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.46	0.00	0.00	0.04
72	0.02	0.05	0.02	0.40	0.60	0.23	0.29	0.11	0.11	0.06	0.01	0.00	0.01	0.13	0.13	0.02	15.72	0.05	0.86
81	0.03	0.04	0.02	0.48	0.73	0.29	0.44	0.04	0.20	0.12	0.02	0.00	0.00	0.09	0.24	0.05	0.15	12.23	0.31
93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.30
Σ	2113.79	45.19	125.12	265.17	2165.27	241.75	155.02	29.61	33.38	90.17	5.58	0.29	2.52	40.70	45.56	8.08	50.73	28.47	78.06
Proporción de la diagonal entre el total de cada sector	99.58%	54.80%	82.31%	28.32%	10.83%	72.46%	28.29%	53.45%	58.77%	69.01%	60.23%	71.53%	60.88%	60.55%	36.87%	42.76%	30.98%	45.28%	38.81%
Demanda final ponderada	1.9%	4.2%	1.1%	12.0%	33.4%	10.5%	6.4%	2.3%	2.7%	9.2%	0.5%	0.0%	0.2%	3.7%	2.5%	0.5%	2.4%	1.9%	4.6%

Fuente: elaboración propia con datos de Conagua (2014) e INEGI (2008)

# Huella hídrica del patrón de consumo en México, 2008

## -79 subsectores, m<sup>3</sup>-



## Cambios en el patrón de consumo, 2008 -79 subsectores-

Sector económico	Original			Cambio de patrón de consumo en 30%			Cambio de patrón de consumo en 80%		
	Total de agua concesionada, wd (hm3)	Huella hídrica ponderada, H (m3)	Demanda final ponderada	Total de agua concesionada, wd (hm3)	Huella hídrica ponderada, H (m3)	Demanda final ponderada	Total de agua concesionada, wd (hm3)	Huella hídrica ponderada, H (m3)	Demanda final ponderada
<b>111</b>	59,987.03	2,412.69	1.31%	86,035.41	4,295.28	1.65%	129,449.37	7,432.92	4.04%
<b>112</b>	189.29	169.40	0.50%	272.83	517.13	0.84%	412.05	1,096.70	3.22%
<b>113-115</b>	1,044.20	61.81	0.10%	1,000.48	61.81	0.10%	927.60	61.81	0.10%
<b>211-238</b>	5,891.70	293.09	17.38%	5,884.57	293.09	17.38%	5,872.70	293.09	17.38%
<b>311</b>	703.44	1,457.85	6.82%	526.42	1,020.50	6.13%	231.39	291.57	1.36%
<b>312-339</b>	3,390.56	461.30	26.55%	3,389.34	461.30	26.55%	3,387.32	461.30	26.55%
<b>431</b>	3,719.18	228.76	10.54%	3,698.51	228.76	10.54%	3,664.06	228.76	10.54%
<b>481-493</b>	770.99	76.55	6.36%	769.23	76.55	6.36%	766.28	76.55	6.36%
<b>511-932</b>	4,015.65	363.03	30.44%	4,005.84	363.03	30.44%	3,989.50	363.03	30.44%
<b>Σ</b>	79,712.04	5,524.47	100%	105,582.63	7,317.44	100%	148,700.28	10,305.72	100%

Fuente: elaboración propia con datos de Conagua (2014) e INEGI (2008)

# Conclusiones

- Al calcular el índice de escasez hídrico por región, fue posible ver una desigualdad en la distribución del agua. Es decir, hay escasez de agua en ciertas regiones de la República
- Se vinculó el trabajo de investigadores (Velázquez, 2006; Lenzen y Foran, 2001), y además, se agregaron ecuaciones al modelo para incorporar los patrones de consumo.

