

PARAÍSO PERDIDO: UNA INTRODUCCIÓN A LA GEOGRAFÍA DE LA POLUCIÓN DEL AGUA EN PUERTO RICO

JOHN M. HUNTER Y SONIA I. ARBONA

Departamento de Geografía, Instituto de Salud Internacional, Universidad del Estado de Michigan, East Lansing, MI 48824, U.S.A. Departamento de Geografía y Ciencias de la Tierra, Universidad Shippensburg, PA, 17257, U.S.A.

Abstracto – La rápida industrialización ha transformado la economía agrícola de Puerto Rico, creando oportunidades de empleo y elevando los estándares de vida. El éxito, sin embargo, está oscurecido por la contaminación extendida que arranca la capacidad estructural necesaria para la preservación de la calidad ambiental y la salud humana. El resultado hoy en día es una crisis de los vertederos sanitarios, una herencia de vertederos tóxicos, y una de contaminación que avanza. Casi todos los ríos y los embalses están afectados, y las aguas subterráneas, las cuales se pensó por mucho tiempo estaban protegidas naturalmente, muestran evidencia de contaminación creciente. Los acuíferos cársicos están bajo un riesgo en particular. Se necesita urgentemente que el público tome conciencia y un liderazgo político inter-sectorial para contrarrestar el deterioro ambiental.

Palabras claves – contaminación del agua, calidad ambiental, gastroenteritis, salud, industrialización, urbanización, desarrollo, Puerto Rico.

INTRODUCCIÓN

...nuestro ángel invitado...Contemplando confesaré que aquí en la tierra Dios ha dispensado su exuberancia como en el cielo[1]

Con amplias playas, pesca abundante, hermosas montañas, calor tropical, lluvia y abundancia fructífera, Puerto Rico ha disfrutado por mucho tiempo sus dones naturales. Pero si el “invitado” de Milton fuera a visitar hoy día, el ángel estaría profundamente perturbado por el abuso descontrolado al medio ambiente a la herencia que era casi como el Edén.

La isla caribeña de Puerto Rico, a una latitud norte de 18°15' y una longitud oeste de 66°30', es relativamente pequeña. Sin incluir las dos posesiones mar afuera de Culebra y Vieques, cubre 8,700 km² y sus dimensiones son mas o menos 160 km de este a oeste y 55 km de norte a sud. La isla principal está dividida en 76 áreas locales de gobierno conocidas como municipios, con cuatro áreas estadísticas metropolitanas: Mayaguez, Arecibo, Ponce y Aguadilla; y un área metropolitana consolidada estadística: San Juan – Caguas (Fig. 1).

La población ha crecido en un 86% desde 1940; la población total en 1990 era de 3.5 millones, dando un promedio de densidad de 404 personas por km². Puerto Rico obviamente está abarrotada en relación a sus recursos. La presión de la población tradicionalmente se alivia por la emigración a los Estados Unidos, país con el que Puerto Rico mantiene una relación de mancomunidad.

Sin embargo, a partir de 1950, los programas de gobierno para la liberación de impuestos fueron introducidos con éxito para fomentar la industrialización y para cambiar la base de la economía de la isla de la agricultura (tales como caña de azúcar, piña, café y tabaco) a la manufactura. Una de las consecuencias de este cambio ha sido una gran migración del área rural a la urbana, especialmente al área de la ciudad capital San Juan. A su vez por la mayor congestión en la región metropolitana ha sido necesario desviar la población a pueblos más pequeños con una descentralización de la industria que la acompaña. Mientras que un 30% de la población de Puerto Rico vivía en pueblos en el año 1940, hasta el año 1980 la proporción era de 67%; y hasta 1990 el 79% de la población vivía dentro de áreas metropolitanas. Además, muchos de los residentes rurales viajan diariamente a sus empleos urbanos de manera que muy pocas áreas escapan las influencias saturantes de la urbanización. Las opiniones pueden variar sobre el alcance y calidad de los resultados, pero existe poca duda de que la estructura de la economía de Puerto Rico ha sufrido una rápida transformación desde sus viejas raíces rurales de siglos hasta la presente altamente desarrollada, moderna, industrial, manufacturera y urbanizada expresión.

Nuestro propósito es el de revisar el impacto de este desarrollo exitoso económico en la calidad de las aguas freáticas, aguas subterráneas y el suministro del agua pública; para explorar las relaciones entre el desarrollo y la contaminación del agua; y para contribuir al debate de la política y aspectos operacionales de la calidad del agua [3]. A pesar de que los efectos en la salud humana están directamente implicados en la contaminación del agua [4,5] nosotros no los consideramos aquí por la falta de evidencia de epidemiología en Puerto Rico. Nuestro enfoque mas bien es en las pre-condiciones de los efectos negativos en la salud, especialmente la contaminación del agua, en relación al proceso del desarrollo económico.

MUNICIPIOS DE PUERTO RICO

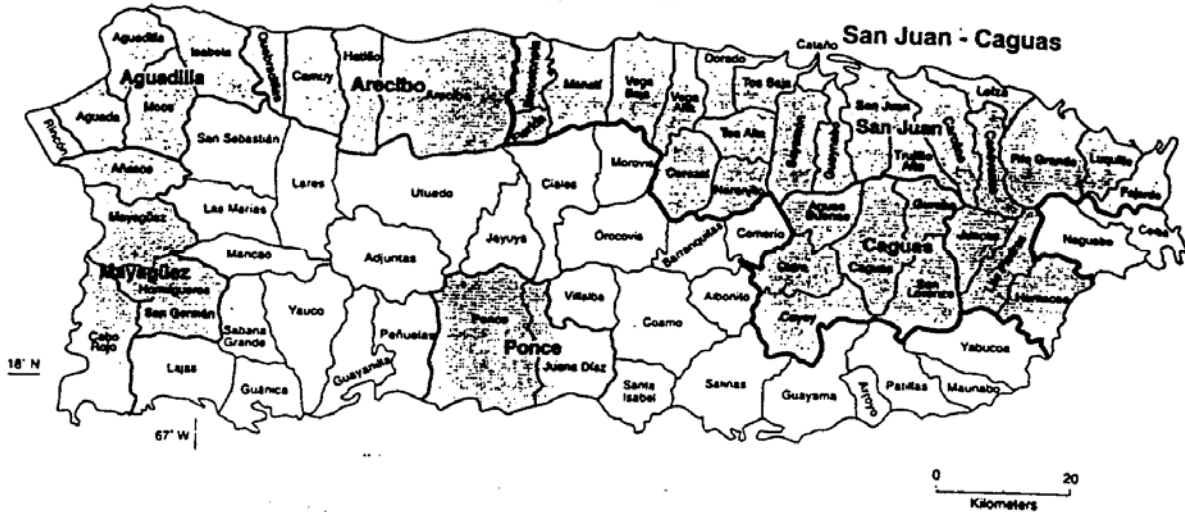


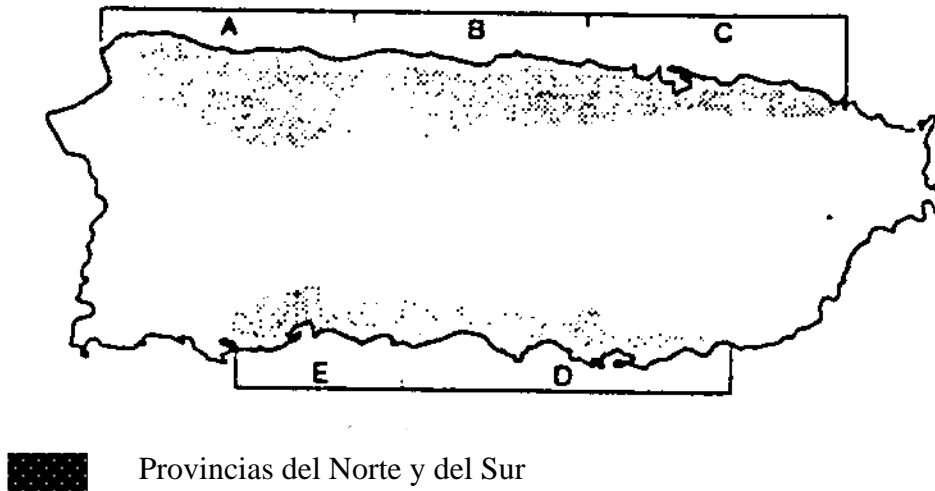
Fig. 1. Existen 76 municipios en un área aproximadamente de 160 km por 55 km que abriga una población de casi 3.5 millones de habitantes. Después del censo de 1990 [2].

EL PRESUPUESTO DEL AGUA Y EL DESARROLLO NACIONAL DEL AGUA

La cadena central de montañas de Puerto Rico está a más de 600 m sobre el nivel del mar y tiene 63 picos que están entre los 800 y 1338 m [6]. Forma una barrera contra los vientos alisios del noreste formando una sombra sobre la mayor parte de la costa sureña la cual recibe <1,140 mm de lluvia anualmente, mientras que las áreas del norte tienen un promedio de más o menos 2,030 mm. Con un promedio de lluvia estimado en 1,780 mm, Puerto Rico goza de buenos recursos para el suministro de agua. Su presupuesto de agua es de 11,600 millones de galones de agua por día (mgd) [7].

Geológicamente el núcleo central de Puerto Rico consiste principalmente de rocas volcánicas e intrusivos de fines de la Edad Cretácea y principios de la edad Terciaria. El núcleo, por el norte y por el sur, está rodeado por sedimentos clásticos de grava, arena y caliza de la edad Oligoceno y Mioceno [8]. La actividad de soluciones en la caliza de la costa norte ha resultado en una topografía madura de carso relacionadas a rocas (calcáreas) [9]. Las formaciones calizas de las costas del norte y el sur están calificadas como los principales acuíferos de Puerto Rico: en 1980 diariamente se retiraban 210 mgd o 43% del agua consumida en el área (Fig.2) [8].

Acuíferos Principales y Zonas de Retiro



Acuíferos		Millones de galones diarios en 1980		Porcentaje de Agua Subterránea
Provincia Costa Norte		Retiro de Agua Subterránea	Total de Agua Usada	
Zona				
A	Costa oeste a Río Grande de Arecibo	5	45	11.1
B	Río Grande de Arecibo a Río de la Plata	60	65	92.3
C	Río de la Plata a Río Espíritu Santo	10	160	6.3
Provincia Costa Sur				
Zona				
D	Patillas a Ponce	115	215	53.5
E	Tallaboa-Guayanilla-Yauco-Guanica	20	-	100.0
Totales		210	485	43.3

Fig. 2 La dependencia en aguas subterráneas es de un promedio del 43% y es mayor en las zonas acuíferas B y E (Después Ref. [8]).

La zona montañosa que se encuentra entre las dos provincias calizas es drenada por mas o menos 100 arroyos y ríos, y ha sido modificada extensivamente para el almacenaje de agua para energía, irrigación y suministro público. La primera estación hidroeléctrica fue abierta en 1907 seguida por dos mas en 1913 incluyendo Carite [Fig. 3 (a)]. En 1913-14 cuatro embalses de irrigación fueron completadas estas incluyen Guayabal, Coamo y Patillas, y una serie de canales complejos fue desarrollada para riego de la caña de azúcar. Además, se construyeron embalses para la agricultura en Guajataca en 1928, Ana María en 1939 y la última en 1951 en Loco [Fig. 3 (a)]. Conjuntamente existen ocho embalses de riego que sirven las áreas de sombra de lluvias (rainshadow) de Puerto Rico [7,10,11].

Las agencias gubernamentales que promueven el desarrollo del agua, con la asistencia del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, son la Autoridad de Tierras (para El riego), la Autoridad de Energía Eléctrica (hidroeléctrico) y la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (suministro público). De un total de 29 estanques en la isla, 15 generan electricidad y 6 mantienen el suministro público. Los embalses hidroeléctricos más grandes son Caonillas y Dos Bocas de 46,000 y 30,420 acres-pies respectivamente. Toa Vaca, 56,000 acres-pies, Loiza, 24,000 acres-pies y La Plata, 23,000 acres-pies son los embalses más grandes de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados.

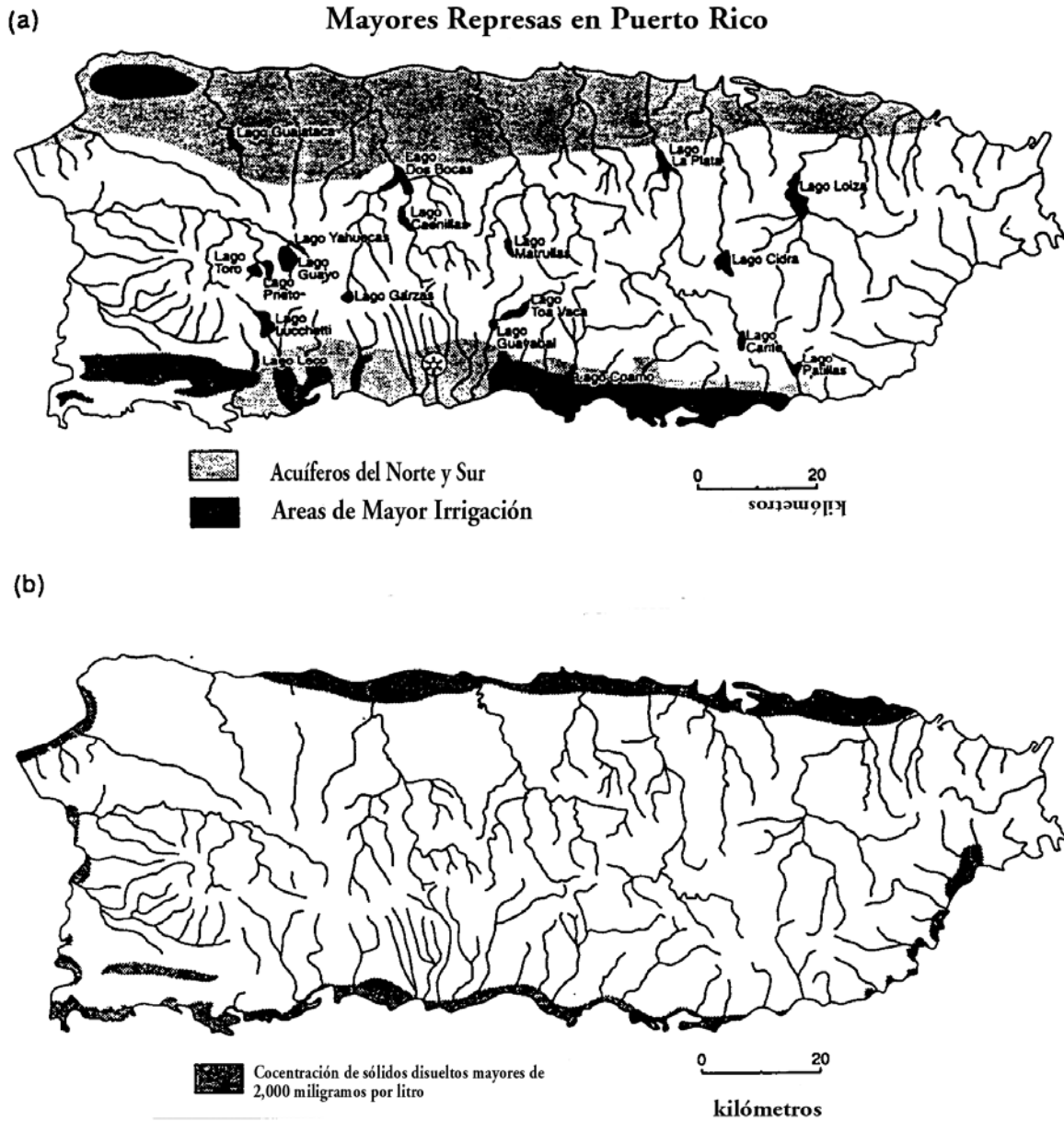


Fig. 3 (a) La lluvia varía de entre 2,000mm anualmente en el norte a 1,000mm en el sur donde se practica El riego extensivamente. Una política de desarrollo hidrológico ha creado 29 embalses para energía hidroeléctrica y suministro público de agua, esto deja pocos sitios buenos de explotación. La sedimentación y eutroficación son problemas mayores. La estrella indica un complejo nuevo de embalses (después Refs. [10, 11]). (b) Invasión de aguas saladas (después Ref [14]).

