

# Grandes reservas hídricas en el mundo y en México, y su sobreexplotación

Carlos Amador Bedolla

Facultad de Química, UNAM

## Introducción

Una de las primeras visiones de nuestro planeta desde el exterior provocó, además de una notable reacción emocional en los astronautas, su denominación como la *canica azul*; toda vez que el reflejo del agua es lo más notable en la visión exterior de la tierra. El agua cubre 71% de la superficie total del planeta, y casi toda ella es agua salada: sólo 0.3% del agua superficial —visible desde el espacio exterior— es dulce. La mayor parte del agua dulce existente —solo 3% del total— está confinada como hielo —69%— o en depósitos subterráneos —30%. El acceso en la actualidad al agua dulce depende importantemente de los depósitos subterráneos en la forma de acuíferos —tanto recargables como fósiles sin mayor recarga.

Como tantas otras cosas en el antropoceno<sup>1</sup>, el empleo —extracción y consumo— de agua por parte de la humanidad es insostenible y la continuación de las prácticas empleadas en la actualidad es imposible de mantener. Como con tantas otras cosas en el antropoceno enfrentamos la opción de racionalizar estas prácticas e iniciar conversiones que atenúen su inevitable modificación o esperar a que esas modificaciones sean impuestas por la realidad. Como con tantas otras cosas en el antropoceno disponemos de información precisa, detallada y en tiempo real sobre el estado de nuestros recursos acuíferos, y podemos pronosticar con mucha precisión su evolución y su futuro. Finalmente, como con tantas otras cosas en el antropoceno, nos enfrentamos a la dependencia cambiante de la disponibilidad local y temporal del agua de las modificaciones producidas por el cambio climático.

En este capítulo se presenta una panorámica general de estas cuatro situaciones.

## La disparidad mundial del consumo

El empleo de reservas hídricas se distingue estimando su uso en dos cantidades relacionadas. Por un lado se calcula la extracción total, por otro, su consumo, definido como la fracción del agua extraída que es evapotranspirada y por tanto disminuye el flujo. Una estimación reciente de estas cantidades se muestra en la Tabla 1. Los números presentados quizá requieran una metáfora que nos ayude a capturar su dimensión. Las albercas olímpicas recientes miden, en metros, cincuenta por veinticinco por tres. El agua que extrae la humanidad en la actualidad equivale a vaciar treinta albercas olímpicas de éstas cada segundo. El consumo, poco menos de una tercera parte del total, equivale a cerca de diez albercas por segundo. El principal uso del agua es la irrigación agrícola: 78% del agua extraída de las reservas hídricas y 92% del consumo. En comparación, los otros

---

<sup>1</sup> La propuesta original de Crutzen [Crutzen, 2002] de denominar antropoceno a la era actual, atendible aun solo por su eficacia política como llamada de atención a la compleja situación presente, ha recibido seria atención científica por parte de los geólogos quienes consideran la formalización del término [Lewis & Maslin, 2015]

38 empleos principales del agua ---uso doméstico, manufactura, enfriamiento--- son mucho  
39 menores.

40 Los datos presentados en el cuadro se refieren a estimaciones para el año 2000.  
41 Mientras que puede estimarse que las fracciones de empleo no han cambiado  
42 significativamente en estos quince años, la magnitud del uso y el consumo sólo puede haber  
43 aumentado. Históricamente el uso de agua en la irrigación ha aumentado al menos 40%  
44 cada veinticinco años y si bien algunas estimaciones predicen que es difícil mantener la tasa  
45 de crecimiento de áreas irrigadas ---tan solo porque no hay tanto terreno accesible  
46 fácilmente--- de los últimos cincuenta años, se estima que la extracción con este fin  
47 aumentará otro 20% para 2025 [Oki & Kanae, 2006].