# Conclusiones

- El subsector Agricultura (111) es el que tiene un mayor consumo directo de agua, consumo por unidad y consumo total de agua
- El sector 11 es el que tiene una mayor cantidad de agua virtual incorporada a su producción, mientras que las industrias manufactureras son las que más agua virtual demandan para sus insumos.
- Al calcular la huella hídrica interna de consumo, fue posible ver que la industria alimentaria tiene una huella hídrica muy alta, pero no se encuentra en su propia producción, sino que en su cadena de suministro.
- La huella hídrica no es estática, sino que es inherente a los cambios en el patrón de consumo

**¡Gracias por su atención!**

# Apéndice

# La situación del agua en México



Fuente: extraído de Conagua (2014). *Atlas del agua en México 2014*

# México: volumen de agua concesionado por región, fuente y tipo de uso consuntivo, 2017

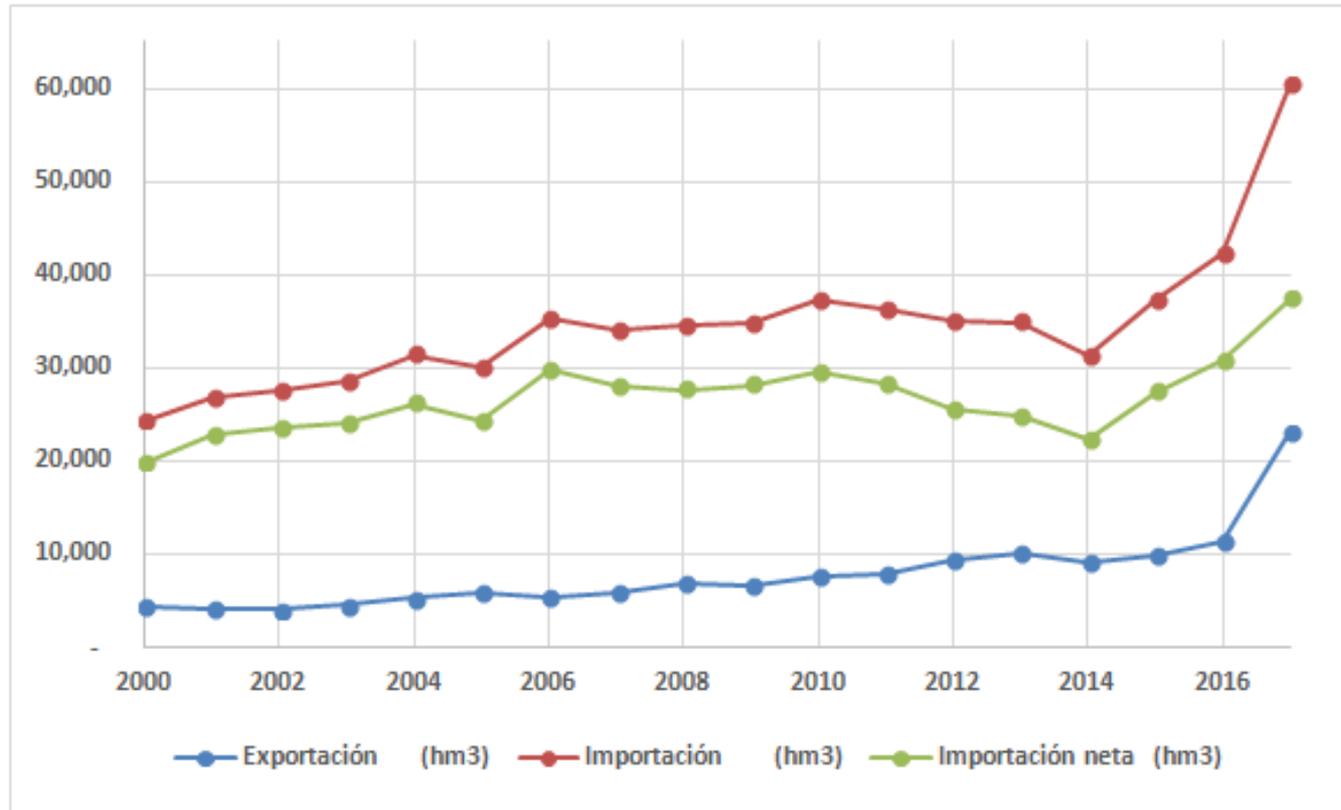
La situación del agua en México

Cuadro 2. Volumen de agua concesionado por región y por tipo de uso 2017

Regiones hidrológico-administrativas	Agrícola		Industrial		Abastecimiento público		Termoeléctricas		Total