[Fig. 3 (a)]. Como un reflejo del paso acelerado del desarrollo económico en Puerto Rico, no menos de 20 embalses fueron construidas en un período de 29 años, 1928-1956, lo que da un promedio de una represa completada cada 17.2 meses. Los embalses que apoyan el suministro público fueron completados en 1943 (Garzas), 1946 (Cidras, Las Curias) y 1954 (Loaiza que también se lo conoce como Carraizo). Veinte años pasaron antes de la

construcción de Toa Vaca en 1972 y La Plata en 1974. La adición más nueva, el complejo de dos embalses Cerrillo-Portugués, que está llegando a su terminación (1994), esta traerá alivio contra las inundaciones, energía hidroeléctrica, y agua potable para Ponce [12] [Figs. 1 y 3 (a)]. Sin incluir Cerrillo-Portugués, la capacidad total combinada de almacenaje de todos los embalses llega a 44,000 acre-pies en 1914; fue expandida a 240,000 acre-pies durante el período de crecimiento de 1928-1956, un aumento de 5.5 veces; llegando a 319,000 acre-pies con la terminación de los dos últimos embalses en 1972-74 [7,11]. Estimados de 1987 indican un total de extracción de agua de 598 mgd de aguas freáticas y subterráneas, de los cuales 391 mgd o sea el 65% van para el suministro público. El total para el uso doméstico y comercial es de 66% de la extracción seguido por el uso para la agricultura con 28% (Tabla I) [7]. Con la densidad de los embalses en la Isla ya llegando a un punto de saturación, y con los mejores sitios hidrológicos ya ocupados, la demanda de agua sigue creciendo hasta tal punto que el suministro ya no es suficiente.

El éxito industrial de Puerto Rico, con sus acompañantes expansiones municipales, también ha ocasionado un uso insaciable de sus aguas subterráneas. A través de la Isla, el número de pozos de agua se elevó de 2,882 en 1964 a 4,215 en 1986 de los cuales 1,556 estaban ubicados en la costa noroeste de caliza [13]. Inclusive cuando se incluyen los pozos abandonados y destruidos, este inventario refleja elocuentemente la gran dependencia del desarrollo económico en los recursos de aguas subterráneas.

Pero, al igual que los embalses, las extracciones de los acuíferos también están declinando debido a la contaminación y el cierre de los pozos. Los acuíferos de caliza producían 210 mgd en 1980 (Fig. 2) comparados a solo 175 mgd siete años después en 1987 de un área que incluye acuíferos de caliza como también aluviales – una disminución del 17% (Tabla 1). Las extracciones de aguas subterráneas, como una proporción total del agua utilizada en la zona, varía desde un valor bajo del 6.3% en la Zona C (Fig.2) donde la contaminación industrial – urbana ha causado numerosos cierres de pozos, hasta el 92% en la Zona B. Otro factor en la pérdida de acuíferos es la penetración de agua del mar debido al alto bombeo en las áreas de la costa [14] [Fig. 3 (b)]. Estas y otras influencias en la pérdida de agua son consideradas más adelante.

La mala conservación de la tierra, prácticas de agricultura sin miras al futuro, y la construcción continuada de viviendas en cuencas hidrográficas, ocasionan una gran sedimentación de los embalses de tal forma que reducen seriamente su capacidad de almacenaje. La capacidad de Dos Bocas (Fig. 3) por ejemplo, declinó de 30,420 acre-pies en 1942, cuando fue completada para producir energía hidroeléctrica, a 19,620 acre-pies en 1985 – una reducción del 35%. El promedio de sedimentación es del 0.83% por año de la capacidad original, pero esta tasa está aumentando, a la tasa de pérdida de los seis últimos años (600 acre-pies por año) las estimaciones de su vida útil restante han sido revisadas de 78 años a 32 años [15]. La situación en Loaiza (Fig. 3), el embalse para el suministro de agua pública, es aún mas seria. La capacidad de almacenaje ha declinado de 21,700 acre-pies en 1953 a 10,100 acre-pies en 1985 – una reducción del 53%. El promedio de sedimentación es del 1.8% por año de su capacidad original. Bajo condiciones óptimas, la vida útil restante se calcula en 23 años. Sin embargo, eventos de tormentas, inundaciones y el aumento en el desarrollo de la agricultura y desarrollo urbano, los cuales aceleran la

sedimentación, están disminuyendo aún mas la vida del embalse. Los efectos del Huracán Hugo en 1989 no se han estimado pero sin duda serán severos.

Las pérdidas en el transporte debido a problemas de mantenimiento son también una gran fuente de presión en el suministro de agua pública, en 1987, 391 mgd se extraían del suministro público pero solo 221 mgd fueron suministrados a los consumidores representando una pérdida del 43%. Las pérdidas de agua del sistema de suministro público en Puerto Rico fueron estimadas en el 41% de la producción en 1960, y más o menos 50% en 1985 [7]. Los sistemas públicos de suministro entregaron 10% menos agua en 1985 que en 1980 sin tomar en cuenta el aumento en población. Fuera de las pérdidas durante la entrega, la producción de agua está también declinando. Las últimas estadísticas demuestran una reducción del 4.3% de 415 mgd en 1987-88 a 397 mgd en 1989-90 [17].

El sector de agricultura utiliza el 28% del suministro de agua (Tabla 1). El riego es mayor a lo largo de la costa sur que es más seca (Fig. 3) para la caña de azúcar, legumbres y arroz. Específicamente, la producción de caña de azúcar ha caído de 10,501 millones de toneladas en 1951 a 1271 millones de toneladas en 1985, y en los últimos 25 años el uso del agua para el riego ha disminuido por el 42% [7]. Pero el ahorro en el agua logrado de esta forma, ha sido mas que contrarrestado por el aumento en el consumo de las urbanizaciones industriales.

La abundancia de los recursos de agua fue originalmente una de las atracciones utilizadas por el Gobierno de Puerto Rico para promover nuevas industrias en la isla. Pero hoy en día el suministro de agua es insuficiente, y continua disminuyendo debido a la necesidad que aumenta. El problema más grande, sin embargo, no es la cantidad de agua pero su calidad. Irónicamente el éxito de la política de la isla en la industrialización y urbanización produce el deterioro del medio ambiente, y ahora la contaminación del agua amenaza la salud pública.

DEFASE INFRA ESTRUCTURAL, ALCANTIRALLADO Y CONTAMINACIÓN BACTERIOLÓGICA

En su estudio de agua del año 1984 en Puerto Rico, el USGS informó que 54 de 67 estaciones de muestreo en los ríos (81%) excedieron los niveles máximos de contaminantes microbiológicos (MCL) para las aguas de recreación: 1,000 colonias de coliformes fecales por 100 ml de aguas servidas [18]. En el siguiente año, 72 estaciones fueron analizadas para

Tabla 1, Fuentes y Uso de Agua en Puerto Rico, 1987

		Millones de galones/día	
		(mgd)	%
Fuente	Agua Superficial	423	70.7
	Agua subterránea	175	29.3
	Total	598	100 %
Uso	Doméstico, comercial	396	66.1
	Industrial	31	5.1
	Térmico eléctrico	6	1.1
	Agricultura	165	27.6
	Total	598	100%
Suministro público	De la superficie	307	78.5
	Del suelo	84	21.5
	Total	391	100%

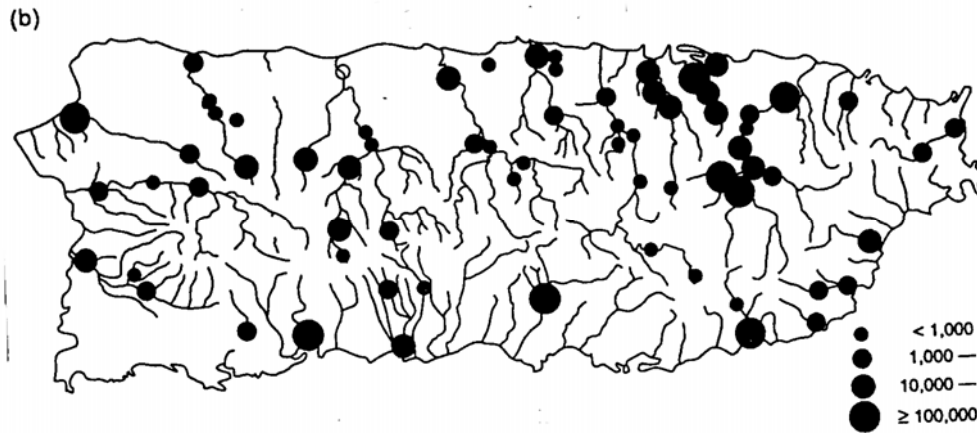
Fuente USGS Sumario Nacional de Agua, 1987 [7].

(a) **Concentraciones Máximas de Coliformes Fecales**
Aguas Superficiales 1984 – 85



Colonias por 100 ml de aguas servidas en el sitio de muestreo.

(b) **Máximas Concentraciones de Estreptococos Fecales**
Aguas Superficiales 1984 – 85



Colonias por 100 ml de aguas servidas en el sitio de muestreo.

Fig. 4. Los arroyos superficiales están extremadamente contaminados especialmente en áreas urbanas; el peor sitio se eleva a 5.7 millones de colonias coliformes. El cálculo de estreptococos fecales es por lo general más o menos del 20% del cálculo de coliformes fecal. Cuatro de cinco sitios analizados están demasiado contaminados para el uso de recreación de acuerdo a los estándares de la EPA. (después Ref. [10]).

coliformes fecales y estreptococos fecales, y los resultados fueron virtualmente idénticos: 82% de las estaciones excedieron el estándar para la recreación, 88% excedieron el estándar de aguas superficiales (200 colonias) y 100% estaban en violación de los estándares de agua potable (Fig. 4, Tabla 2) [10].

Ya que los coliformes son reconocidos en los Estados Unidos como el indicador estándar de contaminación fecal reciente, se cree que las muestras de aguas están enormemente contaminadas por desperdicios humanos. En este contexto es necesario hacer notar que recientes estudios en Puerto Rico y en otros lugares revelan que las temperaturas de ambiente tropical y la humedad pueden resultar en un cálculo alto de coliformes (incluyendo *Escherichia coli*) en bosques primarios no afectados por la ocupación humana. *E. Coli* inclusive se encuentran entre epífitas que crecen a 10 m de altura sobre el piso de los bosques. (¿Se podría sospechar de los primates?). Otra evidencia sugestiva también se encuentra en la Costa de Marfil, Hawaii y Brasil. Por lo tanto, los cálculos de bacteria coliforme, que se utilizan para las evaluaciones en latitudes templadas, deben ser interpretadas con algo de cautela en los trópicos [19-21]. Al mismo tiempo, en uno de los estudios de campo en Puerto Rico, las densidades de bacterias fueron positivamente correlacionadas con los niveles de nutrientes en el agua, en particular nitratos y fosfatos, indicadores comunes de la actividad humana, y ciertamente las densidades más altas de bacterias fueron encontradas en las desembocaduras de aguas servidas, nuevamente implicando la influencia humana [19]. En su totalidad, pensamos que los niveles de bacteria en el agua pueden ser reconocidos como indicadores ambientales válidos de contaminación humana, particularmente donde los cálculos son altos.

En 1984-85, la media de coliforme fecal y el cálculo de estreptococos fecales de 72 estaciones en la isla fue de 259,000 y 50,000 colonias respectivamente (Tabla 2). Estación por estación, el último parámetro era regularmente el 20% del primero. Calculamos que la relación estadística entre los pares de lecturas en los 72 sitios es: $Y = 0.601 + 0.783x$ ($R=0.874, R^2=0.764, P=0.000$) donde $y = \log \text{ coli}$ y $x = \log \text{ estreptococos}$. Esta conexión tan fuerte sugiere la utilidad de los estreptococos fecales al ser utilizados como una medida de contaminación, a pesar de que los estándares oficiales de calidad de agua no han sido establecidos.

Patrones geográficos de contaminación bacteriológica fuertemente favorecen las áreas urbanas (Fig. 1). El cálculo máximo de coliforme fecal de 5.7 millones de colonias por 100 ml de aguas servidas se encuentra en la cuenca del Río Chico en Patillas [Fig. 4 (a)]. Otros tres sitios, cada uno de ellos sobrepasando un millón de colonias, están ubicados en la región metropolitana de San Juan en:

- (1) Río Hondo, Cataño, 1.5 millones de colonias
- (2) Quebrada Blasina, Carolina, 1.7 millones de colonias
- (3) El notorio arroyo de San José una alcantarilla abierta (open sewer) que vacía en la Bahía de San Juan, 3.3 millones.

Trasladándonos al siguiente orden de magnitud (sobre 100,000 colonias y bajo un millón) se puede ver igualmente la influencia urbana. De las 11 estaciones en esta categoría, seis están ubicadas en áreas metropolitanas: Bayamón (dos), San Juan (dos), Caguas y Ponce, y las restantes se encuentran cerca de centros urbanos más pequeños [Fig. 4 (a)].

El patrón de contaminación por estreptococos fecales demuestra aún una influencia urbana mas fuerte [Fig. 4 (b)]. Un total de siete estaciones exceden cálculos de 100,000 y otras 16 estaciones reportan mas de 10,000 colonias y menos de 100,000. Entre estos 23 sitios altamente contaminados, 12 se encuentran en áreas metropolitanas, tres mas están ubicados al oeste del área de la capital en los municipios urbanizados de Vega Alta, Vega Baja y Manatí (Fig.1).

El patrón general de contaminación fecal en Puerto Rico es evidente: los peores sitios están localizados cerca de zonas urbanas, parques industriales y suburbios residenciales que no tienen servicio local de sistemas de alcantarillado. Estos últimos en particular se reconocen como los mayores culpables. La urbanización con la industrialización ha sido tan rápida que ha creado un desfase en la provisión de servicios de infraestructura: conexiones domésticas no autorizadas siempre exceden la capacidad ya saturada de la planta. Por lo tanto en la mayoría de las instalaciones de alcantarillado, el suministro de desperdicios humanos arranca la capacidad de tratamiento y como consecuencia las aguas servidas son descargadas a los arroyos. El riesgo para la salud humana es obvio.

Durante varios años, debido a las deficiencias en la operación, la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico (PRASA, Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority) ha estado sujeta a acción judicial por la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency EPA), y muchas de sus instalaciones funcionan solamente bajo orden Judicial. En 1987, por ejemplo, 32 de las 66 plantas de alcantarillado de la PRASA (48%) estaban sujetas a orden judicial [22]. En 1990, 54 plantas (82%) estaban bajo jurisdicción judicial [23]. Múltiples violaciones en la forma de descargas ilegales de aguas servidas, son penalizadas con multas cuantiosas. En un período de 30 meses, en 1989-91, estas multas excedieron \$3 millones o \$100,000 por mes [24].

