

Efectos económicos provocados por la contaminación del agua en la cuenca baja del río Coatzacoalcos, México

Patricia Rosales Calzada
Adrián Barrera Roldán

Instituto Mexicano del Petróleo

A través de este estudio se estimaron costos y beneficios asociados con la contaminación del agua y los efectos del tratamiento de la misma en la salud de los habitantes de los municipios de Coatzacoalcos, Minatitlán y Cosoleacaque, en Veracruz, México. De este análisis regional no se tienen antecedentes que pudieran servir para comparar resultados, por lo que el presente, aun con sus alcances parciales, permite llegar a conclusiones y recomendaciones importantes. Para calcular los costos evitados se estimó el valor de algo tan delicado como la vida humana. Esta última valuación se logró a través de la aplicación del método del capital humano. Si se comparan los costos de tratamiento de agua contra los ingresos anuales de los tres municipios en estudio, se obtiene que los costos superan por lo menos en cuatro veces a los ingresos; por lo que financieramente hablando es totalmente inviable el proyecto, pero con el incremento de la población y el aumento de la actividad industrial en la región, la concentración de sustancias contaminantes en el río Coatzacoalcos puede llegar a niveles no controlables. Por lo tanto, la inversión, aun cuando es alta, podría ser mayor si no se actúa a tiempo; la degradación y el agotamiento del río en nombre de los ingresos hoy pueden hacer peligrar las perspectivas de obtención de ingresos el día de mañana, pues no hay agua ni capital humano más caros que los que no se tienen.

Palabras clave: análisis costo-beneficio, contaminación, capital humano, costos evitados, agua.

Introducción

En cualquier proyecto, ya sea privado o social, el objetivo es obtener el mayor beneficio, pero en un proyecto de tipo social, la parte más delicada es la cuantificación de los beneficios, debido a que muchos de éstos no pueden medirse bajo el esquema tradicional de precios de mercado, en especial los bienes ambientales y la salud humana, y a pesar de que ofrecen servicios económicos a los seres humanos no aparecen en la valuación económica o bien en ocasiones se utiliza el llamado precio sombra o precio de cuenta para efectuar una valoración económica de este tipo de bienes (Azqueta, 1985). El hecho de que los bienes ambientales carezcan de mercado no impide que estén relacionados con otros que sí lo tienen. Un caso particular de esta relación lo constituyen los sistemas acuáticos, que son en extremo importantes dentro de la dinámica industrial, ya que

cumplen con un doble papel al funcionar como cuerpos proveedores de agua para el desarrollo de las actividades productivas y sociales, y como cuerpos receptores de productos intermedios y residuales que no son de utilidad después del proceso industrial.

Para analizar beneficios y costos generados por un cambio en la cantidad o calidad del bien ambiental en su relación con un bien privado (salud por ejemplo), es necesario conocer cómo afecta a este bien privado el cambio de la calidad o cantidad de dicho bien. Con este fin se realizó un estudio de caso en la parte baja del río Coatzacoalcos, el cual incluye al corredor industrial Coatzacoalcos-Minatitlán, ubicado en la porción sureste de Veracruz, entidad federativa localizada en el Golfo de México. Este corredor es impulsado por el asentamiento de la mayor plataforma petroquímica del país y una de las más importantes en el ámbito latinoamericano, lo que la ha consolidado como un pilar económico de primer

orden nacional, pero en algunos casos a costa de crear impactos negativos en los habitantes de esta región y en su hábitat, derivados de esta misma actividad industrial. Uno de tales impactos ha sido un fuerte problema de contaminación en los cuerpos de agua (IMTA/CNA, 1996).

A través de este análisis de costo-beneficio se evaluaron los costos por enfermedades diarreicas debido a la contaminación de cuerpos de agua localizados en los municipios de Coatzacoalcos, Cosoleacaque y Minatitlán, Veracruz, ocurridas en 1995. Se eligió dicho año pues muestra estadísticas más actuales tanto en salud como en contaminación del agua y costos de tratamiento (IMTA/CNA, 1996; Ortiz y Pérez, 1995; INEGI, 1996; SSA, 1995; Villarreal *et al.*, 1997). Asimismo, se determinó el costo de inversión necesario para aplicar sistemas de tratamiento de acuerdo con el análisis de las características generales de la descarga de aguas residuales de la industria. Este análisis también permitió asignar costos a los efectos en salud y así estar en posibilidad de obtener la valoración económica de los efectos por contaminación de agua que señale las pérdidas sociales y contribuya al establecimiento de las metas de políticas públicas.