48 **Cuadro 1.**  
49 **Utilización mundial de agua proveniente de las reservas hídricas.**  
50 **El uso está medido en km<sup>3</sup> por año [Doll, 2009].**

<b>Empleo</b>	<b>Extracción total</b>	<b>Consumo</b>
<b>total</b>	4020	1300
<b>irrigación</b>	2900	1200
<b>uso doméstico</b>	340	50
<b>manufactura</b>	250	40
<b>enfriamiento de plantas de potencia térmica</b>	530	10

51 La cantidad de agua requerida para la irrigación varía en un amplio intervalo en función de  
52 la calidad de los suelos empleados en la agricultura. Una manera de medir su empleo entre  
53 todas las aplicaciones mencionadas es a través de una cantidad intensiva que relaciona el  
54 producto interno bruto (GDP por sus siglas en inglés) con la extracción de agua, para crear  
55 la cantidad de metros cúbicos de agua por dólar de GDP. La lista de los veinte países que  
56 requieren la mayor cantidad de agua para lograr su producción económica incluye cinco  
57 países de Asia Central, cuatro del Norte de África y tres del Medio Oriente,  
58 tradicionalmente asociados con la escasez de agua [Varis, 2014]. Ninguno de esos países  
59 pertenece a la OCDE.

60 Otra medida intensiva del consumo de agua es la cantidad empleada en promedio  
61 por persona. Diez de los países presentes en la lista anterior aparecen también en esta  
62 segunda clasificación en la que destacan las regiones de Asia Central, el Norte de África y  
63 el Medio Oriente. La diferencia entre el consumo *per capita* de distintos países es  
64 abrumadora: Estados Unidos es el sexto país en esta lista, pero su consumo es solo la cuarta  
65 parte del consumo del primer país —Turkmenistan—; en China se consume 13 veces  
66 menos que en Turkmenistan [Varis, 2014].

## 67 **Los acuíferos**

68 Una tercera parte del agua empleada mundialmente se extrae de acuíferos. Ninguno de los  
69 acuíferos que se explota en la actualidad, se explota a tasas que permitan su recarga  
70 sustentable; pero algunos se explotan a tasas que garantizan su pronta desaparición.  
71 Aproximadamente dos mil millones de seres humanos dependen principalmente de esta  
72 fuente de agua.

73 El empleo de agua proveniente de los acuíferos tiene una dinámica  
74 fundamentalmente distinta que el empleo de agua superficial al menos en tres aspectos  
75 [Famiglietti, 2014]. El primero está relacionado con su permanencia: mientras que el agua  
76 superficial está sujeta a las variaciones directas de las condiciones climáticas —alta  
77 evaporación, sequías— que pueden cambiar en escalas temporales de años o décadas, el  
78 agua subterránea mantiene su disponibilidad en lapsos de tiempo mayores en varios órdenes  
79 de magnitud. Así el agua subterránea es una reserva confiable y permanente si no es  
80 sobreexplotada. El segundo aspecto es que la extracción de agua de los acuíferos requiere el  
81 empleo de energía y de alta tecnología que depende de la disponibilidad de grandes  
82 cantidades de energía. En la actualidad, la extracción de agua de algunos acuíferos  
83 involucra la perforación y el acceso a profundidades de hasta dos kilómetros. El tercer  
84 aspecto distintivo es que si bien históricamente la presencia de agua superficial definió  
85 fronteras regionales e influyó en la creación de los estados nacionales de la actualidad, los  
86 acuíferos se extienden a través de diversas naciones que los explotan simultáneamente de  
87 formas que no han sido reguladas y que se prevén conflictivas.

## 88 **La singularidad de nuestro tiempo**

89 Multitud de medidas indican la singularidad de la época actual. Recurrimos a la más obvia  
90 de la población humana que ha crecido a tasas exponenciales siempre crecientes. Pero el  
91 esfuerzo científico por racionalizar esta intuición sobre cuán singular, único e insostenible  
92 es nuestra época destaca dos trabajos recientes. El primero, el concepto de las fronteras  
93 planetarias [Rockström et al., 2009] donde se identifica nueve procesos físicos, químicos y  
94 biológicos que modifican en la actualidad a la biosfera de tal manera que pone en riesgo la  
95 viabilidad de su continuidad. Estos procesos incluyen el cambio climático, el ciclo del  
96 nitrógeno y la disponibilidad de agua dulce, entre otros. Algunos de estas fronteras, se  
97 considera, han sido rebasadas en la actualidad; otras, están cerca de ser rebasadas. En  
98 ambos casos, es claro que la actividad humana actual está provocando la modificación de  
99 las condiciones en que se ha desarrollado no solo la civilización sino la propia existencia de  
100 nuestra especie.