Los problemas son múltiples, pero esencialmente reflejan una falta de planeamiento infraestructural y de inversiones. El rápido crecimiento de complejos urbanos y parques industriales en los años 60 y 70 no tuvieron uniformidad en sus sistemas de alcantarillado y la ausencia de regulaciones Federales y gubernamentales locales efectivas. En las áreas centrales urbanas, el diámetro de las tuberías muy pronto fue declarado demasiado estrecho y obsoleto en relación con la demanda, pero permanecen demasiado costosas para ser reemplazadas. Las alcantarillas de la playa El Condado de San Juan, construidas en 1955 antes de la construcción de los hoteles casinos turísticos, están recargadas de manera que el uso de la playa para recreación es peligroso bacteriológicamente [22]. Con un sin fin de conexiones de alcantarillas en los suburbios, las plantas reciben más aguas residuales de las que pueden procesar. Las plantas de tratamiento aún más grandes como las de Dorado y Bayamon (Fig.1) funcionan solamente a una tercera parte de su capacidad debido a la falta de recursos.

Una orden judicial prohíbe nuevas conexiones al sistema y por lo tanto ensombrece aún

Tabla 2. Contaminación de las aguas superficiales por bacteria fecal en Puerto Rico, 1984-85

Concentración máxima de colonias por 10 ml de aguas servidas	Coliforme fecal estaciones de muestreo		Estreptococo fecal Estaciones de muestreo	
	N =	%	N =	%
Bajo 100	7	9.7	10	13.9
100-	6	8.3	18	25
1000-	21	29.2	21	29.2
10,000-	23	31.9	16	22.2
100,000-	11	15.3	7	9.7
1,000,000 y más	4	5.6	0	0.0
Total	72	100%	72	100%
<i>Número de colonias</i>				
Media	258,676		50,495	
± SD	817,710		150,434	
Max	5,700,000		920,000	
Min	4		12	

Fuente: Cálculo del Año Agua de USGS 1985 [10]. Estándares: *Agua potable*: 1-4 colonias de coliforme fecal; media 1 por mes. *Agua superficial*: media geométrica de coliforme fecal que no exceda 200 colonias, o 400 colonias si no fueran mas del 20% de las muestras. *Agua para recreación*: <1000 colonias de coliforme fecal. No hay estándares para estreptococos fecales.

más el crecimiento industrial y residencial. En Aguas Buenas (Fig.1), por ejemplo, no ha habido nuevos proyectos de vivienda en los últimos 14 años. Con una tasa de desempleo del 30%, de acuerdo a lo que dice el alcalde, el municipio se está estancando. El alcantarillado inadecuado está a menudo asociado con la insuficiencia del suministro de agua potable. El suministro de agua de Aguas Buenas se estima que solo supe una décima parte de la necesidad, y algunos barrios rurales no tienen agua hasta durante 15 días. Antes conocidos por sus aguas puras, los arroyos montañosos de Aguas Buenas ahora están contaminados, y los habitantes tienen que recurrir a recolectar agua de lluvia. [25].

El monitoreo bacteriológico del gobierno federal de las plantas de tratamiento de aguas servidas indica que el 54% son menos que satisfactorios en 1991 comparados con el 97%, que se dio en el primer informe Federal de monitoreo en 1981 [24]. Esta mejoría ha sido efectuada por el cierre del 48% de instalaciones de tratamiento de 88 a 46 en la actualidad [24]. Las 42 plantas que se han cerrado por lo general son pequeñas, y PRASA está enfocando sus esfuerzos a la renovación y remodelación de los centros de tratamiento más grandes. Se han hecho algunas mejorías, pero hasta Octubre de 1991, 44 siguen bajo la jurisdicción Federal de monitoreo, y en la región Humacao, solo cuatro de 16 plantas de alcantarillado pasaron la inspección [26]. Hasta 1994, 41 plantas de alcantarillado permanecen bajo orden judicial, y la mayoría de las otras 37 plantas que funcionan independientemente están tácitamente reconocidas por estar fuera de cumplimiento reglamentario (Rafael Ríos, Monitor de la EPA, comunicación personal, 5-2-94). Falta el soporte financiero para una pronta revisión del sistema. Su antigüedad ahora es una barrera

para el crecimiento y desarrollo sólido. El precio del descuido infraestructural del pasado es la súbita contaminación del agua, como es evidente por el muestreo de los ríos. (Fig. 4).

GASTROENTERITIS EPIDÉMICA

La ocurrencia reportada de 7,800 casos en Comerio (Fig.1) en 1977 primero captó la atención del público al fenómeno de brotes epidémicos de fiebre con gastroenteritis aguda [19]. Se llegó a la conclusión que la enfermedad en la comunidad se debía a la mala cloración y contaminación general bacteriológica de las aguas superficiales. El mismo año, unos 14,000 casos fueron reportados a través de toda la isla por el Departamento de Salud Pública; y a estos se pueden aumentar muchos casos tratados por doctores privados pero que no fueron reportados.

Brotos similares han ocurrido de tiempo en tiempo desde entonces, en varios municipios, el último afectó a 9,000 personas en Las Piedras (Fig.1) en agosto de 1991 [27]. Los casos de gastroenteritis aguda que se reportaron, a través de la isla, aumentaron anualmente de 24,000 en 1983 a 62,000 en 1987 [28]. El aumento rápido en el reportaje puede ser un artefacto de la creciente percepción de la comunidad y que la política está tomando conciencia sobre la contaminación del agua. El contagio se puede realizar por el consumo de comidas o bebidas, o por medio del contacto de una persona con otra, pero parece estar claro que el agua contaminada está creando los brotes generalizados; y que las plantas de tratamiento están muy implicadas.

Un estudio piloto realizado por el Departamento de Salud de 1,471 casos reportados, en los 11 municipios de la región de salubridad de Bayamos en 1987, determinó que solo el 18% de los casos eran significativos para la salud pública [20]. En esta investigación, la definición de un caso era "ajustado", y solo el juicio clínico fue descartado y reemplazado por dos criterios: dos deposiciones líquidas en 24 horas y una temperatura de 37.7° C (100°F) o más elevada. La reducción consecuente del reportaje oficial puede servir para ensombrecer la alarma comunitaria sobre una preocupación que se ha hecho políticamente sensible. Por ejemplo, cuando la Asociación de Químicos de Puerto Rico aconseja a la gente hervir el agua, la réplica del Gobierno es que el público está siendo alarmado innecesariamente [29]. En el brote de Bayamon, el 66% de los casos fueron en niños menores de 10 años. Los resultados de laboratorio revelaron salmonella, shigella, *Staphylococcus aureus*, *E. Coli*, rotavirus, campylobacter y agentes etiológicos protozoicos [30].

Otro brote de enfermedad relacionada con el agua ocurrió en 1987 cuando el virus Coxsackie (variante de A24) entró a Puerto Rico de las islas vecinas de Trinidad, St., Croix y Jamaica donde había causado epidemias el año anterior [31, 32]. Subsecuentemente fue a invadir México y Panamá. Con un período de incubación corto de uno o dos días, este virus causa brotes explosivos de conjuntivitis hemorrágica aguda (AHC), una enfermedad de los ojos. Resulta en que los ojos se pongan rojos, lagrimeen, una sensación de que existiera un cuerpo extraño en el ojo, hemorragia subconjuntival, foliculitis de los párpados e hinchazón de los párpados. La enfermedad es aguda pero una mejoría ocurre en más o menos siete días [3].

La transmisión se efectúa por el contagio de una persona a otra, de la mano al ojo, y por el contacto con “fomites” (ej. toallas contaminadas). Las áreas socio económicas bajas son las más afectadas. Medidas públicas de salud ponen énfasis en la prevención por medio de buenas prácticas de lavarse las manos. Un total de 31,772 casos fueron reportados oficialmente a través de la isla en Puerto Rico, en cinco meses, junio - octubre 1987 [31]. Un brote particularmente agudo de más de 2,000 casos se reportó en el pequeño municipio de Aguada (Fig.1 [29]). Con solo el 1% de la población de la isla Aguada sufrió el 6% de los casos reportados. Una subsecuente investigación reveló que rupturas de las tuberías de suministro de agua en la comunidad ocasionaron la falta de agua potable por un período de seis días, de esa forma promoviendo la propagación de la enfermedad.

En el mismo año, un brote de gastroenteritis aguda en Yauco (Fig. 1) resultó en 800 casos reportados en tres barrios rurales. El *E. Coli* fue identificado como el principal patógeno, y una inspección reveló la existencia de 3 roturas de tuberías y otras fallas en el sistema de distribución de agua [33]. Con una falta de confianza en el agua pública, algunas personas en Puerto Rico consumen agua mineral importada de Francia y Argentina; y muchas más compran agua embotellada de manantiales de Ponce (Fig. 1) por \$0.98 por galón (3.785 l). En el debate sectorial infraestructural que ha brotado sobre la gastroenteritis comunitaria, la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (PRASA) niega culpabilidad y desafía la evidencia del Departamento de Salud.

Brotos de Gastroenteritis Reportados en 1987

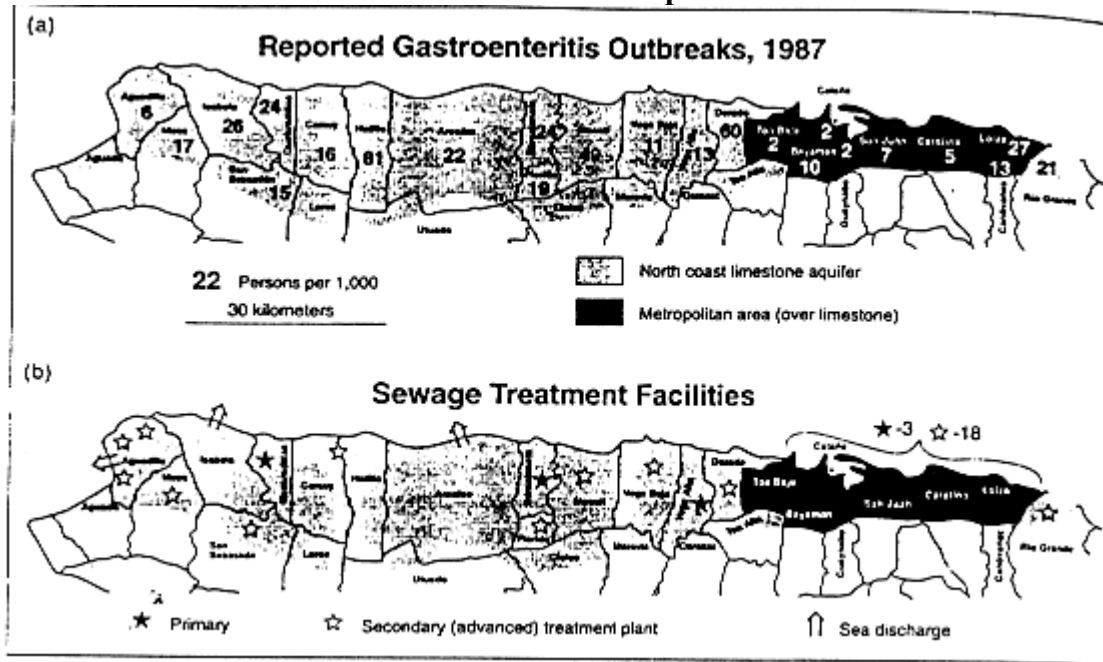


Fig. 5. Las tasas más bajas reportadas de gastroenteritis aguda están en el área metropolitana la que está suministrada por embalses distantes, y más altos en áreas rurales que utilizan acuíferos locales. La evidencia sugiere la contaminación fecal a través de la piedra caliza. La descarga de aguas servidas en agujeros de desagüe es un mecanismo conocido. Datos de Refs [17, 37].

Los investigadores de campo del Departamento de Salud en el brote de 1991 de Las Piedras (Fig.1) concluyó que la enfermedad estaba positivamente asociada con la cantidad de agua

de tubería consumida. Sin embargo, la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados expresó que su planta de filtración adyacente de Humacao (Fig. 1) había sido probada negativa a través de todo el año. El alcalde de Las Piedras, respondieron, había soltado agua de tanques contaminados durante una reciente experiencia de sequía [24, 27, 34]. Cual sea la resolución, la realidad de brotes que continúan no puede ser negada.

Inclusive los acuíferos profundos y puros cársicos de la costa del norte no son inmunes a la contaminación fecal bacteriológica. El pequeño municipio de Florida (Fig.1) ofrece una ilustración del proceso. Durante un brote comunitario de gastroenteritis aguda en 1985, se descubrió que la fuente de infección era la estación de bombeo para el suministro de agua al público la cual sacaba el agua del acuífero cársicos. Cuando el pozo fue cerrado, la epidemia disminuyó (Echoes of John Snow [35]). Por supuesto, el dilema aún permanecía sobre el origen de los contaminantes fecales. La respuesta resultó ser la instalación de tratamiento de aguas servidas. Por el rápido crecimiento de la población del municipio, el suministro de desperdicios humanos excedió la capacidad de la planta. Construida en 1964 con una capacidad de biofiltración de 0.167 mgd, el flujo diario actual de 0.400 mgd era 2.4 veces más grande que la capacidad de la infraestructura existente [17]. Por lo tanto las aguas servidas eran periódicamente descargadas por la planta de tratamiento al pozo cársicos que estaba convenientemente situado adyacente a la planta y por lo tanto al suministro subterráneo de agua potable. El pozo público, a una distancia de un poco más de 1 km y 61 m bajo la superficie, fue cerrado en 1985, sus aguas no apropiadas para el consumo por humanos. Otros pozos pueden estar en peligro. La planta culpable del mal tratamiento de aguas servidas fue cerrada por el Departamento de Salud en 1989 bajo la jurisdicción de la corte, y probablemente no volverá a ser abierta bajo los nuevos planes regionales.

Vega Alta (Fig. 1) provee un buen ejemplo de la ineficacia infraestructural o falta de servicios bajo las condiciones de un crecimiento rápido. De acuerdo al Alcalde Manuel Chinera Marrero, su planta de aguas servidas, fue construida en los años 50 para 3,000 personas cuando Vega Alta era un pueblo agrícola. La planta, subsecuentemente fue expandida, ahora soporta una población de 10,000 habitantes. Sin embargo, inclusive esta mayor capacidad puede solo servir a una fracción de la necesidad total e inevitablemente las aguas servidas son rutinariamente descargadas al río [36]. Las conexiones de alcantarillado existentes, aunque se las mantenga completamente, cubrirían solamente un 27% de la población de 1990 del municipio. Por lo tanto, más allá del riesgo de plantas que rebalsan, existe un riesgo aún más grande de contaminación bacteriológica de las residencias que no están conectadas.

Basados en un total de 61,791 casos de gastroenteritis aguda reportados por el municipio y el Departamento de Salud en 1987 [37], estimamos una tasa cruda de 19 por 1,000 de población para la isla pero solo siete para el área Metropolitana de San Juan (Tabla 3). Concluimos que el área metropolitana tiene los suministros de agua mejores protegidos, con tasas de gastroenteritis que varían entre 2 y 13, con la excepción de Loaiza con 27 [Fig. 5 (a)]. La tasa media para la región metropolitana del norte cársicos es de 25 (Tabla 3). Esto es igual al resto de Puerto Rico y sugiere una falta de protección en los acuíferos contra la contaminación biológica.