Tomar a las enfermedades diarreicas como punto de referencia para valorar la salud se debe a que este tipo de enfermedad ocupa el cuarto lugar en causas de muerte infantil y dentro de la población adulta aparece dentro de las doce principales causas de muerte en el ámbito estatal (SSA, 1995), por lo que su costo económico es alto, ya que repercute en la productividad del trabajador en el ámbito de morbilidad, o bien en pérdida de capital humano si la enfermedad provoca la muerte.

Costos de tratamiento de aguas residuales

Al hablar de la contaminación en cuerpos de agua generada por la industria química se aprecian dos aspectos: el primero es el hecho de que casi siempre se tiene contaminación convencional, es decir, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), grasas y aceites, sólidos en todas sus formas, etcétera; el segundo es que también existe, en forma importante, contaminación por sustancias tóxicas (Cinvestav, 1990). Este hecho le da una característica diferente al problema, ya que la tecnología disponible para remover la contaminación convencional no siempre funciona de manera eficiente para las sustancias tóxicas, lo cual obliga a analizar métodos de tratamiento tanto convencionales como avanzados. Para este estudio se consideró como industria química lo siguiente: química básica, la cual comprende la producción de ácidos y bases o sales químicas; petroquímica, que produce

benceno, tolueno, metanol, etanol, etcétera; agroquímica, encargada de producir fertilizantes, y química farmacéutica, que produce medicinas.

Dentro de la región de estudio, el municipio con mayor aporte de aguas residuales tanto industriales como municipales es el de Coatzacoalcos, que contribuye con un 38.09% del total de aguas residuales reportadas por la Comisión Nacional de Agua (IMTA/CNA, 1996). Le siguen el municipio de Cosoleacaque con un 37.63% y Minatitlán con un 23.3%; otros municipios de la cuenca como Nanchital e Ixhuatlán del Sureste aportan 0.74 y 0.23%, respectivamente. Del volumen total de aguas residuales vertidas a la cuenca baja del río Coatzacoalcos reportado por la Conagua, el 79.88% es de origen industrial, en tanto que el 20.12% restante tiene origen municipal. Dentro de este 79.88% de origen industrial, el aporte por municipio en orden decreciente es el siguiente: Coatzacoalcos, con un volumen total de 50,358,743 (47.25%); Minatitlán, con 31,351,681 (29.42%); Cosoleacaque, con un volumen de 23,652,829 (22.19%). Nanchital aporta el 0.95% con 1,008,860 e Ixhuatlán el 0.19% con 201,480 de metros cúbicos (IMP, 1997). Estos datos permiten concluir que la mayor fuente de contaminación de la cuenca es de origen industrial.

El municipio de Coatzacoalcos es el que mayor actividad industrial presenta, pues el 53.44% de las empresas se localiza en ese lugar; sin embargo, es Cosoleacaque, a través del arroyo Largo y su fuente emisora, el complejo petroquímico (CPQ) de Cosoleacaque, el que aporta la mayor cantidad de aguas residuales. En el municipio de Coatzacoalcos, la empresa que mayor cantidad de aguas residuales de tipo industrial genera es Troy Industrias, que las descarga de manera directa al Golfo de México. En Minatitlán, las descargas de aguas residuales de tipo industrial más significativas son las vertidas por la refinera, que las vierte al pantano Santa Alejandrina y al río Coatzacoalcos (IMP, 1997).

En cuanto al aporte de aguas residuales de origen municipal, se tiene que Coatzacoalcos es el que mayor cantidad de agua de esta naturaleza genera (8.9%) y la vierte principalmente al mar, a pozos de absorción —lo cual es una potencial fuente de contaminación para el agua de suministro— y al río Coatzacoalcos. Le sigue Minatitlán (4.8%), en el que sus principales vasos colectores son la zona de pantanos y el río Coatzacoalcos, en tanto que Cosoleacaque (1.3%) descarga al arroyo El Naranjo. En la cuenca baja del río Coatzacoalcos se observa que la industria petroquímica aporta gran volumen de estas descargas (IMP, 1997).