	Subterránea (hm <sup>3</sup> )	Superficial (hm <sup>3</sup> )	Subterránea (hm <sup>3</sup> )	Superficial (hm <sup>3</sup> )	Subterránea (hm <sup>3</sup> )	Superficial (hm <sup>3</sup> )	Subterránea (hm <sup>3</sup> )	Superficial (hm <sup>3</sup> )	
I. Península de Baja California	1,440	1,756	25	72	341	123	193	0	3,951
II. Noroeste	2,517	3,773	110	8	292	291	9	7	7,007
III. Pacífico Norte	1,163	8,923	22	39	339	324	-	-	10,811
IV. Balsas	1,147	4,996	93	269	630	591	26	3,122	10,874
V. Pacífico Sur	273	867	20	1	231	188	-	-	1,579
VI. Río Bravo	3,675	4,404	208	14	699	570	58	53	9,680
VII. Cuencas Centrales del Norte	2,032	1,289	108	1	353	12	28	-	3,824
VIII. Lerma-Santiago-Pacífico	5,987	6,697	515	66	1,479	1,057	43	0	15,845
IX. Golfo Norte	946	3,557	41	433	157	854	6	61	6,055
X. Golfo Centro	1,084	2,636	156	1,044	289	446	8	406	6,069
XI. Frontera Sur	537	1,293	76	57	146	437	-	-	2,547
XII. Península de Yucatán	3,148	301	691	0	640	0	13	-	4,793
XIII. Aguas del Valle de México	376	1,981	166	31	1,783	358	68	46	4,808
Total nacional	24,324	42,475	2,231	2,036	7,378	5,250	451	3,696	87,842

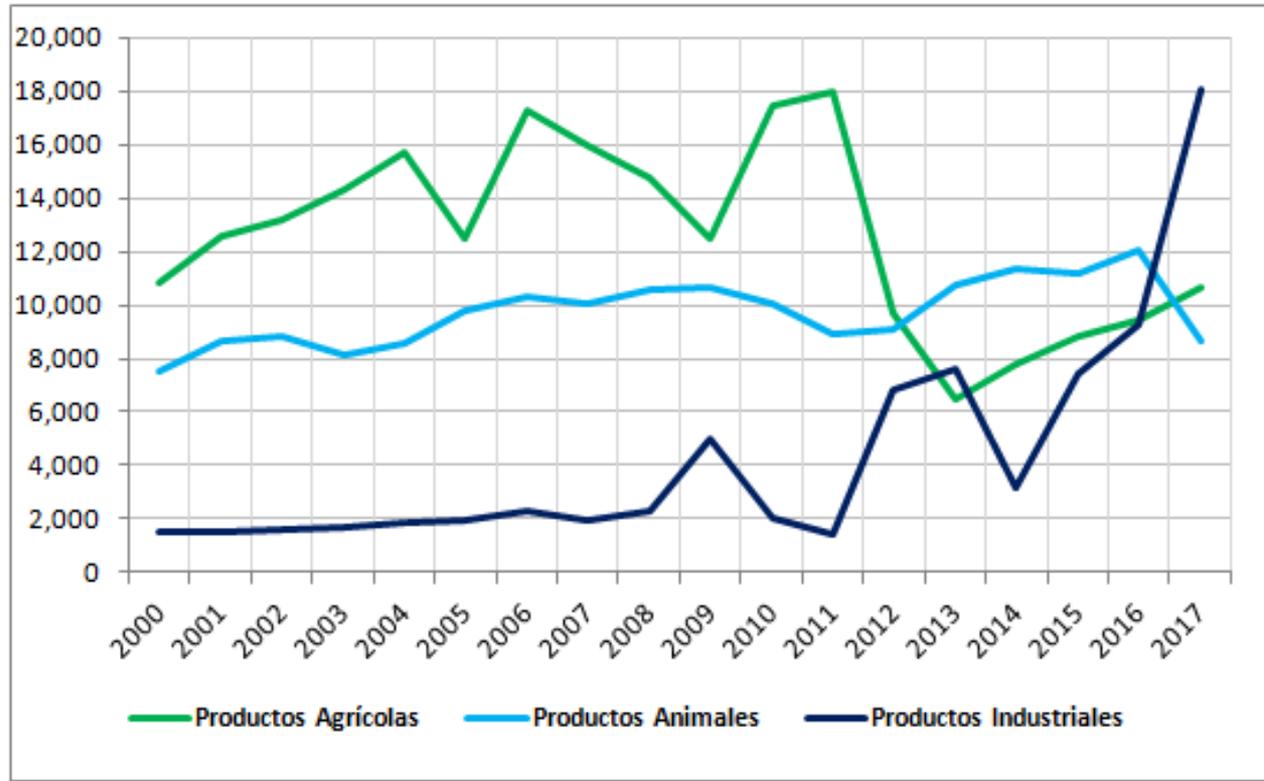
Fuente: elaboración propia con datos de Conagua (2018)