Tabla 3. Brotes agudos de gastroenteritis en Puerto Rico, 1987

Región	Casos reportados	Población	Tasa por 1000
San Juan Area Metropolitana	7,317	1,034,987	7.07
Resto cársicos Norte	12,825	509,513	25.17
Resto de Puerto Rico	41,649	1,652,020	25.21
Total para Puerto Rico	61,791	3,196,520	19.33

Fuente: Calculado por los autores de los casos reportados por el municipio en 1987. Datos cortesía del Departamento de Salud [37].

Significativamente el área metropolitana, con las tasas más bajas de gastroenteritis, utiliza suministros de agua por tuberías de embalse en lugar de aguas subterráneas locales; su consumo acuífero es de solo 6% en comparación con el 92% en al área de Arecibo-Manatí (Zonas B y C Fig. 2).

Hacia el oeste, sobre la costa norte cársicos, se ven tasas altas de gastroenteritis aguda en Dorado, 60; Manatí, 49; y Hatillo, 81; a pesar de suministros de agua subterránea protegidos naturalmente [Fig. 5 (a)]. Cualquier correspondencia estadística que pueda ser sospechada entre la tasa de ataque y las instalaciones de tratamiento de aguas servidas no puede ser determinada con precisión debido a la falta de información técnica sobre las conexiones de alcantarillas y capacidad de las plantas. Sin embargo, la sobre carga de la población en las instalaciones puede ser reconocida como un factor para las enfermedades, especialmente fuera de San Juan. La región metropolitana, con 21 plantas de tratamiento, tiene suministros de agua mejor protegidos [Fig. 5 (b)]. Si Arecibo e Isabela fueran excluidas por sus descargas al mar, y las poblaciones de Camuy y Hatillo fueran agregadas por que son servidas por una planta de tratamiento, quedan un total de 12 municipios no metropolitanos cársicos (Tabla 4). Cuando se los ordena en dos grupos de acuerdo al tamaño de la población, bajo 20,000 y sobre 20,000, el último grupo muestra una tasa más alta de enfermedad y esto sugiere una sobre carga de las instalaciones de tratamiento. Los grupos más grandes de población (y los que están creciendo más rápidamente) tuvieron una tasa promedio de gastroenteritis aguda del 61% más alta que aquella en municipios más pequeños: 18-29 por 1,000 (Tabla 4). Sin embargo, el significado estadístico es muy débil y obviamente, además del rebalse de las plantas de tratamiento de aguas servidas, muchos factores pueden contribuir a un brote comunitario de gastroenteritis.

Desde 1987 dos brotes notables fueron reportados en Puerto Rico, ambos en agosto de 1991, uno de 202 casos en una penitenciaría, el otro de 9847 casos en el sistema de agua de una comunidad. Conjuntamente, estos brotes hicieron un total de un 78% de todos los casos en los Estados Unidos reportados en 1991 [38]. Explicaciones parciales incluyen la reanudación de suministro de agua después de una interrupción debido a una sequía, descargas de desperdicios en el río de fuente, falta de clorinación y filtración y el lavado insuficiente del agua antigua en las tuberías y los tanques. Otras posibles fallas del sistema de distribución incluyen las conexiones cruzadas, sacado a sifón hacia atrás y contaminación de las cañerías matrices durante reparaciones y construcción. Los agentes etiológicos no fueron identificados, pero fue reportado que parásitos protozoicos que nacen en el agua, bacteria y virus tienen como resultado la gastroenteritis, meningoencefalitis, otitis, conjuntivitis, faringitis y otras enfermedades agudas [38].

Tabla 4. Instalaciones de tratamiento de aguas servidas y brotes reportados de gastroenteritis en piedras calizas del norte en 1987 (excluyendo el área metropolitana)

Instalación de Tratamiento de Aguas Servidas	N = Municipios	Casos de gastroenteritis reportados por 1000 de población
Bajo 20,000	4	18,275±8.403 (variación 6.2-24.2)
20,000 y más	8	29,538±19,756(variación 11.1-58.99)

Nota: Muestras independientes $t = \text{test } P = 0.200$.

LA CRISIS DE LOS VERTEDEROS

Con su crecimiento económico y su alto estándar de vida (para el Caribe) Puerto Rico genera grandes cantidades de desperdicios sólidos: papel, cartón, plástico, botellas de vidrio, metales, legumbres y restos de comida, típicos de la llamada sociedad de consumo. Según estimados de la Autoridad Para el Manejo de los Desperdicios Sólidos en 1988, esto llegaba a un total de 5,700 toneladas por día [39, 40]. La proyección hasta el año 2000, indica que la carga total de desperdicios sólidos será de 6,684 toneladas por día de las cuales 59% vendrá de 12 a 16% de los municipios (en orden de tonelaje): San Juan, Bayamón, Ponce, Carolina, Caguas, Mayagüez, Guayanabo, Arecibo, Toa Baja, Vega Baja, Aguadilla y Humacao. Solamente los últimos tres se encuentran fuera de estándares metropolitanos de áreas estadísticas. (Fig.1). La generación de desperdicios sólidos variará entre 2.4 lb por persona por día en los municipios más pequeños, y 4.6 lb en los municipios más grandes, hasta 4.9 en San Juan con una media a través de la isla de 4,143 lb por persona por día [41].

Históricamente, cada uno de los 76 municipios tenía su propia área designada para descartar los desperdicios. Algunos, tales como Comerío, no tenían nada más que fosas de incineración (crematorios) que ahora están abandonados. Otros, como Caguas, desarrollaron un sitio grande para desperdicios sólidos que ahora está lleno y sellado, de manera que los desperdicios locales deben ser transportados a otro lugar. Hasta 1988, 15 municipios no tenían vertederos para desperdicios sólidos, y los restantes 61 municipios con vertederos enfrentaban una crisis de expectativa de vida. La cesión de muchos es inminente: 49% estarán al tope de su capacidad en 0-5 años; 63% expirarán en 0-10 años; y solo para el 5% el horizonte de tiempo excede 20 años (Tabla 5, Fig. 6).

El vertedero de San Juan visible en el terreno plano que antes era un pantano de la costa, es ilustrativo. Por falta de espacio para expansión horizontal, continúa creciendo verticalmente. Ha llegado la altura máxima permisible de 22 m en varios lugares, sin embargo recibe más de 1,000 toneladas de desperdicios cada día. La tubería principal de suministro de agua está tendida por debajo de este vertedero y se teme que lixiviaciones tóxicas contaminen el agua [42]. La situación rápidamente está llegando a convertirse en una dificultad insuperable. Solamente en este sitio, se estima que la rehabilitación costará unos \$29.7 millones. Un incinerador propuesto enfrenta la oposición de grupos ambientales y de los vecindarios más afluentes. La economía para la producción de electricidad térmica, utilizando los desperdicios sólidos, no está todavía resuelta. La ciudad estima un precio de venta de 6 centavos por kW/hr en comparación con el precio de 4.3 centavos de la

Autoridad de Energía Eléctrica [40]. La basura, el producto de la modernización, se hace más cara de procesar, y ahora impide el desarrollo.

Tabla 5. Espectativa de vida de los vertederos municipales, 1988

	<i>N</i> =	%
Municipios sin vertederos	15	19.7
Municipios con un vertedero	61	80.3
Total	76	100
<i>Espectativa de vida de los vertederos</i>		
0-5 años	37	48.7
6-10 años	11	14.5
11-15 años	4	5.3
16-20 años	5	6.6
Más de 20 años	4	5.3
Total	61	100

Notas: 1, Fuente: Autoridad Para el Manejo de los Desperdicios Sólidos , Documento, Abril 19, 1988 [47]. Ver Fig. 6 Parte de arriba. 2, Desde que estas expectativas de vida fueron estimadas, el vertedero Ceiba fue cerrado (1991) y ahora envía los desperdicios sólidos al vecino Fajardo, de tal forma modificando el análisis de 1988 que se presenta más arriba.

La saturación y cierre de vertederos municipales ha producido un patrón de flujos regionales de desperdicios sólidos mayormente basados en proximidad [Fig. 6 (b)]. Asumimos (como es a menudo el caso en municipios en los Estados Unidos, y en consignaciones de desperdicios al Tercer Mundo) que los municipios más afluentes enviarían sus desperdicios sólidos a los barrios más pobres. Sin embargo en Puerto Rico lo opuesto es verdadero: los desperdicios sólidos se mueven contra las gradientes de ingresos y población. Las comunidades más pobladas y más industrializadas parecen haber desarrollado mejores arreglos infraestructurales para los desperdicios sólidos. Concediendo un plazo infraestructural (datos para 1970 y 1988), los municipios que reciben desperdicios regionales, unidos a municipios que “envían”, tenían un 139% más de población y un 41% mayor ingresos por familia (Tabla 6). Los municipios más pobres pagan a los municipios más acomodados \$20-35 por tonelada para recibir sus desperdicios sólidos.

Una alternativa para la eliminación de desperdicios, el descargar clandestina e ilegalmente, se encuentra por todos lados en áreas rurales de Puerto Rico. Se espera que las familias más pobres recurran a este comportamiento pero sospechamos que no está fuertemente relacionado a los ingresos. Bolsas plásticas de desperdicios domiciliarios nauseabundos, máquinas de lavar, refrigeradores y automóviles abandonados están a la vista a lo largo de las carreteras montañosas, en cárcavas, en sumideros cársicos, o botados de los puentes hacia los ríos. Inclusive hemos visto un caballo muerto abandonado en la orilla de un arroyo intra-urbano.

El éxito del desarrollo del programa económico de Puerto Rico ha arrancado la capacidad infraestructural local para el manejo de los desperdicios sólidos. Como es evidente en el análisis de expectativa de vida, el tiempo se está acabando rápidamente en la capacidad

existente de almacenaje [Tabla 5 Fig. 6 (a)]. Además la dejadez (*laissez faire*) de los vertederos confronta ahora la creación de reglamentación más estricta, que incluye la supervisión Federal. Eventualmente los vertederos municipales pueden ser puestos bajo la jurisdicción de la corte Federal, como están las plantas de tratamiento de aguas servidas. Los cierres voluntarios u obligatorios reflejan deficiencias infraestructurales frente al rápido desarrollo económico y, a corto plazo, un aumento en la crisis de los desperdicios sólidos.

Una opinión informal sugirió en 1988 que 62 de 64 vertederos no estaban en cumplimiento con reglamentaciones ambientales y de salud [43]. Posiblemente el 80% de los vertederos municipales no tienen permisos de construcción y el 90% no tienen una licencia actualizada para funcionar [44]. El Presidente de la Junta de Calidad Ambiental (Environmental Quality Board JCA) ha informado que sólo dos vertederos (Ponce y Mayagüez) están bien operados, de seis a nueve son marginales y algunos 57-60 (80-88%) son “un desastre”. La Junta, el explicó, estaba “tratando de cerrar 17 vertederos municipales antes de que el gobierno Federal lo haga” [45].

El riesgo de intervenciones por orden judicial es real. Una política alternativa preferida de JCA ha sido el de buscar asistencia Federal para los alcaldes de municipios para mejorar sus vertederos en lugar de amenazar con el cierre [42]. Los cierres sin embargo parecen ser inevitables y pueden ciertamente, ser adecuados. La nueva Autoridad Para el Manejo de los Desperdicios Sólidos recientemente constituida (SWMA), la cual está bajo la jurisdicción de JCA, ha preparado planes extensivos que cerrarán todos los vertederos con la excepción de 15 a ser designados como vertederos “regionales”. Además, utilizando nuevas tecnologías, se crearán 20 estaciones de transferencia, conjuntamente con tres incineradores para recuperación de recursos, y dos vertederos para las cenizas [41]. Idealmente los planes podrán ser reforzados por medio de:

- (1) educación de los ciudadanos para reducir la generación de desperdicios en la fuente; y
- (2) la creación de extensiones de nuevos mercados para el reciclaje (ej. 40-60% del aluminio en Puerto Rico es reciclado porque el mercado es bueno).

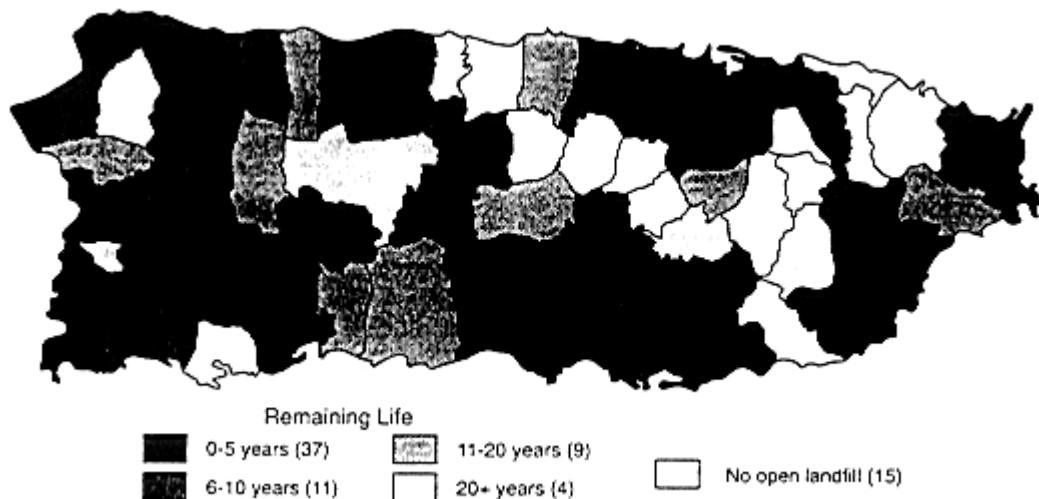
La apertura de los incineradores de desperdicios propuestos para la generación de energía (en la región metropolitana y en Arecibo) será importante. Los fondos que permitan esto todavía no han sido identificados para completar los cambios en el sistema, pero hasta ahora una concesión Federal de \$30 millones ha sido asegurada para iniciar la reforma con la adquisición de terrenos y la compra de maquinaria pesada [46]. La vida de los vertederos será extendida, pero mucho más apoyo financiero tendrá que ser obtenido para completar los planes de regionalización. Un total de 61 vertederos municipales siguen en funcionamiento [47]. Al mismo tiempo, el dilema de desperdicios tóxicos que en el pasado eran incorporados dentro de los vertederos municipales (como una herencia de la industrialización pasada y, en gran medida continúa hoy día) debe ser considerado.

HERENCIA DE DESCARGAS TÓXICAS

Está claro que esencialmente todos los vertederos de Puerto Rico en el pasado han recibido desperdicios tóxicos; que el crecimiento de la industrialización en los años 50 y más adelante fue acompañado por la descarga sin control de desperdicios industriales en los vertederos más cercanos. Muchos de estos depósitos eran tóxicos. Inclusive hoy en día existe la continua descarga ilegal de materiales peligrosos en los vertederos municipales “seguros”. El efecto general, cuando se lo añade a la descarga clandestina a lo largo de carreteras y en cárcavas, seriamente amenaza la calidad del suministro del agua superficial y de los acuíferos.