En un estudio realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA/CNA, 1996) se analizó un total de 23 descargas industriales —de acuerdo con la NOM-

001-ECOL-1996—, obteniendo que una descarga (lo que representa el 4% del total analizado) sobrepasa el límite para DBO; tres sobrepasan el límite para SST (13%) y sólo dos (9%) para algún metal. Las 17 descargas restantes (74%) se encontraron dentro de los límites establecidos para los usos de explotación pesquera y navegación, pero no así para consumo humano.

Con respecto a la presencia de coliformes fecales en el río Coatzacoalcos, a partir de la estación ubicada antes de Minatitlán, está por arriba del límite permisible, lo cual es producto de la incorporación de descargas municipales.

Es importante resaltar que dada la gran variedad de tratamientos existentes, muchos de ellos se pueden aplicar al caso Coatzacoalcos, dependiendo de los contaminantes y del grado de contaminación que se tenga, es por ello que se hace necesario el suponer que sólo son tres los contaminantes que afectan al río Coatzacoalcos y el agua del río no está contaminada por efectos naturales.

El tratamiento de aguas residuales se basa en operaciones y procesos unitarios llamados trenes de tratamiento, que se recomiendan en función de las características de la descarga o por el grado de calidad del efluente que se quiere lograr, entre otros. Para la estimación de este análisis no se propone con rigor técnico el tren de tratamiento, pero sí se establece que cada tipo de descarga debe ser tratada en función de sus características de calidad y que el resultado de las emisiones de contaminantes en los efluentes debe considerarse inocuo para no dañar los cuerpos receptores finales. Los costos de tratamiento que proporciona el IMTA (Ortiz y Pérez, 1995) se muestran en el cuadro 1.

El IMTA calcula los costos tomando como base 1.0 del costo del proceso de tratamiento llamado sedimentador primario. Los costos asignados en construcción, operación y mantenimiento de los demás procesos varían hacia arriba o hacia abajo del índice (1.0).

Las bases de diseño y el costo del sedimentador primario, considerando inversión, periodo de amortización, tasas de interés, operación y mantenimiento, según el IMTA, son los siguientes:

Inversión = \$ 2,113,728.60 (millones de pesos de 1995).

Periodo de amortización = veinte años.

Tasa de interés = 10%.

Amortización de la inversión = \$ 247,646.48.

Operación y mantenimiento = \$ 345,200.00.

El mismo IMTA, en lo que respecta al rubro de

construcción, operación y mantenimiento, realiza la distribución de los criterios técnicos de asignación de los parámetros seleccionados: DQO, SST y DBO. Es importante hacer notar que la suma de los porcentajes de asignación en los costos de construcción y en los costos de operación y mantenimiento de los factores definidos para cada proceso es de 100%. De igual manera, y en función de los porcentajes, se asignan los costos correspondientes a cada parámetro, para que en el total se sumen los costos anuales de amortización de la inversión, además de los costos de operación y mantenimiento para cada parámetro y proceso. Con respecto a los costos unitarios, se estimaron dividiendo el costo total en kilogramos entre la carga de contaminantes anual de descarga, dependiendo de la rama.

Los datos relativos a las descargas de tres de los principales contaminantes de siete industrias en la cuenca del río Coatzacoalcos se muestran en el cuadro 2.

En el cuadro 3 se tienen los costos totales de tratamiento para las siete industrias, considerando los parámetros de DBO, DQO y SST que descargan en la cuenca del río Coatzacoalcos.

Del total, el cual es de \$ 7,571,530,585.00, tan sólo el 0.6758% corresponde a la industria petrolera, con \$ 51,165,012.00, en tanto que la industria química aporta el 5.7038% con \$ 431,865,300.00, haciendo un costo total entre ambas de \$ 483,030,312.00, cifra que se tomará para obtener el índice de beneficio/costo, debido a que en la región de estudio estas dos industrias son las que más aportan en descargas.

Método del capital humano

Los primeros intentos de valorar la vida humana están relacionados con el valor del capital humano. Se estima el costo de la mala salud provocada por cambios en el medio ambiente. El costo económico de la mala salud se obtiene considerando su efecto en la productividad del trabajador. Únicamente se toma en cuenta el valor de una persona como unidad laboral, es decir, no se reconoce ningún otro tipo de pérdida en utilidad que provoque la enfermedad a la persona. De acuerdo con este método, los costos anuales por morbilidad en niños debido a enfermedades diarreicas es de 0.03 billones de dólares (Margulis, 1992).

De manera específica, la metodología a utilizar para el cálculo de los beneficios fue la que propuso Sergio Margulis en su *Back of the envelope estimates of environmental damage costs in Mexico*, en lo relativo a los impactos en salud por contaminación del agua. Este autor menciona que el método puede aplicarse indistintamente en cualquier país.