101 El segundo esfuerzo científico destacado es el concepto de la “gran aceleración”  
102 [Steffen et al., 2015], en donde se identifica el cambio esencial en las actividades humanas  
103 a través de la cuantificación de doce tendencias socioeconómicas —población, uso de agua,  
104 uso de energía, transporte, entre otras— y doce tendencias físicas del sistema terráqueo —  
105 concentración de CO<sub>2</sub>, domesticación de la tierra, temperatura atmosférica, acidificación de  
106 los océanos, entre otras— que coinciden en un punto de inflexión ocurrido a la mitad del  
107 siglo XX. La gran aceleración no se caracteriza por el arribo de la actividad humana a cierta  
108 intensidad, sino por el arribo a cierta velocidad de crecimiento. De 1950 a la fecha estas  
109 actividades no han dejado de crecer a tasas casi siempre crecientes ellas mismas.  
110 Desconocemos qué ocurra con esta tendencia en el futuro cercano, sólo sabemos que “la  
111 historia humana está marcada por [...] cambios constantes de tendencias y ajustes a los  
112 límites y los confines”<sup>2</sup>.

113 Uno de los efectos de la singularidad de nuestro tiempo es particularmente relevante  
114 para la atención de estas actividades: nunca antes hemos dispuesto de tanto conocimiento,  
115 tanta información y tanta ciencia efectiva. Es atractivo que en medio de la mayor actividad

---

<sup>2</sup> Citado en [Steffen et al., 2015]

humana, y cuando estamos más cerca de cruzar las fronteras planetarias y ante la mayor aceleración de nuestras actividades, dispongamos de las mayores posibilidades de entender qué es necesario para modificar estas situaciones. Y sepamos, en tiempo real, los efectos de nuestras modificaciones. El ejemplo de las mediciones de la extracción de agua de los acuíferos es extraordinario.

## GRACE y GPS

GRACE son las siglas en inglés del Experimento de Recuperación de Gravedad y Clima, realizado por una misión satelital enviada en un trabajo colaborativo entre Estados Unidos y Alemania y que consiste en dos satélites que orbitan la Tierra desde 2002. Los satélites, que efectúan quince órbitas al día sobre la Tierra, están separados por unos doscientos kilómetros y, mediante el intercambio de radiación de microondas, pueden detectar pequeñísimas variaciones en sus órbitas —del orden de micrómetros— que son originadas por pequeñas variaciones temporales del campo gravitatorio. Estas variaciones, en ciertas regiones y en ciertos tiempos, se atribuyen a la modificación de la cantidad de agua terrestre almacenada, es decir, principalmente del agua de los acuíferos.

Luego de trece años del lanzamiento de los satélites se ha acumulado suficiente información para evaluar, por ejemplo, la extracción de acuíferos que se extienden a través de tres países con suficientes disputas históricas como para descartar la posibilidad de conocer con precisión el consumo particular de cada estado nacional. Así, el trabajo basado en GRACE, estimó que para 2009 se extraía  $54 \pm 9 \text{ km}^3/\text{año}$  del acuífero compartido por Pakistán, India y Bangladesh, en la zona con más alta fracción de la superficie terrestre dedicada a la producción de cosechas —entre ochenta y cien por ciento del terreno [Tiwari et al., 2009; Rodell et al. 2009]. Las mediciones de GRACE han permitido también estimar la reducción del agua terrestre almacenada en la región del Tigris y el Eufrates en la región iraní, para asignar una disminución equivalente a  $24 \text{ km}^3/\text{año}$  [Voss et al., 2013]. La experiencia acumulada en estos años permite estimar el agua terrestre almacenada en regiones áreas más pequeñas como el acuífero de las Llanuras Altas [Longuevergne et al., 2010] y el Valle Central de California [Famiglietti et al., 2011]; este último ha podido evaluar el efecto de la sequía actual en esa región [Famiglietti 2014].