La aparición de una mayor preocupación del público sobre temas ambientales estuvo acompañada por dos acciones legislativas importantes, la Ley de Recuperación y Conservación de Recursos (RCRA) de 1976, y la Respuesta Integral Ambiental, Compensación y el Sistema de Información de Responsabilidad (CERCLIS) de 1980. Estas leyes han puesto energía en la respuesta de Puerto Rico a la crisis del deterioro del medio ambiente. Estudios continuados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y el Junta de Calidad Ambiental (JCA) han tenido como resultado un inventario de los sitios tóxicos y una lista de prioridad nacional (NPL) todavía no está completa [43, 4]. Se adhiere al principio de “el que ocasiona la contaminación paga” y cuando no se puede establecer la responsabilidad, el gobierno Federal contribuye 90% de los costos de limpieza del sitio, y el Estado añade el 10%. Esto se conoce popularmente como el arreglo del Super Fondo. Hasta ahora los contaminantes de ocho de los sitios NPL han sido identificados y las negociaciones se han iniciado para la limpieza y restauración. Otros diez sitios NPL han sido identificados entre los cuales seis son vertederos municipales.

a) Espectativa de Vida de Vertederos Municipales, 1988



b) Flujos Regionales Permitidos de Desperdicios Municipales a Vertederos, 1988

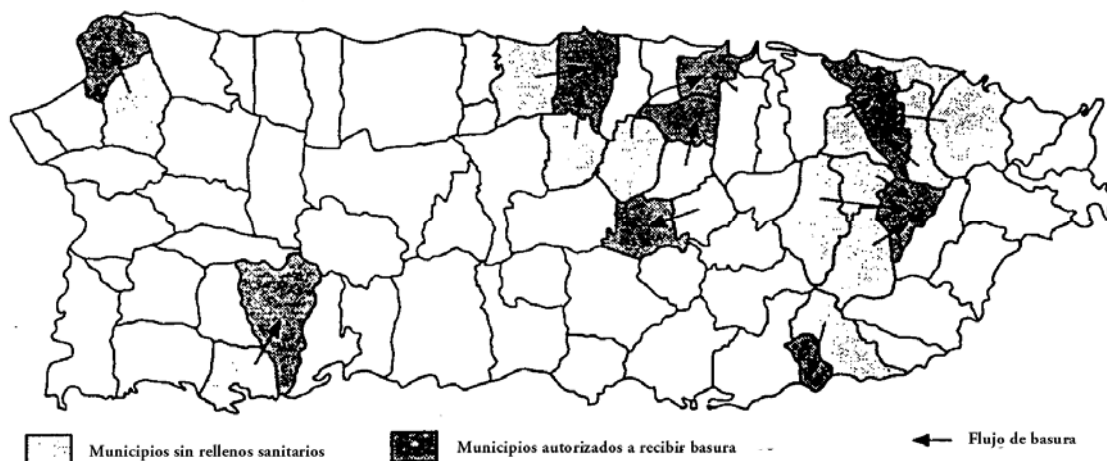


Fig. 6. (a) Un 20% de los municipios no tienen un vertedero en funcionamiento y la descarga ilegal es común. Una crisis en la planificación de vertederos es evidente en la expectativa de vida de 10 años o menos para el 63% de los vertederos actuales. Datos de Ref. [47]. (b) Contraria a la práctica de los Estados Unidos donde los desperdicios sólidos fluyen de áreas acomodadas a áreas pobres, lo opuesto es verdad en Puerto Rico. Datos de Ref. [47].

Tabla 6. Flujo de desperdicios sólidos municipales en 1988 por gradientes de ingresos de la población de 1970

Municipio, población e ingresos	Municipios que envían al vertedero en 1988	Municipios que reciben en su vertedero en 1988
<i>Parte 1. Población en 1970</i>		
Casos	14	14
Min	7,479	13,033
Max	31,583	107,643
Media	21,841	52,129
SD	6.767	37,933
Muestras con pares $t =$ prueba en la población que recibe	$P = 0.010$	
<i>Parte 2. Media de ingresos por familia \$ 1970</i>		
Casos	14	14
Min	1,634	1,653
Max	3,569	5,392
Media	2,435	3,444
SD	530	1,366
Muestras con pares $t =$ prueba en el ingreso del que recibe	$P = 0.003$	

Fuente: Cálculos de los autores basados en datos del Censo y la Fig. 6.

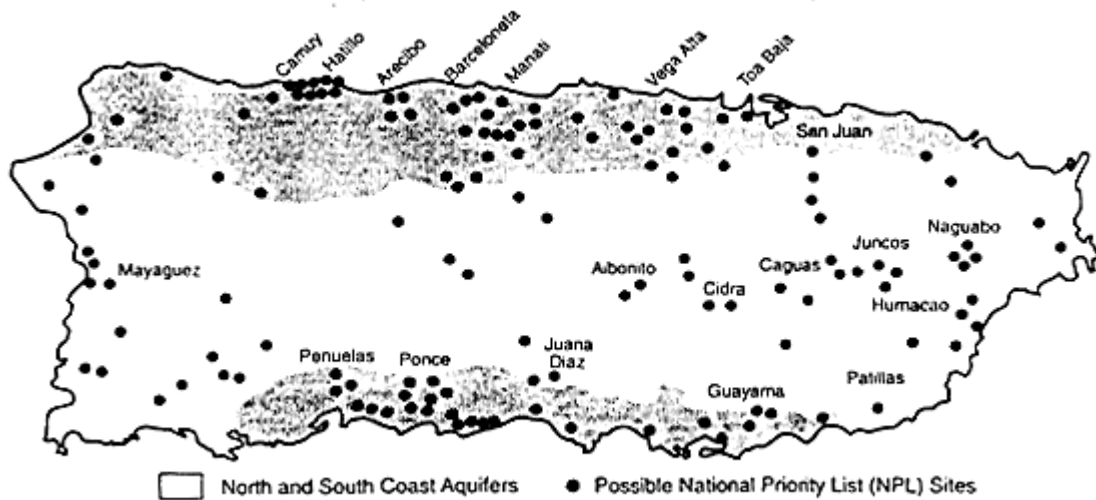
Sin embargo, debido a la apertura de vertederos municipales, la culpabilidad individual del que contamina es más difícil de probar.

El problema se multiplica por el número de sitios conocidos y sospechados. La lista de la EPA, que no está completa, cubre 169 sitios de los cuales sólo 47 han sido revisados en detalle [48]. Hipotéticamente de distribución uniforme, un total de 169 sitios representarían

51 km² por sitio, lo cual es equivalente a un sitio cada 7.2 km (4.5 ml). Semejante abundancia de sitios es una medida del precio ambiental que en última instancia habrá que pagar por la industrialización “barata”.

La yuxtaposición de 138 sitios en relación con los acuíferos cársicos de la costa norte y la costa sur, revela una amenaza seria a las aguas subterráneas (Fig.7). Se conocen 53 vertederos en la región cársica de la costa norte (38% del total de Puerto Rico); y 27 vertederos en el sur (20%). La zona central montañosa volcánica, con pocos acuíferos aluviales, contiene 58 sitios peligrosos o potencialmente peligrosos (42%). Lixiviaciones peligrosas que incluyen metales pesados, especialmente de 80 vertederos sobre piedra caliza, pueden migrar directamente hacia los embalses subterráneos de agua potable. Lixiviaciones de vertederos en la región central pueden soltar contaminantes tóxicos hacia arroyos superficiales cercanos y embalses (Fig. 3 y 7).

Examinando los registros e informes de los sitios de descarga, y llevando a cabo visitas de campo, hemos tratado de obtener más conocimiento de la manera diferente en la cual la rápida industrialización de Puerto Rico inevitablemente ha generado la contaminación generalizada del agua. Un evento demasiado común es la ausencia o inaccesibilidad de la persona que contamina. En Peñuelas por ejemplo (Fig. 7), un transportador de desperdicios peligrosos y contratista de limpieza de derrames de petróleo, Muratti Environmental, empezó a suministrar servicios para la industria en 1967. Se declaró en bancarrota, fundó una nueva compañía, y dejó una colección de turriles y tanques de almacenaje superficiales de químicos peligrosos en el sitio abandonado.



Sitios de Vertederos que Contienen Desperdicios Peligrosos

Fig. 7. ¿Cuál será el costo a largo plazo del desarrollo económico “barato”? Seis de cada diez sitios peligrosos se encuentran sobre vulnerables acuíferos cársicos. La alta densidad de los sitios presenta una amenaza al agua superficial como al agua subterránea. Si hipotéticamente estuvieran diseminados por igual, la distancia entre los sitios serían de 7 km (Mapa: EPA, JCA, Oct. 1989 [45]).

El nuevo inquilino, una compañía que limpia equipos industriales a vapor, no puede absorber los costos para la remoción de metales pesados, solventes y químicos orgánicos que fueron dejados [49]. En el mismo municipio de Peñuelas, en una situación similar, las compañías de que fué el complejo petroquímico CORCO están peleando en la corte para evitar los cargos de limpieza de varios millones de dólares [45].

En el pueblo de Juan Díaz (Fig. 7), lo que es ahora un vertedero inactivo y que contiene mercurio, se encuentra a 365 m de un pozo de suministro público de agua. La fuente de contaminación es una compañía que fabrica interruptores de luz de mercurio (compañía matriz: General Electric, CT) [50]. En el municipio de Patillas (población 20,000) una compañía que está fabricando controles eléctricos para automóviles enterró sus desperdicios grasos y solventes dentro de un pozo de acceso; sus depósitos de cieno tóxico también se desbordaban periódicamente. El agua subterránea y los arroyos del pueblo están contaminados con solventes, metales pesados, desperdicios grasos, químicos orgánicos y pesticidas [51]. Más hacia el este, Frontera Creek en Humacao (Fig. 7) recibe desperdicios industriales que contienen mercurio y amenazan a los peces, crustáceos y el pelícano pardo en peligro de extinción en dos lagunas que conectan, y en la Ciudad Cristiana, un asentamiento de 500 casas [45, 52]. La parte responsable identificada es una compañía que fabrica semi-conductores y módulos electrónicos (matriz: Revlon, NY).

El municipio de Guayama está extensivamente contaminado (Fig. 7). Cuatro de los cinco pozos de suministro de agua de reserva están cerrados por causa de solventes halogenados. Aguas residuales industriales fueron descargadas a lagunas de retención a solo 46 m gradiente hacia arriba del campo afectado de Fibers Well [53]. Ordenes de consentimiento para la reparación han sido firmadas por Phillips Petroleum y Chevron Chemical, las cuales sucesivamente operaron el sitio industrial en arriendo de la Corporación de Desarrollo de Puerto Rico (PRIDCO) en 1966-1976 y 1976-1980, respectivamente. Otros arrendatarios de PRIDCO, Whitehall Laboratories y Ayerst Wyeth, han utilizado el sitio desde 1984. Ellos fabrican fármacos: anti-hipertensivos, analgésicos, dilatadores de vasos coronarios, Advil, Anacin y Dristan [matriz: American Home Products (AHP), NYC] [54]. Las lagunas de asentamiento han sido convertidas en un contenedor de retención para aguas de escorrentía, pero existe el riesgo de filtraciones a través del recubrimiento, y AHP ha aceptado a realizar muestreos del suelo. Arrendatarios sucesivos generalmente aumentan a la historia cumulativa de contaminación. La tierra en el sitio contiene cromo, zinc, arsénico, cobre, plomo, níquel, talio, fenoles, PCB, tetracloroetileno, tricloroetileno y otros contaminantes en altos niveles [53].

El vertedero municipal de Guayama en Jobos fue cerrado en 1977 sólo después de 9 años de operación. El sitio, el cual cubre 2 ha, está ahora sellado por 2m de tierra, iluminado por la noche, y sirve como un campo de baseball para la comunidad. El vertedero de Jobos, sin embargo, fue extensivamente usado como un vertedero de desperdicios industriales y petroquímicos y permanece altamente contaminado [45, 55]. Con un población de 43,000, el municipio de Guayama sirve como un micro cosmos del desarrollo industrial de Puerto Rico. Una inversión extensiva del exterior ha creado un total de 19 plantas de manufactura. Los productos incluyen fármacos en grandes cantidades (compañía matriz: ICI, Londres,

U.K.), otros fármacos (compañías matrices: BOC Holding, Londres; AHP, NYC; Smith Kline, Philadelphia, PA), jabones y detergentes (Colgate-Palmolive, NYC), refinería de petróleo (Phillips, OK) botellas plásticas (ALPLA, Austria), latas de aluminio (Reynolds, VA) vestimenta de mujeres (Champaign, NYC), brazieres (Bestform, Long Island, NY) y concentrados de jugos [54]. Desafortunadamente, debido a la densidad de la constelación industrial y la falta de controles sobre la descarga de desperdicios, no es sorprendente el descubrir que el campo del pozo local para agua potable esté cerrado, y que los arroyos superficiales estén contaminados. El patrón se repite por toda la isla.

El vertedero de Jobos en Guayama (Fig. 7) se encuentra a poco más de 1 km de la villa caribeña de Puerto de Jobos (población 800) en la Bahía de Jobos, un área popular para la pesca y el “surfing”. Se teme la migración de contaminantes desde Jobos hacia la bahía. Además un derrame industrial de mercurio en el dique de Pozuelo en la bahía de Jobos en 1985 nunca ha sido limpiado. Se ordenó el cierre del embarcadero pero se sospecha la contaminación del pescado con mercurio. Desde que ocurrió el accidente con el mercurio, el área ha sido utilizada ilegalmente como un vertedero [45].

El vertedero municipal de Cidra (Fig. 7) en las montañas centrales es un depósito para desperdicios domésticos como también industriales. Desperdicios han sido botados en un desfiladero sin forro desde 1974 y cubiertos diariamente con materiales altamente permeables de origen volcánico. Desperdicios de fármacos y desperdicios químicos ilegales (ej. solvente de pinturas) de plantas industriales cercanas producen lixiviaciones peligrosas que han contaminado los pozos públicos en el Barrio Rincón, 2.4 km aguas abajo [56]. Animales domésticos han muerto en el arroyo más abajo del vertedero y varias muertes de peces han ocurrido en el río La Plata [57]. Un esquema de bombeo está en funcionamiento bombeando 5 mgd del río La Plata hacia el embalse del Lago Cidra el cual está agotado y rápidamente perdiendo capacidad (Fig. 3). Sin embargo, el agua que se utiliza para el lavado es en sí misma potencialmente una fuente de contaminación. Durante el año pasado, 1990-91, varias mortandades de peces grandes se han observado en el embalse. La pérdida de oxígeno por la extremada eutroficación, y los altos niveles de selenio, están implicados [25]. Fuera del vertedero, y las plantas industriales y de fármacos aguas arriba, la planta de tratamiento de aguas servidas en el pueblo de Cidra también añade emisiones tóxicas al Lago Cidra.

Se cree que miles de termómetros cargados con mercurio fueron botados en el vertedero municipal de Juncos (Fig. 7). Con 1,790 mm de lluvia por año, y una cobertura de arena local altamente permeable, el potencial para la descarga de lixiviación aguas abajo es considerable [58]. El vertedero está ahora cerrado y una orden de consentimiento se arregló en 1984 con un fabricante de instrumentos médicos y de cirugía (matriz: Becton Dickinson, NJ). Las casas construidas por propietarios están ahora invadiendo el vertedero, conjuntamente con jardines de legumbres y grupos de árboles frutales. Se expresa una preocupación sobre la contaminación elemental con el mercurio de los zapatos y la ropa, especialmente entre los niños, y los vapores de metilo de mercurio. Los arroyos que descargan el vertedero a veces tienen el color del arco iris [57]. El sitio permanece sin limpiar y ningún estudio epidemiológico sobre los efectos en la salud se ha conducido. Algunos propietarios locales de las casas están supuestamente confiados de que el sitio no es tóxico pero los residentes con los que conversamos se quejaron del humo y vapores que

emanan del vertedero sellado hace ya mucho tiempo, especialmente en la noche, y la imposibilidad de poder encontrar compradores para sus casas. Nosotros inspeccionamos fisuras que humeaban en el vertedero y notamos también un pueblo vecino “Fantasma” de casas de escasos recursos que nunca han sido ocupadas desde su construcción. Propiedades no deseables, que no pueden ser vendidas y casi inhabitables permanecen como los costos ambientales de la descarga de mercurio.