## Balanza comercial de agua virtual en México, 2000-2017

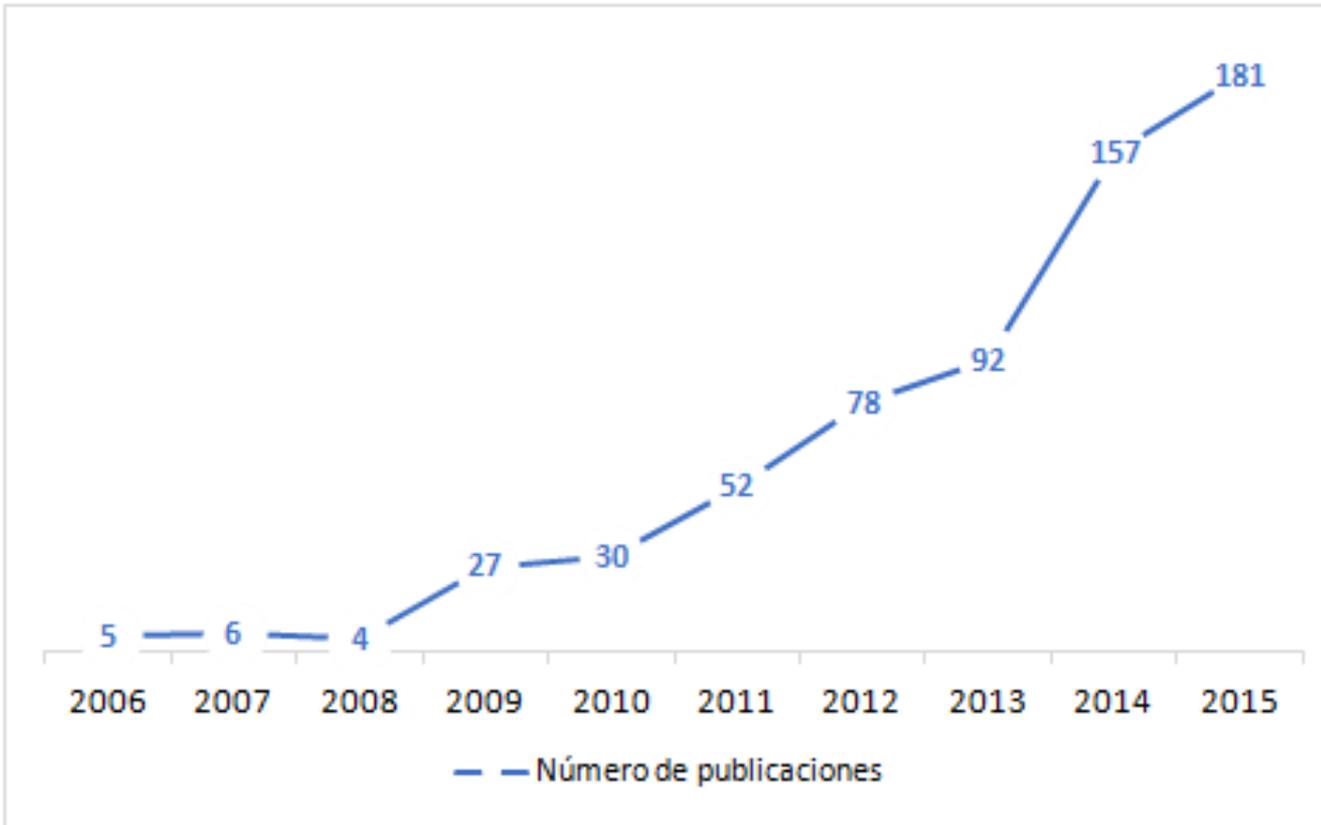


Fuente: elaboración propia con datos de Conagua (2018)

## Importación neta de agua virtual en México por tipo de producto, 2000-2017



# Publicaciones sobre huella hídrica (2006-2015) **Marco conceptual**



Fuente: elaboración propia con datos de Zhang, Huang, Yu y Yang (2017)

## Capítulo 3. Marco analítico

El análisis de insumo producto fue desarrollado por el profesor Wassily Leontief, quien recibió el Premio Nobel de Economía en 1973.

Consta de un sistema de ecuaciones lineales, cada una de las cuales describe la distribución del producto de una industria en toda la economía.

$$x_1 = z_{11} + \dots + z_{1j} + \dots + z_{1n} + y_1$$

⋮

$$x_i = z_{i1} + \dots + z_{ij} + \dots + z_{in} + y_i$$

⋮

$$x_n = z_{n1} + \dots + z_{nj} + \dots + z_{nn} + y_n$$

Supuesto: los flujos de  $i$  a  $j$  dependen completamente de la producción del sector  $j$  en el mismo período.

Sea  $a_{ij}=z_{ij}/x_j$  la cantidad de unidades monetarias de insumos del sector  $i$  por unidad monetaria de producto del sector  $j$ .

Sustituyendo y reagrupando términos:

$$\begin{array}{l}
 (1 - a_{11})x_1 - \dots - a_{1i}x_i - \dots - a_{1n}x_n = y_1 \\
 \vdots \\
 -a_{i1}x_1 - \dots + (1 - a_{ii})x_i - \dots - a_{in}x_n = y_i \\
 \vdots \\