Cuadro 1. Costos de tratamiento por kilogramo de contaminantes (pesos, 1995) (Ortiz y Pérez, 1995).

Industria	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	Sólidos suspendidos totales (SST)	Demanda química de oxígeno (DQO)
Azucarera	1.58	0.58	0.71
Alimentos	2.65	2.04	1.75
Bebidas	0.02	1.16	0.01
Celulosa y papel	1.6	1.15	0.71
Petrolera	0.51	1.53	0.13
Química	1.68	11.335	1.78
Textil	0.73	6.88	0.14

Cuadro 2. Descarga de contaminantes medidos con los parámetros DBO, SST y DQO de las principales industrias en la cuenca del río Coatzacoalcos (ton/año, 1995) (IMTA/CNA, 1996).

Industria	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	Sólidos suspendidos totales (SST)	Demanda química de oxígeno (DQO)
Azucarera	3,868,885	221,207	520,998
Alimentos	46,299	288	6,848
Bebidas	487,955	14,957	110,550
Celulosa y papel	187,664	24,295	34,406
Petrolera	84,045	3,250	25,609
Química	186,338	4,690	36,884
Textil	14,500	453	5,800
Total	4,875,686	269,138	741,096

Cuadro 3. Costos de tratamiento por tipo de descarga de contaminantes medidos con los parámetros DBO, SST y DQO en la cuenca del río Coatzacoalcos (pesos 1995) (elaborado a partir de Ortiz y Pérez, 1995; IMTA/CNA, 1996).

Industria	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	Sólidos suspendidos totales (SST)	Demanda química de oxígeno (DQO)	Costo de tratamiento por industria
Azucarera	6,112,838,932	128,299,303	369,908,378	6,611,046,613
Alimentos	122,691,449	586,745	11,984,866	135,263,060
Bebidas	9,759,108	17,349,662	1,105,505	28,214,275
Celulosa y papel	300,261,688	27,939,400	24,428,516	352,629,604
Petrolera	42,862,876	4,972,997	3,329,139	51,165,012
Química	313,047,832	53,163,984	65,653,484	431,865,300
Textil	10,584,839	3,113,888	811,979	14,510,706
Total	6,912,046,724	235,425,979	477,221,867	7,624,694,570

Se calcularon tanto los costos por mortalidad de enfermedades diarreicas como los relativos a morbilidad para los tres municipios en estudio; entendiéndose por morbilidad la pérdida del estado de bienestar físico o mental de una proporción de personas que padecen los efectos de una enfermedad en una población (Larousse, 1999).

Costos por mortalidad = número de vidas por expectativa de vida por valor estadístico de vida.

Donde:

Número de vidas = defunciones por la enfermedad de estudio durante un año.

Expectativa de vida = cantidad de años que las personas pierden por morir prematuramente por motivo de la enfermedad.

Valor estadístico de vida = con base en el salario mínimo, se obtiene el salario anual y se le aplica la tasa de descuento.

La tasa de descuento es la tasa de interés usada para convertir valores futuros a valores presentes o dicho en otra palabras, es una medida de las preferencias para recibir un beneficio ahora en lugar de uno futuro y será la de 5% (Kunte *et al.*, 1998).

Costos por morbilidad = incidencia por costos promedio de tratamiento.

Donde:

Incidencia = número de casos por año.

Costo promedio de tratamiento = incluye costos fijos y costos variables.

Debido a que en el método seguido por Margulis para el cálculo de los costos por morbilidad se deben conocer los costos promedio de tratamiento, fue necesario utilizar los datos publicados por el doctor Enrique Villarreal y otros en su artículo "Costo en el primer nivel de atención" (Villarreal *et al.*, 1998), en donde se calculan los costos unitarios y costos promedio de 15 motivos de consulta de medicina familiar, entre ellos el relativo a enfermedades diarreicas, lo cual incluye tanto costos fijos como variables (ver cuadro 4). El cálculo para los costos fijos lo realizó por departamento, incluyendo determinación de insumos, costos, ponderados y construcción de matrices; los costos variables se calcularon para pacientes tipo por motivo de consulta y se establecieron por censo de expertos; el costo unitario de salud fue producto de la suma de los costos fijos y variables.