La cesión del primer vertedero ahora conocido como “Viejo Juncos”, fue seguida por la apertura del vertedero “Nuevo Juncos” en el Barrio Las Pinas en 1981. Su historia, si acaso, es aun más desconsoladora. De solo 3.2 ha en tamaño, ha enfrentado un uso extensivo por compañías de remoción de desperdicios industriales de la cercana Caguas. Existen serios problemas de cumplimiento y solo después de 10 años, el vertedero rápidamente está llegando a su capacidad. Metales pesados y compuestos volátiles y parcialmente volátiles están migrando fuera del sitio. Varias manadas de ganado se alimentan en el área y beben de charcos de agua barrosa y su leche puede estar contaminada. En un incidente 15 vacas murieron repentinamente, y se señaló al cianuro [57, 59]. Vertederos tóxicos, que se encuentran dentro de las áreas de captación, causan preocupación por la calidad de los embalses de San Juan, Lago Loaiza y Lago Cidra (Fig. 3 y 7).

En Aibonito, en el corazón de las montañas centrales, tanto la basura doméstica como los desperdicios de fármacos están expuestos en la superficie y en las caras de trabajo del vertedero municipal (Fig. 7). La presión en el vertedero pequeño (2.4 ha) proviene de la población de 24,000 del municipio y un grupo de 10 plantas de manufactura que producen hilos, uniformes militares, batas, camiones, almohadas, equipos eléctricos y médicos de plástico [54]. Las compañías matrices están ubicadas en Illinois, Pennsylvania y la ciudad de Nueva York. Una industria principal a lo largo del valle de Aibonito es la crianza de gallinas por agricultores contratados por una planta de procesamiento en gran escala, Toricos (matriz: Conagra, Omaha, NE) [54]. Las granjas descargan altos niveles de desperdicios animales altos en nitrato, mientras que la planta principal ha sido citada por la descarga de metales pesados [60]. Hidrocarburos policíclicos carcinógenos han sido encontrados en arroyos alrededor del vertedero de Aibonito. Típico de la crisis de los vertederos, el municipio nunca ha obtenido un permiso para operar el vertedero; tiene muchas deficiencias en su operación y se le emitieron cinco órdenes de “mostrar causa” en un período de cuatro meses [61]. Todavía se espera una resolución acertada.

ABUSO DE LAS PIEDRAS CALIZAS DE LA COSTA NORTE

Debido al puerto protegido de Puerto Rico, y el accidente histórico de la historia colonial de España en la ubicación de la capital de Puerto Rico, inexorablemente el patrón se fijó para el abuso subsecuente de los acuíferos de la costa norte. La industrialización exitosa de la parte principal de San Juan, que empezó en los años 50, a su vez llevó a un rebalse de crecimiento considerable en los pueblos pequeños de municipios rurales en otros lugares en la isla; y sin tener en cuenta la vulnerabilidad del acuífero cársico, los 23 municipios de la costa norte han compartido completamente en este proceso. De hecho, la región cársica de la costa del norte, que ocupa el 20% del área de superficie de la isla, contiene el 48% de la población total y 55% de las plantas de manufactura de Puerto Rico (Tabla 7, Parte 1) [54].

Como se había hecho notar con anterioridad, los acuíferos cársicos del norte suministran 75 mgd (Fig.2). Su calidad y abundancia eran parte del atractivo inicial para las corporaciones industriales localizadas en Puerto Rico, pero hoy en día, como resultado del crecimiento industrial, los acuíferos sufren extensivamente de descargas industriales, contaminación por vertederos, fatiga por el bombeo, deshidratación y drenaje, e invasión de aguas saladas (Fig. 8) [8]. El drenaje para el cultivo de arroz ha revertido la gradiente hidráulica con el océano, el agua del mar entra a los acuíferos, y el cloruro de sodio se acumula en el suelo. Esto empeora la disminución del suelo y el hundimiento de la tierra lo cual sigue la desecación del terreno por el drenaje [62].

Con una contaminación progresiva, los pozos de suministro que eran seguros bombeando los acuíferos del norte ahora están siendo cerrados para proteger la salud humana. Cuando un pozo es “condenado”, un pozo cercano de reemplazo se hunde, pero el suministro de nuevos sitios potenciales no es inagotable, y la migración subterránea de contaminantes, a pesar de que pobremente comprendida, continua. El análisis de los cierres de los pozos, por lo tanto, provee un indicador sensato de desfase ambiental. Compaginando los datos de USGS [63], podemos ver que 111 de 273 (o sea el 41%) habían sido cerrados hasta 1987 [Fig. 9 (a)]. Por supuesto, más pozos han sido cerrados desde entonces, pero el patrón geográfico convincente está claro: en los cuadrángulos metropolitanos (de Bayamón, San Juan y Carolina) el 73% de los pozos de suministro están cerrados en comparación con el 29% de cierres en los cuadrángulos del medio (Vega Alta, Manatí y Barceloneta) y el 20% en el oeste (Fig. 9). La dependencia en las aguas subterráneas, como se había indicado anteriormente, ha bajado al 6% en el área metropolitana en comparación con el 92% en la región central a pesar del cierre de los pozos (Fig. 2).

La contaminación ocasiona el cierre de los pozos pero el proceso está guiado por el aumento en la población, urbanización e industrialización. Los parámetros estadísticos por cuadrángulos son sólo aproximados pero demuestran claramente que la población total y el número total de fábricas están positivamente en relación con los cierres de los pozos sobre piedra caliza: población $R = 0.771$, $P = 0.003$; fabricantes $R = 0.773$, $P = 0.003$, [Fig. 9 (b)]. Las dos variables están relacionadas de cerca entre ellas y cualquiera predice las presiones ambientales.

La evidencia señala a un uso sin restricciones del área cársicos para sitios industriales, Un total de 954 plantas de manufactura están ubicadas en los acuíferos del norte, de los cuales el 73% se encuentran en el área metropolitana (Tabla 7 Parte 3). Entre las categorías seleccionadas de manufactura, la región cársicos del norte es predominante en metales principales y la fabricación (con 74% del total de Puerto Rico), químicos (55%), plásticos y goma (55%), equipos electrónicos (40%), y fármacos (50%) (Tabla 7, Parte 2).

Se puede reconocer una tendencia para las industrias más antiguas de estar agrupadas en el área metropolitana, con las nuevas industrias seleccionando nuevos sitios en el oeste (Fig. 10). Por lo tanto, las áreas en el oeste de la región metropolitana contienen solamente 9% de las 104 plantas de metales y fabricación con metales, en contraste con el 21% de las 52 plantas de fabricación con plásticos y goma. Los electrónicos, una categoría aun más nueva, el 44% está concentrada en el oeste. Sin embargo, en el área moderna de crecimiento de

fármacos, el 67% de las plantas están ubicadas en nuevos sitios en los municipios del oeste (Fig. 10).

Tabla 7. Población y plantas de manufactura en Puerto Rico con referencia a los Acuíferos cársicos de la Costa Norte, 1989-1990.

<i>Parte 1 regiones</i>					
	Total Puerto Rico	Piedra caliza Costa Norte	%	Resto de Puerto Rico	%
Area km2	8,860	1813	20	7047	80
Municipio N =	76	23	30	53	70
Población 1990	3,599,258	1,734,157	48	1,865,101	52
Plantas Manf.	1,739	954	55	785	45

Parte 2 industrias seleccionadas

Industrias selec.	Total Puerto Rico	Plantas de man. Piedra Caliza N.	%
Metales primarios y fabricación	141	104	74
Plástico y goma	94	52	55
Equipos electrónicos	117	57	49
Fármacos	72	36	50
Químicos	69	38	55
Total	493	287	58

Parte 3 San Juan Área Metropolitana

Área cársicos	Municipios	Pobl. 1990	%	N =	Plantas de Manufactura 1989	
					%	
SMSA - San Juan	8	1,133,902	65	65	692	73
Resto cársicos	15	600,255	35	262	27	
Total de la costa norte	23	1,734,157	100%	917	954	100

Notas: 1, Número de plantas de: Gobierno de Puerto Rico: Ref. [54]; 2: región estadísticamente aproximada por todo el municipio; 3: Trujillo Alto en SMSA pero no incluido aquí por no estar en piedra caliza; 4: N = 23 municipios principalmente ubicados en la costa norte cársicos; Aguadilla, Arecibo, Barceloneta, Bayamón, Camuy, Canovanas, Carolina, Cataño, Dorado, Florida, Guaynabo, Hatillo, Isabela, Loiza, Manatí, Moca, Quebradillas, Río Grande, San Juan, San Sebastián, Toa Baja, Vega Alta, Vega Baja.

Ciertamente, existe una gran concentración de 26 plantas de fabricación de fármacos sobre una distancia linear de más o menos 15 km (9ml) en los municipios adyacentes de Manatí y Barceloneta. La gran variedad de compañías matrices ilustra el éxito de Puerto Rico en atraer la inversión. Cinco de las oficinas centrales de las compañías están ubicadas en New Jersey, y tres en la ciudad de Nueva York; otras se encuentran en Illinois, Delaware, Ohio, Pennsylvania, Michigan, Carolina del Norte y Suiza. Las plantas en Barceloneta incluyen Abbott, Bristol Myers, Merck Sharp and Dohme, Pfizer and Sterling. Aquellas en Manatí incluyen Schering, Dupont, American Cyanamid, Proctor and Gamble, Johnson and Johnson, Rore, Upjohn and Hoffman-Laroche.

Mientras que la concentración en Manatí-Barceloneta es geográficamente única en Puerto Rico, otras compañías internacionales fabrican fármacos en desparrame amplio de municipios a lo largo de la isla en Humacao (Nestlé, Suiza; Sandoz, Suiza; Squibb, NJ), Carolina (Eli Lilly, IN; Imperial Chemicals, U.K.), Ponce (Boehringer, Alemania), Jayuya

(Boots, U.K.), Santa Isabel (Rotho, Japón), Caguas (Monsanto, MO), Fajardo (Warner Lambert, NJ), y Hormigueros (Smithcline Beckman, PA). Algunas de las compañías han construido múltiples plantas.

Amenazas Ambientales a los Acuíferos de la Costa Norte



Fig. 8. El drenaje para la agricultura de arroz ocasiona la salinidad del suelo y la invasión del agua del mar en los acuíferos. La tensión del bombeo, descargas industriales, vertederos, y aguas servidas presentan una amenaza combinada a la calidad de las aguas subterráneas. Después Ref. [8].

a) Cierre de Pozos en los Acuíferos cársicos de la Costa Norte

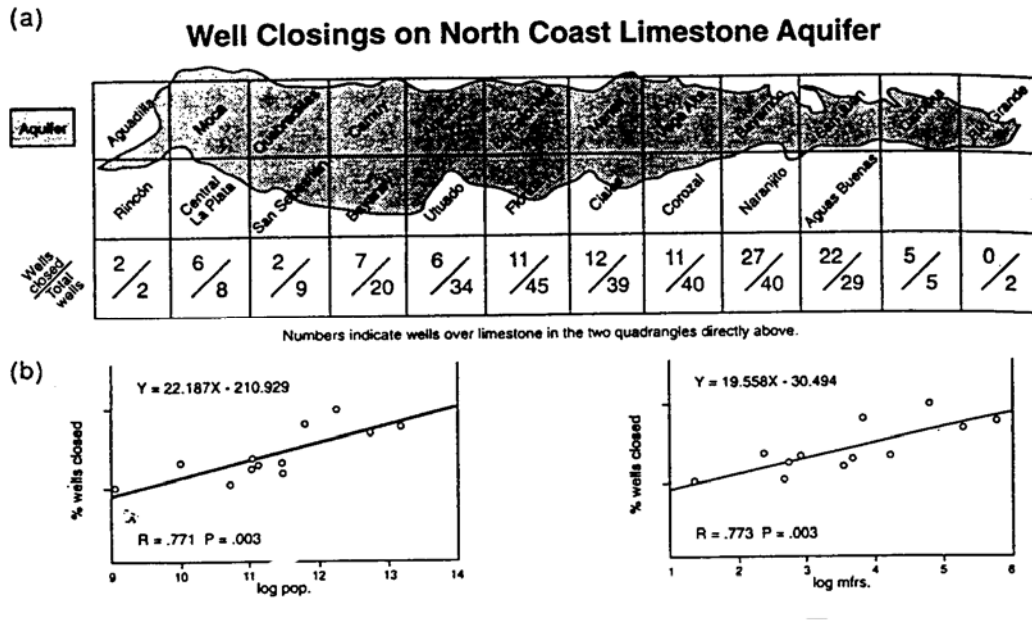


Fig. 9. La contaminación ha forzado el cierre de 111 o el 41% de los pozos, y los cierres se elevan al 73% en los cuadrángulos metropolitanos. Los diagramas de regresión (abajo) muestran la presión de la población o de la industrialización que de igual forma llevan al cierre de los pozos. Cálculos de los autores de Refs [54, 63].

La mera presencia de casi 1,000 plantas de manufactura, conjuntamente con las viviendas de los empleados y establecimientos de servicios, generan una gran amenaza para las aguas

subterráneas de la costa norte (Tabla 7, Parte 1; Fig. 10). Una eliminación segura de los desperdicios químicos es de suma importancia, pero como hemos podido apreciar en la historia de cierre de pozos, todo lleva fielmente a una contaminación que va aumentando.

SUMIDEROS CÁRSICOS EN EL NORTE COMO CONDUCTOS DE CONTAMINACION

Ahora nos referimos a la permeabilidad de la piedra caliza, sumideros y contaminación del agua. El sumidero, una tubería vertical de piedra caliza disuelta, comúnmente de 30-50 m de profundidad a lo largo de la costa norte, se utiliza mucho para la eliminación de basura, tanto oficialmente por las autoridades del municipio como por basureros clandestinos privados. El vertedero municipal de Barceloneta es un ejemplo espectacular (Fig. 8). Cubre 8 ha en Florida Afuera, el sitio está asentado sobre piedra caliza, y por mucho tiempo ha aceptado desperdicios industriales como municipales [64]. La mezcla, que incluye desperdicios tóxicos, es colocada en los sumideros que son más o menos de 30 m de profundidad. La precipitación es de 1,780 mm por año, la profundidad de la capa freática es de 90 m y la geología profunda promueve el rápido transporte de los contaminantes. Consecuentemente, los acuíferos, que son utilizados como la fuente principal para el agua potable para el público, están continuamente contaminados.

Las lagunas de captación para desperdicios industriales son también menos efectivas sobre la piedra caliza por su solubilidad. En el caso de una compañía que fabrica máscaras de apertura para tubos de televisión en Barceloneta (RCA del Caribe), sus cuatro lagunas que almacenan desperdicios químicos espontáneamente drenaron hacia los acuíferos [65]. Roturas en los forros, con fugas o descargas de ácido, ocasionaron la formación repentina de un sumidero. Los pozos de suministro público están ubicados 24 km gradiente abajo del sitio condenado. Respecto a la reparación por la parte responsable (General Electric, Plainville, CT), la EPA informa que “muchos temas aun no han sido resueltos”.