Pero la extraordinaria época actual permite confirmar independientemente y ampliar la información obtenida por GRACE con otra técnica metodológica basada en aparatos de GPS —siglas en inglés del Sistema de Posicionamiento Global—. También basado en la existencia de múltiples satélites, el GPS permite localizar la posición de un aparato en la Tierra con suficiente precisión para detectar variaciones milimétricas a lo largo del tiempo. En un estudio reciente, se midió la variación de la posición de 771 aparatos de GPS en tantos lugares distintos del oeste de Norte América —incluyendo unos pocos localizados en México y en Canadá—, con el fin de detectar el rebote isostático de la superficie terrestre debida a la disminución gravitacional causada por la disminución del agua terrestre almacenada [Borsa et al., 2014].

Estos ejemplos del consumo humano de agua terrestre almacenada revelan una situación que se repite en gran cantidad de actividades humanas: conocemos con precisión y confiabilidad la magnitud de nuestras acciones. No podemos argumentar que sus efectos nos tomen desprevenidos.

## La huella acuifera

160 Los distintos acuíferos son empleados por la humanidad con muy diferentes tasas de  
161 consumo. Conviene disponer de una medida que permita evaluar y jerarquizar el consumo  
162 de los distintos acuíferos. Se han propuesto y generalizado diversas definiciones de huella  
163 para medir el consumo de distintas variables de relevancia ecológica. Algunas de las mejor  
164 conocidas son la huella ecológica, que se define como el área territorial —en  $\text{km}^2$ —  
165 requerida para mantener una población; la huella acuática que se define como el volumen  
166 de agua fresca —en  $\text{m}^3/\text{año}$ — requerida para mantener una población y la huella acuífera  
167 que se define como el área requerida —en  $\text{km}^2$ — para mantener el acuífero y los servicios  
168 ecológicos correspondientes [Gleeson et al., 2012]. En el trabajo mencionado se divide la  
169 huella acuífera entre el área real del acuífero, de tal manera que un valor menor de uno para  
170 este cociente revela que la extracción de agua del acuífero es sustentable, mientras que un  
171 valor mayor que uno revela la insustentabilidad ante el consumo actual. Desde luego el  
172 valor numérico permite jerarquizar usos insustentables graves del acuífero. El trabajo de  
173 Gleeson et al. identifica que la gran mayoría de los acuíferos tienen cocientes menores a  
174 uno, pero encuentra seis acuíferos con cocientes mayores a veinte —el del consumo más  
175 insustentable es el del Sur del Caspio con un valor cercano a cien—. De particular  
176 importancia para nuestro país es la situación de dos de sus acuíferos que pertenecen al  
177 grupo de los quince con la mayor huella acuífera: el acuífero del Occidente de México<sup>3</sup> con  
178 un cociente de 26 y el del Centro de México con un cociente de 9.

179 Algunos de los acuíferos más sobreexplotados están situados en regiones donde la  
180 mayor parte de la actividad agrícola se orienta a la producción de alimento para el consumo  
181 directo de la humanidad. En particular, las zonas de los dos acuíferos localizados en  
182 México y mencionados anteriormente dedican alrededor de 80% del área agrícola a  
183 producir cosechas para el consumo humano [Foley et al., 2011].

## 184 **Energía y amoniaco**

185 El motor de la modernidad, de la gran aceleración y, ultimadamente, el motor que permite y  
186 hace necesaria la sobreexplotación de los acuíferos es la abundancia de energía barata  
187 fácilmente disponible. La energía primaria *per capita* empleada por la humanidad ha  
188 aumentado en un orden de magnitud en los últimos dos siglos a pesar de que la población  
189 humana ha aumentado también en un orden de magnitud en el mismo periodo. Es decir, el  
190 consumo humano de energía ha aumentado dos órdenes de magnitud —unas cien veces.