Resultados

Los beneficios en salud de los habitantes de Coatzacoalcos, Minatitlán y Cosoleacaque se estimaron a través del conocimiento de los costos evitados de salud para compararlos posteriormente con el costo de implementar procesos que mejoren la calidad del agua en el río Coatzacoalcos, ubicado en las inmediaciones de las comunidades en estudio. Se trataron los costos evitados de las enfermedades diarreicas, y dentro de éstas, por motivo de disponibilidad de información, se consideraron de manera específica la fiebre tifoidea, salmonelosis, disentería amebiana, parasitosis, enteritis y otras transmitidas a través del agua contaminada. Se hace la aclaración de que este tipo de enfermedad también puede difundirse por cualquier otra ruta que permita la ingestión de la materia fecal de una persona enferma.

Cuadro 4. Mortalidad por grupos de edad por enfermedades diarreicas (1995) (SSA, 1995).

Expectativa de vida (años)	40	30	20	10	Total municipal
Grupos de edad ^a	< 19	20-39	40-50	> 50	
Coatzacoalcos	7	3	6	7	23
Cosoleacaque	2	1	1	1	5
Minatitlán	4	2	3	4	13
Total de muertes	13	6	10	12	41

Nota: ^a Para obtener los datos por grupos de edad, se calcularon porcentajes del ámbito estatal y se consideró que se comportan igual en el ámbito municipal.

Es muy probable que el bien más difícil de valorar sea la vida humana, por ello se formularon varios supuestos para hacer este cálculo:

1. Las comunidades en estudio se abastecen de agua de manera directa o indirecta del río Coatzacoalcos.
2. La valuación económica sólo se deriva en términos de años de vida potencialmente perdidos y de costos por morbilidad debido a enfermedades diarreicas, aun cuando estudios epidemiológicos demuestran que muchos de los contaminantes ambientales, sobre todo los fisicoquímicos, tienen un efecto crónico-degenerativo, que se traduce en una eventual incapacidad parcial o total del individuo (Santos y Rojas, s.a.).
3. Las muertes por enfermedades diarreicas ocurridas durante 1995 en los tres municipios en estudio se debieron de manera directa o indirecta a contaminación de agua.
4. Las defunciones son tanto de hombres como de mujeres y ambos tienen un valor presente positivo de producción igual, no como lo propone en sus cálculos Weisbrod en el año 1960 (Layard, 1978), en los que la mujer tiene un valor presente negativo por ser sostenida económicamente por el hombre.
5. Aun cuando los costos de los servicios en salud resultan ser superiores para la zona no metropolitana, los costos de las zonas metropolitana y rural se homogeneizaron.
6. Se asumieron los mismos costos del Instituto Mexicano del Seguro Social incluso para los pacientes que acudieron a consulta por motivo de enfermedades diarreicas a cualquier otra institución del sector salud.

Beneficios por mortalidad

La mortalidad debido a enteritis (inflamación aguda crónica del intestino) y otras enfermedades diarreicas por grupos de edad ocurridas durante el año de 1995 se muestran en el cuadro 4.

Con base en el salario mínimo general por área geográfica en 1995 (\$ 17.80) (INEGI, 1996), se calculó el salario anual que es de \$ 6,497.00. Al aplicar el 5% como tasa de descuento, se obtiene el valor presente (VP) para los diferentes niveles de expectativas de vida laboral o productiva; esto es, cuarenta años para las personas de

menos de 19 años; treinta años para grupos cuyas edades están entre 20 y 39 años; veinte años de expectativa de vida para los grupos de cuarenta a cincuenta años, y diez años para los grupos de más de cincuenta años.

Los resultados del valor presente se muestran a través del cuadro 5. En la última columna se obtiene un total de \$ 104,788,916 por las 41 muertes registradas en la región debido a enfermedades diarreicas. Esto excluye el sufrimiento y el dolor, y cualquier costo por tratamiento.

Beneficios por morbilidad

Para el cálculo de éstos se utilizaron los datos vertidos por el doctor Enrique Villarreal y otros, como ya se había mencionado, y cuyos resultados aparecen en el cuadro 6. Es preciso señalar que se consideraron tanto los costos promedios generales de la diarrea por parásitos como la diarrea por amebas, y a su resultado se le incrementaron \$ 6.85 (pesos de 1995) para compensar la diferencia en salarios mínimos existente entre las entidades de Nuevo León y Veracruz.