En la misma categoría de accidentes industriales, tanques de almacenaje construidos en estratos permeables también presentan un riesgo ambiental. La planta de Upjohn en Barceloneta (en el barrio Sabana Hoyos, Arecibo) la cual fabrica antibióticos fue el escenario de un derrame tóxico de gran magnitud en septiembre de 1982 cuando 57,000 litros se escurrieron en el suelo y las aguas subterráneas. La mezcla era del 65% de tetracloruro de carbón y 35% de acetonitrilo [66]. Penachos de contaminación para tetracloruro de carbón han sido subsecuentemente definidos a 50 ppb, 20 ppb y 1 ppb en los acuíferos alrededor del sitio. Se tuvo que forzar el cierre de un pozo cercano para el suministro público de agua. Bajo un decreto de consentimiento, Upjohn ha realizado medidas de reparación extensa, que incluyen la extracción por succión para remover la contaminación, y conexiones para la provisión de agua pública nueva y segura (PRASA) para Garrochales, la comunidad local, para un motel cercano y también para una planta adyacente de fabricación de fármacos cuyo suministro de agua fue perdido.

Como existen complejos industriales grandes sobre la piedra caliza, no existen soluciones fáciles para la eliminación de desperdicios. El vertedero de Arecibo, que cubre 39 ha en el Barrio Factor, continuamente ha recibido una mezcla de desperdicios sólidos residenciales, industriales, comerciales y de la agricultura desde mediados de los años 70. Estos incluyen cieno metálico, cieno de fármacos, tóxicos, corrosivos y aguas servidas [67]. El vertedero

se encuentra a 3 km del océano en el borde de los pantanos de la costa o zonas pantanosas de Ciénaga Tiburones. Sus terrenos permeables y arenosos no pueden consolidar las consignaciones diarias de desperdicios, y las brisas fuertes del mar desparraman ampliamente los materiales de desperdicios livianos. Fuera de los problemas de manejo, se pueden detectar solventes y metales pesados en las aguas superficiales locales las cuales en el presente se utilizan para el ganado como también el riego.

En el mismo municipio, pozos en el mismo sitio de la propiedad de la Corporación de Desarrollo Industrial (PRIDCO) muestra vinilo de cloro, TCE y otros solventes. El arrendador actual de PRIDCO, Hooker Chemical and Plastics, fabricantes de anhídrido de phthalic, niegan responsabilidad por el hecho de previas, múltiples sucesivas ocupaciones por otros arrendatarios. La pregunta sobre quien debe pagar para la reparación del sitio está todavía en disputa [68].

El uso de terrenos rurales no industriales también puede amenazar la calidad del agua subterránea. En el Bosque Nacional de Cambalache, Arecibo, el tratamiento de postes de madera cortados con preservativos y químicos que endurecen ha contaminado los suelos y el agua subterránea con pentaclorofenol, etilbenzinas y otros químicos, en sitios peligrosos desparramados [69]. Tratamientos similares de la madera en el Barrio Candelaria, de Toa Baja, también afectan las aguas subterráneas. Tanques a presión de “wolmanizing” de la Planta de procesamiento de madera Boricua, utilizan ácido crómico, ácido cúprico, y pentóxido de arsénico desde 1957, generan más de dos toneladas de cienos tóxicos por año [70]. Este sitio peligroso colinda con un área urbana.

Los fabricantes a lo largo de la costa norte descargan varios contaminantes por medio de emisiones fugitivas al aire, emisiones de columna o de point blank, descargas en el agua, inyección subterránea, o descarga en la tierra. Las descargas en el aire son predominantes pero varias plantas químicas y de fármacos con permisos, legalmente descargan cantidades de desperdicios tóxicos por medio de inyección subterránea dentro de los acuíferos cársicos. Los ejemplos incluyen:

- (1) una compañía que fabrica pintura (Harris Paints) en Bayamon que descarga etileno glicol, tolueno, xileno, cobalto y amonio por inyección subterránea;
- (2) una compañía de productos veterinarios (American Cyanamid) en Manatí descargando anilina, tolueno, ácido hidroclicórico, ácido fosfórico y ácido sulfúrico por inyección subterránea; y
- (3) una planta que fabrica fármacos (Merek, Sharp and Dohme) en Barceloneta descarga compuestos de cianuro, compuestos de níquel, metanol, acetona, metano de cloro, diclorometano, tolueno, cloro bencina, cicloexano, ácido hidroclicórico, amonio, ácido sulfúrico y sulfato de amonio [71].

Los volúmenes de descarga dicen ser pequeños, y muchos de los compuestos son volátiles o parcialmente volátiles pero, inclusive con las reglamentaciones rigurosas fielmente observadas, se puede esperar un impacto cumulativo en las aguas subterráneas

Plantas de Manufactura en los Acuíferos cársicos de la Costa Norte, 1989
Manufacturing Plants on North Coast Limestone Aquifer, 1989

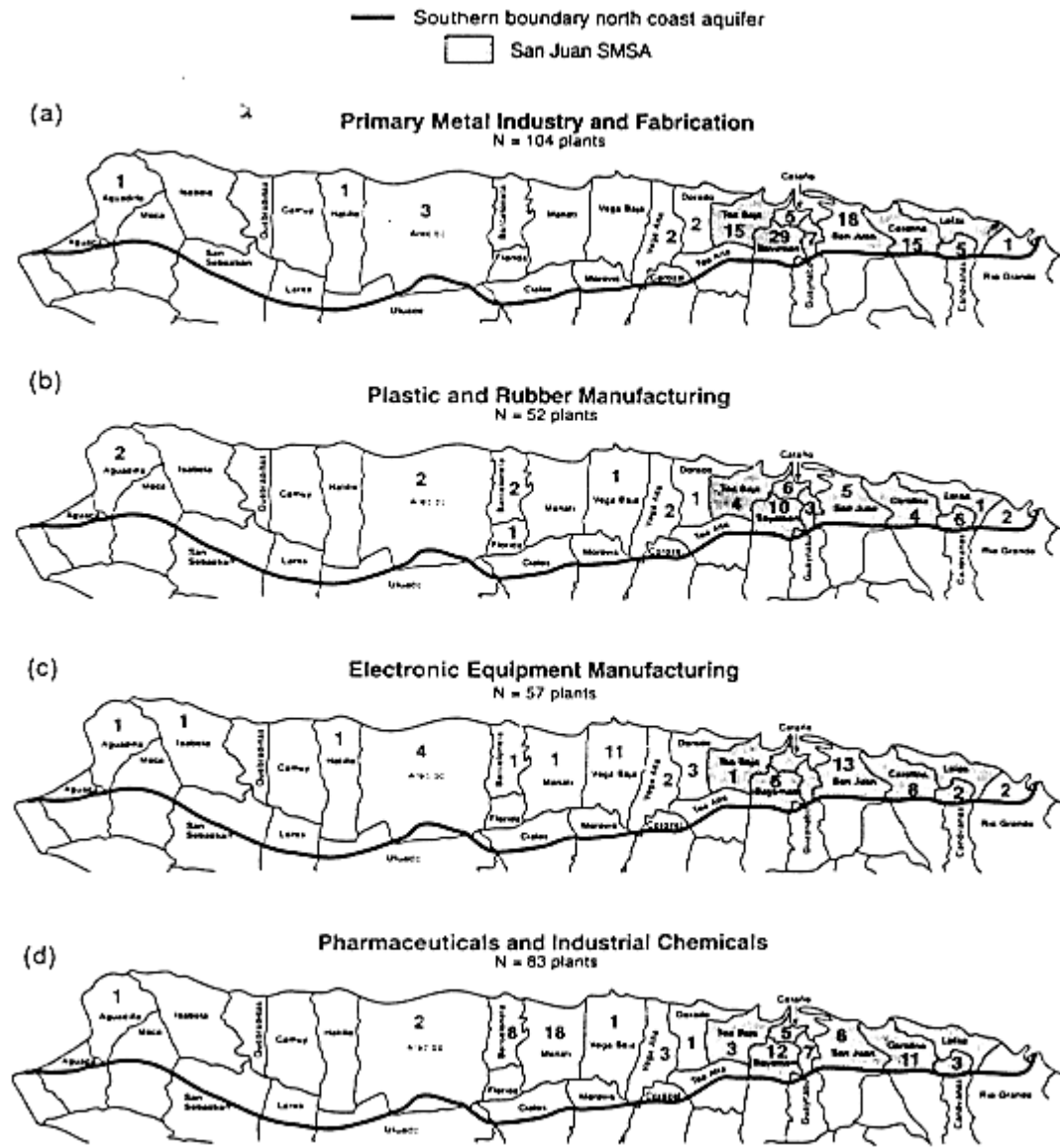


Fig. 10. Casi 1,000 plantas de manufactura están ubicadas en las piedras calizas de la costa norte. De las cinco categorías industriales que se muestran aquí, las plantas antiguas (metales y sus fabricaciones) se encuentran en el este, mientras que las plantas más nuevas (fármacos) están ubicadas en el oeste, Manatí y Barceloneta muestran una concentración remarcable de 26 plantas de fármacos de propiedad internacional en un área pequeña. Datos de Ref. [54].

El proceso de una industrialización continuada inevitablemente dicta una contaminación que avanza, particularmente donde las responsabilidades individuales de los que contaminan solapan y son ambiguas. Un caso dado es la contaminación de nitrato del campo de pozos del área de Manatí [23, 72, 73]. En 1989 tres pozos de suministro público de agua fueron cerrados por una orden del Departamento de Salud, y ciertamente se piensa que el total de los 20 pozos esté en peligro (Pozos 18-20, Fig. 11). Dos pozos de sustitución han sido abiertos, pero no reemplazan completamente el suministro de aguas perdidas de manera que la escasez de agua en los barrios ha aumentado. Conjuntamente 13 de los 20 pozos exceden los niveles de contaminación de nitrato de 5 mg/l y entre estos 8 pozos están dentro o exceden el nivel límite de 10 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ que debería ocasionar el cierre de los pozos de agua potable. El nivel más alto de 16.2 mg/l fue encontrado en el pozo de la Autoridad de Tierras Almacén (Nº 11) contigua al depósito de fertilizantes (Fig. 11). Los nitratos son temidos por que pueden ser metabolizados en el tracto gastrointestinal para producir nitritos teniendo como resultado los desórdenes de la hemoglobina los que incluyen el síndrome de "Cianosis Congénita"; y se sospecha el cáncer del estómago.

Se piensa que la fuente principal de contaminación de nitrato son las aplicaciones de fertilizante de nitrato de potasio en los campos de piñas de propiedad de la Autoridad de Tierras de Puerto Rico. Esta aventura comercial exitosa está apoyada por servicios de extensión para asistencia mecánica y la distribución de fertilizantes, pesticidas y herbicidas (indicados en Fig. 11). El área local de producción, que cubre 650 ha, ha sido cultivado extensivamente durante los últimos 50 años, y necesita 3,500 toneladas de fertilizantes cada 26-28 meses. Con más de 200 sumideros en el área, el escurrimiento de los fertilizantes se canaliza directamente bajo la tierra, de ahí el problema del nitrato y los cierres de los pozos. La corporación La Roche, que produce tranquilizantes, inconscientemente contribuyó al problema del nitrato por medio de la aplicación de dos toneladas de fertilizante para el embellecimiento de sus áreas verdes en el sitio de 26 ha de su planta (pozo 7).

Otro elemento que se ve en el mapa de nitrato es la influencia de comunidades locales periurbanas a las cuales les faltan tuberías de alcantarillado o están servidas por tanques sépticos no eficientes y que rebalsan, o simplemente por letrinas, por ejemplo, Parcelas Marqués, El Polvorín y Combate (Fig. 11). El escurrimiento hacia los sumideros también transporta las aguas servidas hacia la capa freática de estos asentamientos suburbanos de pocos recursos. Sondas radio isótopos (N-14 y N-15) revelan que, por lo menos en un pozo, la contaminación de nitratos es de origen fecal (Pozo 18). Tres de los pozos industriales (Pozos 8, 9, 10, Fig. 11) tienen niveles altos de nitrato. Estos son hostiles para la producción de fármacos e irónicamente fueron las quejas de los fabricantes (Eaton, Ortho y Owens) a la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados que primeramente expuso el problema de salud pública.

La amenaza a las aguas subterráneas cársicas es multi-dimensional: incluye pesticidas, herbicidas, fertilizantes, fecal y sin duda contaminación industrial, que incluye orgánicos parcialmente volátiles y metales pesados. Se necesita un monitoreo cuidadoso dentro del marco de trabajo de un plan detallado para el manejo del campo de pozos como una fuente segura de agua potable. El acuífero de Manatí es un ejemplo claro del problema y su

dinámica. La mezcla de industrias y el uso de tierras de agricultura sobre piedras calizas vulnerables tendrá como resultado la continuada deterioración del acuífero.

CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA COMO UN BARÓMETRO DE SALUD AMBIENTAL

La pureza del agua subterránea, posiblemente sea el último bastión del medio ambiente no corrompido, ha sido mantenido por mucho tiempo como sacrosanto. Después de haber discutido más arriba las amplias facciones geográficas de la contaminación medio ambiental, ahora informamos brevemente sobre las evaluaciones oficiales de la calidad del agua subterránea en Puerto Rico. ¿Hasta que punto la historia de la urbanización y la industrialización está dejando su marca en las aguas subterráneas?

Un estudio de reconocimiento del USGS de septiembre a octubre de 1981, hizo un muestreo de 57 pozos y manantiales a lo largo de la isla, y encontró varios problemas que incluyen:

- (1) salinidad alta en acuíferos de la costa;
- (2) la presencia de bacteria en pozos y vertientes; y
- (3) contaminación con rasgos de componentes orgánicos [74].