191 Un descubrimiento químico en especial —la fijación de nitrógeno en la producción  
192 de amoniaco a través del proceso catalítico de Haber-Bosch— ha permitido que la  
193 producción de alimentos aumente su intensidad productiva y permita alimentar a la  
194 población actual en niveles de consumo muy por encima de los mínimos vitales. La  
195 invención de Haber-Bosch ha sido considerada, por estas razones, “el descubrimiento más  
196 importante para la historia de la humanidad” [Smil, 2001].

197 La síntesis de amoniaco permite proporcionar los nutrientes requeridos para  
198 aumentar la eficiencia y la intensidad de la producción agrícola y extender la domesticación  
199 de la tierra, como se ha hecho mundialmente en la gran aceleración. El elemento extra que  
200 se requiere para garantizar este crecimiento es la disponibilidad de abundante agua dulce  
201 barata. Los acuíferos ofrecen este elemento extra.

---

<sup>3</sup> Western Mexico, que incluye los acuíferos reportados por CONAGUA como Valle De San Luis Rio Colorado, Sonoyta-Puerto Peñasco, Caborca, Los Chirriones, Busani entre otros.

202 Como se mencionó anteriormente, el exceso en la fijación industrial de nitrógeno  
203 para su uso como fertilizante<sup>4</sup> ha alterado su ciclo en la biosfera de tal manera que  
204 constituye una de las fronteras planetarias más rebasadas. Sus efectos en la modificación  
205 del ambiente son amplios y conocidos —zonas marinas y lacustres anóxicas, por ejemplo—  
206 y constituyen por sí mismas un problema mayor, sin embargo el tamaño de estas  
207 modificaciones es relativamente pequeño en comparación con el de aquellas producidas por  
208 la generación de energía primaria.

209 El aumento de cien veces la generación de energía en los últimos doscientos años ha  
210 sido posible gracias al empleo de combustibles fósiles. A lo largo de esos doscientos años,  
211 pero en particular en el último siglo, la abrumadora mayoría —87% en la actualidad— de la  
212 energía producida proviene de la combustión de combustibles fósiles, con dos  
213 consecuencias inescapables. La primera es que los combustibles fósiles se formaron lenta y  
214 escasamente en la corteza terrestre a lo largo de millones de años, lo que asegura que la  
215 cantidad disponible es finita y, a las tasas de consumo de la modernidad, escasa. Se discute  
216 intensamente durante cuánto tiempo más dispondremos de estos combustibles, si diez o  
217 cincuenta años. Ocasionalmente alguien estima que tenemos hasta cien años más. Pero  
218 nadie pasa de ahí. Los combustibles fósiles son finitos y dejarán de estar disponibles  
219 pronto. Pero la segunda consecuencia inescapable es aún más perturbadora. La combustión  
220 de combustibles fósiles —creados a partir de carbón de origen biológico— genera dióxido  
221 de carbono que escapa en forma gaseosa a la atmósfera en donde absorbe y emite radiación  
222 electromagnética —infrarroja— lo que retiene energía en la atmósfera y contribuye al  
223 aumento de la temperatura atmosférica promedio. En los doscientos años del aumento de  
224 dos órdenes de magnitud en el consumo de energía primaria, la concentración de CO<sub>2</sub> en la  
225 atmósfera ha aumentado 42% —de 280 ppm a 400 ppm.

226 El aumento en la temperatura promedio de la atmósfera que la mayor concentración  
227 atmosférica actualmente existente de CO<sub>2</sub> provocará —lentamente, conforme retenga  
228 energía adicional— se estima en 1°C. La estimación del tamaño del aumento de  
229 temperatura que causaría una disrupción mayor —intolerable de acuerdo con el acuerdo de  
230 Copenhague de la ONU— es de 2°C, aunque recientes estudios proponen que la frontera de  
231 intolerabilidad está más cerca de 1.5°C y que ésta sólo es posible si gran parte de los  
232 combustibles fósiles existentes nunca son quemados [Rogelj et al., 2015].