Con tales consideraciones, el costo total anual por enfermedades diarreicas es de \$ 3,141,711.00, obteniéndose los beneficios, que se consideran como costos evitados por morbilidad por contaminación de agua (ver cuadro 7).

A través de la suma de costos por mortalidad y morbilidad se logran los costos evitados anuales relacionados con la salud por contaminación en agua de \$ 107,930,732.00.

Relación costo-beneficio

Si se comparan exclusivamente los beneficios en salud obtenidos *versus* los costos de tratamiento para la industria química y petrolera señalados en el cuadro 7, se obtiene la siguiente relación beneficio-costos:

$$RBC = 107,930,732.00 / 483,030,312.00 = 0.22$$

Conclusiones y recomendaciones

Si la decisión de invertir o no en los procesos de tratamiento para descontaminar el río Coatzacoalcos se tomara con base en los resultados obtenidos, es obvio que la determinación sería el no invertir, puesto que los costos superan a los beneficios en 4.5 veces.

Es importante señalar que los costos de tratamiento de agua podrían ser mayores en caso de que se removieran sustancias tóxicas.

Al considerar los beneficios no cuantificados, esta apreciación cambia, tomando en cuenta lo siguiente:

Cuadro 5. Costo de evitar la mortalidad en tres municipios de la cuenca baja del río Coatzacoalcos (pesos de 1995) (SSA, 1995).

Expectativa de vida	Valor presente \$	Número de vidas	Expectativa de vida x valor presente x número de vidas \$
40	117,979.58	13	61,349,381.60
30	106,371.81	6	19,146,925.80
20	87,463.98	10	17,492,796.00
10	56,665.11	12	6,799,813.20
Total		41	104,788,916.60

Cuadro 6. Costos unitarios mínimos, máximos y promedio de la atención médica por zona de ubicación, Nuevo León, México, 1995 (pesos 1995) (Villarreal *et al.*, 1996).

Tipo de inversión	Costo en zona metropolitana			Costo en zona no metropolitana			Costo promedio general
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	
Atención prenatal	30.71	87.38	58.64	35.30	484.96	120.58	92.26
Diabetes mellitus	178.87	235.54	206.8	183.46	633.12	268.74	240.42
Hipertensión arterial sistémica	250.99	307.66	278.92	255.58	705.24	340.86	312.54
Síndrome doloroso lumbar	107.15	163.82	135.08	111.74	561.40	197.02	168.70
Diarrea por parásitos	32.21	88.88	60.14	36.80	486.46	122.08	93.76
Infección respiratoria alta	46.10	102.77	74.03	50.69	500.35	135.97	107.65
Infección de vías urinarias	48.21	104.88	76.14	52.80	502.46	138.08	109.76
Enfermedad articular degenerativa	146.35	203.02	174.28	150.94	600.60	236.22	207.90
Cervicovaginitis	54.09	110.75	82.02	58.68	508.34	143.96	115.64
Diarrea por amebas	40.27	96.94	68.20	44.86	494.52	130.14	101.82
Conjuntivitis	35.63	92.30	63.56	40.22	489.88	125.50	97.18
Gastritis	75.17	131.84	103.10	79.76	529.42	165.04	136.72
Otitis media	39.19	95.86	67.12	43.78	493.44	129.06	100.74
Bronquitis aguda	95.25	151.92	123.18	99.84	549.50	185.12	156.80
Contusiones	36.12	92.79	64.05	40.71	490.37	125.99	97.67
Costo promedio	81.09	137.75	109.02	85.68	535.34	170.96	142.64

Cuadro 7. Costo por morbilidad en tres municipios de la cuenca del río Coatzacoalcos (pesos de 1995) (elaborado a partir de Villarreal *et al.*, 1996; SSA, 1995).

Municipio	Costo promedio de tratamiento \$ (1995)	Casos por enfermedades diarreicas	Costos por morbilidad \$
Coatzacoalcos	104.64	14,763	1,544,800.00
Cosoleacaque	104.64	3,693	386,436.00
Minatitlán	104.64	11,568	1,210,476.00
Total		30,024	\$3'141,711.00

$$\text{Beneficios (B)}_{\text{totales}} = B_{\text{salud}} + B_{\text{uso doméstico}} + B_{\text{uso industrial}} + B_{\text{ganadería}} + B_{\text{pesca}} + B_{\text{agricultura}} + B_{\text{recreación}} + B_{\text{corrosión}} + B_{\text{existencia}}$$

Donde:

B_{salud} = el control de la contaminación reduce los riesgos de enfermedades; en consecuencia, preserva la salud humana.