 -a_{n1}x_1 - \dots - a_{ni}x_i - \dots + (1 - a_{nn})x_n = y_n
 \end{array}
 \quad \Rightarrow \quad
 (\mathbf{I} - \mathbf{A})\mathbf{x} = \mathbf{y}$$

Despejando  $x$  de la ecuación, tenemos:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y} = \mathbf{L}\mathbf{y}$$

donde  $\mathbf{L}$  es la matriz inversa de Leontief de los requerimientos totales, que muestra la dependencia de cada uno de los productos brutos en el valor de cada demanda final.

Velázquez (2006) hace un modelo de insumo producto del consumo sectorial de agua para el caso de Andalucía, siguiendo el modelo básico de Leontief:

$$w_{di} = \sum_{j=1}^{j=n} q_{ij} w_{dj} + w_{di}^y$$



$$w_d = Qw_d + w_d^y$$



$$w'_t = i'(I - Q)^{-1} \widehat{w}_d^y$$

Velázquez (2006) define algunos indicadores de consumo de agua:

1. Consumo directo total por unidad producida:  $w_d^{*'} = w_d' \hat{\chi}^{-1}$

1. Consumo total de agua:  $w_d^{*'} (I - A)^{-1} = w^{* '}$

1. Multiplicador de consumo de agua:  $wcm_i = \frac{w_i^*}{w_{di}^*}$

1. Indicador de consumo indirecto de agua:  $iwc_i = wcm_i - 1 = \frac{w_i^*}{w_{di}^*} - 1$

Sea  $w_{di}^y$  el agua consumida directamente por el sector  $i$  para satisfacer su propia demanda:

$$w_{di}^y = \hat{w}_d^* y$$

Por lo que ahora tenemos:

$$W = (I - Q)^{-1} \hat{w}_d^* \hat{y}$$

Matriz intersectorial de flujos de agua