## 233 **Demografía y equidad**

234 La modernidad —energía, nitrógeno, revolución verde, agua dulce— y la combinación de  
235 nuestras decisiones sociales y personales ha permitido que la población actual supere siete  
236 mil trescientos millones de personas. La ciencia de la demografía emplea las reglas  
237 estadísticas para estimar —con sorprendente precisión— la población futura. El concepto  
238 de transición demográfica sugirió la predicción de que el aumento continuo de la población  
239 humana de los últimos siglos disminuiría para detenerse alrededor de 2050 e iniciar un  
240 descenso moderado que nos tendría de regreso en siete mil millones de personas al terminar  
241 el siglo presente. Sin embargo, ajustes y reinterpretaciones recientes sugieren que es más

---

<sup>4</sup> Una posible cuantificación de esta explosión es la siguiente: la última duplicación de la cantidad de amoníaco sintetizado por la humanidad —para llegar a más de 100 millones de toneladas al año— tomó solamente cuarenta años.

242 probable que para finales del siglo todavía no hayamos llegado al máximo de población y  
243 nos encontremos cerca de once mil millones de seres humanos [Gerland et al., 2014].

244 La discusión sobre los logros de la modernidad en términos del bienestar de la  
245 humanidad tienen también una amplia, extensa e ilustre discusión. Si bien existen  
246 razonamientos incontestables sobre cómo la humanidad vive su siglo de oro y cómo todas  
247 las medidas intensivas del bienestar humano han mejorado en la modernidad, la evidencia  
248 igualmente real de la existencia de seres humanos que viven en condiciones de menor  
249 bienestar a las que tuvieron sus antepasados —en épocas premodernas— y la evidencia  
250 lacerante de la desigualdad actual mantienen viva esta discusión.

251 El argumento fundamental de los interpretaciones económicas dominantes sugiere  
252 que el incremento en la actividad económica es el proceso necesario y suficiente para  
253 garantizar la ruptura de esta dualidad. El aumento de la marea levanta todos los barcos, dice  
254 el aforismo macroeconómico. Sin embargo, en las condiciones presentes de la modernidad  
255 —de nuevo, energía, nitrógeno, revolución verde, agua dulce, cambio climático— la  
256 pregunta de si aún es posible aspirar a un aumento de la marea cobra nueva relevancia. Los  
257 estudios de las tendencias socioeconómicas de la gran aceleración muestran como el  
258 producto interno bruto mundial ha aumentado casi cinco veces en los últimos cincuenta  
259 años —mientras la población se ha duplicado—, por lo que la economía *per capita* es ahora  
260 dos y media veces mayor que hace cincuenta años. Sin embargo la desigualdad es la misma  
261 que hace cincuenta años o incluso mayor [Deaton, 2010].

262 Es posible estimar los resultados de buscar una modificación de la desigualdad  
263 existente. Una estimación del ingreso requerido para salir del nivel de pobreza es dos mil  
264 quinientos dólares americanos de 2005 por persona. Una estimación de los resultados de  
265 incrementar la actividad económica mundial para garantizar el acceso a esa cantidad a  
266 todos los seres humanos actualmente por debajo de ese ingreso revela que poco más de  
267 cuatro mil millones de seres humanos serían beneficiados para lo que se requiere un  
268 aumento de la actividad económica de entre 7 y 14% de la actual [Amador y Moreno,  
269 2011]. Por otro lado, un aumento del consumo de los seres humanos que garantice que  
270 todos dispondrán al menos de once mil dólares americanos de 2005 implica un beneficio  
271 para 5300 millones de seres humanos y un aumento de la actividad económica de entre 75 y  
272 100% de la actual. Las consecuencias en términos atmosféricos del primer caso es quizá  
273 posible, las del segundo son imposibles.