$B_{\text{uso doméstico}}$ = beneficios por usar regularmente agua en cantidad suficiente para mejorar la higiene doméstica o bien de la piel a través del baño.

$B_{\text{uso industrial}}$ = el control de la contaminación reduce costos del proceso de tratamiento y enfriamiento del agua para uso industrial.

$B_{\text{ganadería}}$ = reducción de enfermedades en las reses por ingestión de agua no contaminada.

B_{pesca} = la disminución de la contaminación puede provocar un aumento en los rendimientos de los productores y precios más bajos para los consumidores.

$B_{\text{agricultura}}$ = efectos positivos en cultivos cuya irrigación se realiza con agua no contaminada.

$B_{\text{recreación}}$ = beneficios para las personas que usan las vías de agua en actividades de recreo: pesca, natación, paseos en bote y caza de aves acuáticas. Además de actividades tales como caminatas, comidas en el campo y contemplación de la naturaleza.

$B_{\text{corrosión}}$ = fuentes determinadas de contaminación que afectan la dureza del agua o la corrosión de las tuberías y accesorios.

$B_{\text{existencia}}$ = biodiversidad.

Como en cualquier análisis costo-beneficio, aquí tampoco pudieron estimarse en términos monetarios todos los posibles beneficios que produciría el tratamiento para descontaminar las aguas, por lo que la estimación de los beneficios obtenidos en este trabajo sólo representan una cuota inferior de los mismos. Si se contabilizaran todos los beneficios, es probable que fueran mayores que los costos.

Esta estimación de beneficios se podría realizar a través de diferentes métodos de valuación. Así, el método

de los costos evitados a partir de las funciones dosis-respuesta ayudaría a estimar el costo de un cambio por corrosión de metales ($B_{\text{corrosión}}$), efectos en la salud de nadadores (B_{salud}), en la salud del ganado ($B_{\text{ganadería}}$) y en las cosechas ($B_{\text{agricultura}}$) debido a un cambio en la calidad del agua (Belausteguigoitia *et al.*, 1996-1997).

El método de los precios hedónicos es apropiado para cambios en la calidad de este bien, pues reflejaría el valor que los usuarios otorgan al agua para uso doméstico ($B_{\text{uso doméstico}}$) o industrial ($B_{\text{uso industrial}}$) y el valor que proyectan en el mercado (Azqueta, 1994), (Belausteguigoitia *et al.*, 1996-1997).

Mediante el método de los costos inducidos se podría analizar la rentabilidad económica de la producción pesquera (B_{pesca}) (Azqueta, 1994).

El método de los costos de viaje sería conveniente para estimar el beneficio de la recreación (Azqueta, 1994), por ejemplo el número de visitas a la ribera del río Coatzacoalcos.

La estimación de los beneficios por protección a la biodiversidad ($B_{\text{existencia}}$) se podría cuantificar a través de uno de los métodos directos: el método de valoración contingente, basado en la información que proporcionan las propias personas cuando se les pregunta sobre la valoración objeto de análisis (Azqueta, 1994).

La importancia de este trabajo es haber demostrado que incluso sin cuantificar todos los beneficios, la estimación que se tuvo para ellos es del mismo orden de magnitud que la cantidad asociada con costos y representa un primer paso para cuantificar el total de los beneficios, además de brindar información para los tomadores de decisiones.

En el estudio sólo se hizo referencia a la estadística de morbilidad de 1995, aunque sería conveniente hacer un estudio más profundo considerando tendencias, para lo cual sería necesario considerar las estadísticas de varios años.

Es importante tener en cuenta que estas estimaciones se deben usar con mucho cuidado; en el mejor de los casos son aproximaciones y en este caso en particular representan un límite bajo de la cantidad real; aun siendo así, la cantidad que se encontró supone un importante costo para la economía.

Recibido: 28/08/2001
Aprobado: 08/03/2002

Referencias

AZQUETA OYARZUN, D. *Teoría de los precios sociales*. Madrid: Instituto de Administración Pública, Alcalá de Henares, McGraw-Hill, 1985.