## 274 **Y de nuevo agua**

275 El principal uso del agua es, como se mencionó, en la irrigación de los cultivos  
276 principalmente para el consumo humano. Pero el consumo humano requiere distintas  
277 cantidades de agua en función de su tipo. Un reciente estudio de la cantidad de agua  
278 requerida para producir distintos tipos de alimentos de origen vegetal encuentra una  
279 variación de un orden de magnitud: las calorías provenientes de carne de res requieren  
280 dieciséis veces más agua que las calorías obtenidas del consumo de huevo, diez veces más  
281 que las obtenidas de aves, y ocho veces más que las obtenidas del carne de cerdo [Eshel, et  
282 al., 2014].

283 ¿Cómo guiar la política del consumo de agua? En la intención científica de  
284 racionalizar los efectos de nuestras actividades se ha estudiado las diferencias regionales de  
285 emplear el espacio para aumentar la producción de alimentos con el cambio en el uso del  
286 suelo correspondiente [Johnson et al., 2014]. La decisión racional —la que maximiza la

287 producción a un menor costo de generación de gases de efecto invernadero— favorece la  
288 producción en ciertas regiones y implica la limitación de la producción en otras, con la  
289 consecuente influencia en la independencia alimentaria de las distintas naciones. ¿Es  
290 posible impulsar soluciones racionales dadas las restricciones impuestas por la política  
291 internacional?

292 Otro ejemplo de la complejidad de las decisiones sobre el uso del agua lo  
293 proporciona el incremento actual en la extracción de petróleo mediante el uso de la fractura  
294 hidráulica o *fracking*. Por un lado la producción de petróleo por este medio se realiza con  
295 valores de EROI —siglas en inglés de Energía Recuperada Sobre Energía Invertida— por  
296 debajo de 10 cuando el promedio mundial actual es cercano a 17 [Murphy et al., 2014]. Por  
297 otro, la fractura hidráulica requiere el empleo de considerables cantidades de agua dulce y,  
298 aún más grave, es posible que contamine gravemente los acuíferos [Osborn, 2014].

299 La política del empleo del agua debe adaptarse a las situaciones de la modernidad,  
300 esencialmente distintas de las que han guiado nuestro empleo del agua a lo largo de nuestra  
301 historia como especie. El antropoceno requiere esta adaptación toda vez que es claro que  
302 “no hay suficiente agua fresca para que todo mundo use toda la que quiera, cuando la  
303 quiera” [Alamaro, 2014].  
304

## 305 Referencias

- 306 [Alamaro, 2014] Moshe Alamaro, Water politics must adapt to a warming world, *Nature*  
307 514:7 (2014)
- 308 [Amador y Moreno, 2011] Carlos Amador y Hortensia Moreno, La ética del cambio  
309 climático, *Revista Relaciones de Internacionales de la UNAM*, núm. 110, mayo-agosto de  
310 2011, pp. 121-137
- 311 [Borsa et al., 2014] Adrian Antal Borsa et al. *Ongoing drought-induced uplift in the*  
312 *western United States* *Science* 345, 1587 (2014); DOI: 10.1126/science.1260279
- 313 [Crutzen, 2002] Crutzen, P. J. *Geology of mankind*. *Nature* 415, 23 (2002)
- 314 [Doll, 2009] Petra Doll, *Vulnerability to the impact of climate change on renewable*  
315 *groundwater resources: a global-scale assessment*. *Environ. Res. Lett.* 4 (2009) 035006
- 316 [Deaton, 2010] Angus Deaton, *Price Indexes, Inequality, and the Measurement of World*  
317 *Poverty*, *The American Economic Review*, vol. 100, núm. 1, 2010, p. 5,  
318 DOI:10.1257/aer.100.1.5.
- 319 [Eshel, et al., 2014] Gidon Eshel et al. *Land, irrigation water, greenhouse gas, and reactive*  
320 *nitrogen burdens of meat, eggs, and dairy production in the United States*, *PNAS* 11996-  
321 12001 (2014)
- 322 [Famiglietti et al., 2011] J. S. Famiglietti, et al. *Satellites measure recent rates of*  
323 *groundwater depletion in California’s Central Valley*. *Geophys Res Lett*, 38:L03403, 2011
- 324 [Famiglietti, 2014] J. S. Famiglietti. *The global groundwater crisis*. *Nature Climate Change*  
325 4: 945-948 (2014)
- 326 [Foley et al, 2011] Jonathan A. Foley et al., *Solutions for a cultivated planet*, *Nature*  
327 478:337-342 (2011)