- AZQUETA OYARZUN, D. *Valoración económica de la calidad ambiental*. Madrid: McGraw-Hill, 1994. 299 pp.
- BELAUSTEGUIGOITIA, J.C. y PÉREZ SORIANO, O.E. Valuación económica del medio ambiente y de los recursos naturales. *Economía Informa*. Diciembre de 1996-enero de 1997, núm. 253, pp. 45-55.
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL IPN. *Estudio de la industria química mexicana con el propósito de establecer los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los cuerpos de agua*. Vol. II. México. 1990. 305 pp.
- INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA / COMISIÓN NACIONAL DE AGUA. *Estudio de clasificación del Río Coatzacoalcos, Veracruz, México*. 1996. 295 pp.
- INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO. *Proyecto de ordenamiento ecológico de la Cuenca Baja del río Coatzacoalcos, Veracruz, México*. 1997. 227 pp.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. *Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos 1995*. México, 1996.
- KUNTE, A. *et al.* Estimating national wealth: methodology and results. *Environmental Department Papers no. 57*, World Bank. 1998.
- LAROUSSE. *Diccionario Enciclopédico*. 1999.
- LAYARD, R. (compilador). *Análisis costo-beneficio*. México: Fondo de Cultura Económica, 1978. pp. 478.
- MARGULIS, S. Back-of-the-envelope estimates of environmental damage costs in Mexico. *Working papers 824*. The World Bank. 1992. 27 pp.
- ORTIZ RENDÓN, G. y PÉREZ SALAZAR, S. *Propuesta técnica, económica, financiera y fiscal relativa a la contaminación de las aguas generadas por la industria, en el marco de su desarrollo integral sustentable*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1995. 114 pp.
- SANTOS BURGOA, C. y ROJAS BRACHO, L. *Los efectos de la contaminación atmosférica en la salud*. Escuela de Salud Pública de México, *sinne anno*.
- SECRETARÍA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA. *Estadísticas de la Jurisdicción Regional en la Ciudad de Xalapa*. México. 1995. 16 pp.
- SECRETARÍA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA. *La situación de la salud en el estado de Veracruz 1995*. México: Sistema Nacional de Salud. Subsecretaría de Planeación. Dirección General de Estadística e Informática, 1996. pp. 23-28.
- VILLARREAL, E. *et al.* Costo en el primer nivel de atención. *Salud pública de México*. 1996, vol. 38, núm. 5, pp. 332-340.

Abstract

ROSALES CALZADA, P and BARRERA ROLDÁN, A. *Economic effects of water pollution in the lower basin of the Coatzacoalcos river, Mexico*. Hydraulic Engineering in Mexico (in Spanish). January-March, 2003, vol. 18, no. 1, pp. 75-84.

Costs and benefits associated to health effects stemmed from water pollution and water treatment were estimated for the inhabitants of the municipalities of Coatzacoalcos, Minatitlán and Cosoleacaque. Even though there is no background information for this regional analysis, this work allows to reach conclusions and important recommendations despite its limited scope. In order to calculate avoided costs, something as delicate as the value of human life was estimated using the human capital method. Comparing water treatment costs against the annual income of the three municipalities under study, costs surpass at least 4 times the income; according to this result, financially speaking, the project is totally nonviable. But with a growing population and increasing industrial activity in the region, the concentration of polluting substances in the Coatzacoalcos river can reach non-controllable levels. Therefore, the investment, although high, could be greater if no prompt action is taken. Leaving the degradation and exhaustion levels of the river as they are today, for the sake of keeping today's income, may jeopardize the possibility of income generation in the future, because no water or human capital is more expensive than that which is not available.

Keywords: cost-benefit analysis, pollution, human capital, avoided costs, water.

Dirección institucional de los autores:

Patricia Rosales Calzada

Maestra en Finanzas
Becaria
Instituto Mexicano del Petróleo
Programa de Investigación en Medio Ambiente y Seguridad
Eje Central Lázaro Cárdenas 152
Col. San Bartolo Atepehuacan
Deleg. Gustavo A. Madero
C.P. 07730 México, D.F., México.
Teléfono: + (52) 5333 7275
Fax: + (52) 5333 8067
Correo electrónico: prosales@www.imp.mx

Adrián Barrera Roldán

Doctor en Ciencias Físicas
Investigador
Instituto Mexicano del Petróleo
Programa de Investigación en Medio Ambiente y Seguridad
Eje Central Lázaro Cárdenas 152
Col. San Bartolo Atepehuacan
Deleg. Gustavo A. Madero
C.P. 07730 México, D.F., México.
Teléfono: + (52) 5333 8494
Fax: + (52) 5333 8067
Correo electrónico: abarrera@www.imp.mx