328 [Gerland, et al., 2014] Gerland et al. *World Population Stabilization Unlikely this Century*,  
329 Science 18.sept.2014 10.1126/science.1257469

330 [Gleeson et al., 2012] Tom Gleeson et al., *Water balance of global aquifers revealed by*  
331 *groundwater footprint*, Nature 488:197-200 (2012)

332 [Johnson, et al., 2014] Justin Andrew Johnson, et al. *Global agriculture and carbon trade-*  
333 *offs*, PNAS 111:12342-12347 (2014)

334 [Lewis & Maslim, 2015] Simon L. Lewis & Mark A. Maslin, *Defining the Anthropocene*,  
335 Nature 519: 171-180 (2015)

336 [Longuevergne et al., 2010] Longuevergne L, Scanlon BR, Wilson CR, *GRACE*  
337 *hydrological estimates for small basins: Evaluating processing approaches on the High*  
338 *Plains aquifer, USA*. Water Resour Res, 10.1029/2009WR008564, 46:W11517, 2010

339 [Murphy, et al., 2014] David J. Murphy, *The implications of the declining energy return on*  
340 *investment of oil production*. Phil. Trans. R. Soc. A 372: 20130126 (2014)

341 [Oki & Kanae, 2006] T. Oki & S. Kanae, *Global Hydrological Cycles and World Water*  
342 *Resources*, Science 313 1068 (2006)

343 [Osborn et al., 2011] Stephen Osborn et al. *Methane contamination of drinking water*  
344 *accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing*. PNAS 108: 8172-8176 (2011)

345 [Rockström et al., 2009] Johan Rockström, et al., *A safe operating space for humanity*.  
346 Nature **461**:472-475 (2009)

347 [Rodell et al., 2009] M. Rodell, I. Velicogna & J. Famiglietti, *Satellite-based estimates of*  
348 *groundwater depletion in India*, Nature doi:10.1038/nature08238 (12 August 2009)

349 [Rogelj et al., 2015] Joeri Rogelj, Gunnar Luderer, Robert C. Pietzcker, Elmar Kriegler,  
350 Michiel Schaeffer, Volker Krey and Keywan Riahi, *Energy system transformations for*  
351 *limiting end-of-century warming to below 1.5 °C*, Nature Climate Change **5**:519-527 (2015)

352 [Smil, 2001] Vaclav Smil, *Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the*  
353 *transformation of world food production*. MIT Press, 2001. ISBN 978-0-262-19449-5.

354 [Steffen et al., 2015] Will Steffen, Wendy Broadgate, Lisa Deutsch, Owen Gaffney and  
355 Cornelia Ludwig, *The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration*, The  
356 Anthropocene Review **2**: 81-98 (2015)

357 [Tiwari et al., 2009] V. M. Tiwari, J. Wahr & S. Swenson, *Dwindling groundwater*  
358 *resources in northern India, from satellite gravity observations*, Geophys. Res. Lett. 36,  
359 L18401, doi:10.1029/2009GL039401, 2009

360 [Varis, 2014] Olli Varis. *Curb vast water use in central Asia*. Nature 514: 27-29 (2014)

361 [Voss et al., 2013] Katalyn A. Voss, James S. Famiglietti, MinHui Lo, Caroline de Linage,  
362 Matthew Rodell, and Sean C. Swenson, *Groundwater depletion in the Middle East from*  
363 *GRACE with implications for transboundary water management in the Tigris-Euphrates-*  
364 *Western Iran region*, Water Resources Research, **49**: 904–914, 2013