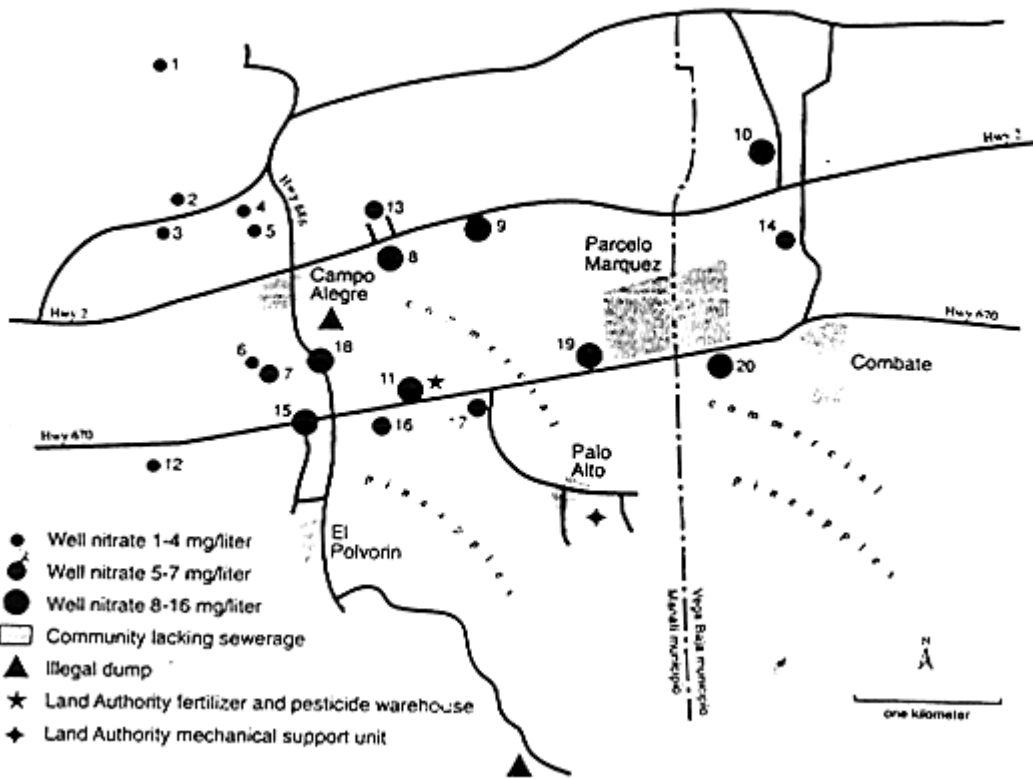
Más o menos el 95% de los 26 pozos del norte en los que se realizaron pruebas excedieron los estándares de agua potable de cloro (0.3 mg/l) y sodio (20 mg/l). La alta salinidad es un problema en el agua subterránea a través de la isla. Los niveles de cloro y sodio alcanzan sus puntos más altos de 1200 mg/l y 620 mg/l respectivamente en un pozo de la costa norte en Hatillo. La salinidad por las prácticas de irrigación y la invasión del agua de mar, debido al excesivo bombeo y operaciones de drenaje, son las mayores influencias, mas o menos una tercera parte de los pozos y manantiales de los cuales se extrajeron las muestras eran positivos por la bacteria de coliforme fecal, una indicación de la contaminación fecal. Por lo tanto los desperdicios domésticos se infiltran o están siendo directamente descargados en los acuíferos y migran a las áreas de las que se extrae por los pozos de suministro público.

La detección de rasgos orgánicos es indicativa de una contaminación seria de los acuíferos. Los estándares para fenol (1mch/l) fueron excedidos en 13 de los 57 sitios de prueba (23%). Un pozo en Barceloneta contenía extractos neutros de base de Furano, Diazinone y Diethyl phthalate – el último ha sido designado como un contaminante prioritario. Un segundo pozo en Barceloneta estaba contaminado por pesticidas organoclorinados y organofósforos, policlorinados bifenilos (PCBs), naftalinas policlorinadas (PCNs), DDD, DDT, Dieldrin y Toxaphene. Los niveles de contaminación varían entre 600 a 10,000 veces por sobre el estándar.

En 1982-83 se llevó a cabo un estudio de seguimiento que enfocó los 17 manantiales principales de Puerto Rico [75]. Se hicieron ensayos de iones comunes y microelementos. Se descubrió que tres manantiales tenían niveles de plomo (PB) de 10-20 mg/l. Catorce manantiales (82%) mostraron la presencia de fosfatos (como P: pico .05 mg/l) y 11 o sea el 65% mostraron nitrógeno (como N: pico 5.9 mg/l). La imagen de los manantiales

Contaminación de los Acuíferos cársicos de Manatí por Nitratos

Nitrate Contamination of Limestone Aquifers at Manatí



Pozos Privados Industriales: (1) Dupont 4, 1.1 mgL; (2) Davis & Geck 2, 1.1 mgL; (3) Davis & Geck 1, 1.2 mgL; (4) Schering 1, 2.1 mgL; (5) Schering 2, 2.5 mgL; (6) La Roche 2, 1.7 mgL; (7) La Roche 1, 6.7 mgL; (8) Eaton, 9.2 mgL; (9) Ortho, 9.8 mgL; (10) Owens, 8.7 mgL; Pozo de la Dirección de Tierras; (11) Almacén 16.2 mgL; Pozos Públicos de Suministro de Agua: (12) Vocacional 2.1 mgL; (13) Coto Norte 3, 6.5 mgL; (14) Sobrino, 6.3 mgL; (15) Coto Sur 1, 11.3 mgL; (16) Coto Sur 6, 6.5 mgL; (17) Coto Sur 5, 7.3 mgL; (18) Coto Sur 3, 0.1 mgL; (19) Coto Sur 2, 12.8 mgL; (20) Pugnado 3, 11.0 mgL.

Figura 11. Producción de piña de alto rendimiento, una empresa económicamente exitosa, requiere una alta aplicación de fertilizantes los cuales están asociados con la contaminación de nitratos de las aguas de pozo. La contaminación de nitrógeno fecal también aparece en Parcelo Marquez. Tres pozos están en el límite tóxico (8, 9, 10) y cinco pozos exceden los estándares de agua potable para nitrato (11, 15, 18, 19, 20). El campo de 20 pozos en los acuíferos cársicos está en peligro. Datos de Refs. [72, 73], y visitas al campo.

montañosas cristalinas y puras fue aun más manchada por la presencia de bacteria coliforme fecal en el 94% de los sitios. Solo un sitio no excedió el estándar de una colonia por 100 ml de aguas servidas. Ciertamente 13 o el 76% de los manantiales exceden 100 colonias. Los sitios con la peor contaminación fueron Pozo de la Virgen, Río Guanajibo cerca de Sabana Grande (1,900 colonias) y Agua Frías, Río Grande de Manatí, cerca de Ciales (1,800 colonias). Los manantiales son una fuente importante de agua y pueden ser

utilizadas para suplementar los suministros de la superficie y de los pozos. Aguas Frías, por ejemplo, descarga 6.7 mgd, y varios de los otros manantiales descargan 4-7 mgd. La contaminación de estas fuentes por bacteria de coliforme fecal y el estreptococo fecal debería ser un tema de preocupación.

Se realizaron más estudios en la calidad del agua subterránea en 59 pozos y manantiales en 1982-1983 [76]. En cada uno de ocho pozos en Dorado, Vega Alta, Vega Baja, Barceloneta, Ponce y Guayama, en junio-julio de 1982, se encontraron concentraciones de varios microelementos orgánicos designados como "contaminantes de prioridad" (i.e. reconocidos como dañinos): bencina, dieldrin, lindane, cloruro de metileno, tricloroetileno, 1,2 trans-dicloroetileno y 2-ethylhexylphthalate. Un pozo en Vega Alta reveló un nivel de 480 mg/l de tricloroetileno; eso es 96 veces sobre el estándar permisible. Las nuevas pruebas de estos y otros pozos en los dos municipios de Arecibo y Santa Isabel, un total de 17 pozos en 1983, reveló una contaminación súbita por nueve microelementos orgánicos de compuestos en el agua subterránea de los cuales 76 o el 70% estaban calificados como contaminantes de prioridad.

Las aguas subterráneas de Puerto Rico ya no son inviolables. Un estudio de seguimiento inmediato de 90 pozos en Octubre de 1983 confirmó la evidencia creciente [77]. Cloruro de metileno un solvente industrial, se encontró en 17 de los 90 pozos en los cuales se hicieron pruebas (19%) y compuestos orgánicos volátiles halogenados estaban presentes en 15 de los pozos (17%). Dos volátiles halogenados, TCE y PCE, utilizados como solventes en las industrias de metales y electrónicos, estaban presentes en concentraciones muy altas. Un total de 96% de los 51 pozos de los cuales se tomaron muestras en las piedras calizas de la costa norte mostraron la presencia de ambos TCE tricloroetileno y PCE [tetracloroetileno]: 22% de los pozos excedieron el estándar promulgado de 5 mcg/l para TCE y 8% excedieron el mismo estándar para PCE. En los peores pozos, el nivel fue de 92 mcg/l o 18 veces por encima del estándar para TCE, y 17 mcg/l o 3.4 veces por encima del estándar para PCE.

La historia del campo de pozos para el suministro público de agua de Vega Alta es un ejemplo del proceso de la contaminación de los acuíferos. La manufactura liviana fue introducida hace 30 años cuando PRIDCO abrió una propiedad industrial en un sitio que antes estuvo ocupado por plantaciones de tomate. Los arrendatarios, compañías fabricantes, fueron rápidamente atraídas, y muchas oportunidades de empleo fueron creadas. El campo de 15 pozos, situado sobre la piedra caliza, suministró 5 mgd a Vega Alta y las comunidades en los alrededores. Pero en 1983 se encontraron trazas de compuestos orgánicos en el total de ocho pozos en los que realizaron pruebas en Vega Alta [76]. Algunos contaminantes, incluyendo TCE, fueron encontrados a niveles sumamente altos, y el área fue puesta en la lista nacional de prioridad de contaminantes (NPL).

Las fuentes potenciales de contaminación de los acuíferos son los vertederos sanitarios municipales, la planta de tratamiento de aguas servidas y la propiedad industrial de PRIDCO, todas ellas se encuentran a una distancia de 1.2-1.4 km una de la otra. Conjuntamente, existen 25 plantas de manufactura en el área. Hasta 1990, las partes responsable identificadas por la EPA fueron listadas como:

- (1) General Electric, contratista de imanes (Plainville, CT);
- (2) West, contenedores plásticos para fármacos (Phoenixville, PA);
- (3) Motorola, comunicaciones de radio (Schaumburg, IL);
- (4) Harman, espejos a control remoto (Harvard Industries, Farmingdale, NJ); y
- (5) Teledyne, Tubos metálicos (Century City, LA, CA) [78,79]

En el cuadrángulo de Vega Alta, 11 de los 40 pozos fueron clausurados (Fig. 9). Hay un grupo de cierres a lo largo de la carretera 693 cerca de la costa y el segundo es en el pueblo de Vega Alta, en y alrededor de la propiedad industrial. Se necesita mucho tiempo, gasto, y esfuerzo técnico si se quiere limpiar los acuíferos y si se los quiere rehabilitar (80). La limpieza de los acuíferos y la tasa de restauración de aguas subterráneas limpias servirá como un barómetro del éxito de Puerto Rico en el mantenimiento de buena salud ambiental.

EL AVANCE DE LA MAREA DE POLUCIÓN

Por el hecho de su relación histórica y el éxito del programa de industrialización, la Comunidad de Puerto Rico se ha levantado a niveles de consumerismo parecidos a esos que se encuentran en Estados Unidos {81}. Inclusive reconociendo la dificultad de las comparaciones estadísticas, es muy real reconocer que el estado de vida industrial de Puerto Rico es “occidental avanzado”.

Un atributo clave es la generación de desperdicios. Utilizando las estimaciones oficiales per cápita de producción de desperdicios y las cifras del censo de población, calculamos que 6,657 a 7,231 toneladas de desperdicios sólidos se producen diariamente, de los cuales sólo 5,700 toneladas son enviadas a los vertederos sanitarios (ver vertederos sanitarios más arriba). Por lo tanto concluimos que existe un residuo de 960 – 1,530 toneladas adicionales diarias que no llegan a los vertederos sanitarios municipales [41, 46]. La descarga ilegal, la quema o almacenaje puede por lo tanto sumar a un 14 – 21% de todos los desperdicios generados. Esta estimación aproximada no sería disonante con nuestras impresiones de reconocimiento de los caminos rurales secundarios, y desfiladeros alrededor de los pueblos, que son utilizadas como sitios de descarga oportunos *ad hoc* “gratis”.

La acumulación de desperdicios sólidos es predominantemente urbana. Aproximadamente 50% proviene de siete áreas: San Juan 978 toneladas por día, Bayamon 442, Ponce 425, Carolina 373, Caguas 265, Mayaguez 216 y Arecibo 125 [39]. Las proyecciones para el año 2000 muestran una concentración similar [41].

En comparación, la generación de desperdicios tóxicos está desparramada por un área muy amplia. Entre 526 “generadores” de desperdicios tóxicos listados por la Junta de Calidad Ambiental, sólo 38% proviene de las siete áreas principales: San Juan 48; Carolina 34; Bayamón 30; Ponce 29; Arecibo 20; Humacao 20; y Mayaguez 20 [39]. El restante 62% de los generadores de desperdicios tóxicos proviene del 91% de los municipios. Esto refleja el

desparramamiento amplio geográfico de las pequeñas plantas industriales a través de la Isla.

Las diferencias entre las ubicaciones de las plantas y ubicaciones urbanas son remediadas por el viaje al trabajo lo que se ha convertido en un rasgo principal de la vida Puertorriqueña. La mula y el camino de mula han sido completamente reemplazados por el automóvil y los caminos estrechos asfaltados. Los patrones residenciales, industriales y el viaje desde el domicilio hasta el lugar de trabajo están relacionados entre sí mismos con complejidad.

Las fuentes dispersas de contaminación tienen una fuerza potente que se ha pasado por alto en las áreas urbanas y sub-urbanas. Existen millares de descargas, legales e ilegales, que incluyen descargas industriales y domésticas. A menudo estos son actos individuales en menor escala, como grupos de jóvenes que manejan sus autos dentro de los arroyos montañosos para lavarlos con detergentes, un ritual de los domingos, o el vaciar el aceite usado del auto en los desagües de escorrentía. Una lista de la EPA de 868 “descargas tóxicas” en los arroyos reveló que el 72% eran de origen industrial y 28% municipales [60]. La JCA estima que en 1988 aproximadamente 397 toneladas de desperdicios tóxicos fueron descargadas en los arroyos y en las aguas superficiales de Puerto Rico mientras que las alcantarillas, en teoría la válvula de seguridad de la comunidad, recibieron 5,265 toneladas de desperdicios tóxicos, una diferencia de magnitud de 13 [23]. Las aguas residuales de las plantas de tratamiento de aguas servidas son una fuente mayor de contaminación tóxica, y por lo tanto el sistema de manejo en sí, en cierto sentido, un enemigo.

La calidad del agua superficial sintetiza de la mejor forma el dilema de la contaminación en Puerto Rico. El presente estado de los ríos es que el 51% por largo están moderadamente a severamente contaminados y que el 49% no pueden ser utilizados para la pesca o la natación (Tabla 8) [72]. Para los lagos y lagunas, 68%, por superficie de área, están moderadamente o severamente contaminados. Los estuarios están peor: 84% (por largo) están contaminados y 64% no se los recomienda para la natación. Inclusive la costa no escapa el avance de la contaminación: se estima que el 33% esta moderadamente a severamente contaminada, 27% no se recomienda para la pesca y 45% no se recomienda para la natación (Tabla 8).

La contaminación ahora ocurre en cierto número de lagos y embalses, inclusive en aquellos que se encuentran en áreas rurales distantes. Los “contaminantes principales”, en particular los compuestos orgánicos, son los mayores contaminantes [72]. Cuatro embalses de lagos están limitados por las concentraciones altas de fósforo. Estos son Dos Bocas, Carite, Guajataca y Las Garzas (Fig. 3). Dos embalses, La Plata y Loiza, ambos suministradores principales de agua potable para San Juan metropolitano, están limitados por concentraciones altas de nitrógeno.

Haciendo una revisión de la Isla en su totalidad, 12 de los 18 lagos observados son eutróficos (i.e. el fósforo excede 0.05 mg/l) 8 de los 18 tienen bajos niveles de oxígeno disuelto (bajo 5 mg/l), y 12 de los 12 lagos observados muestran rasgos de mercurio (media 0.23 mcg/l en comparación con el estándar de 1.0 mcg/l) [72]. Descargas de las empresas

de avicultura y ganado, áreas de producción de cultivos, vertederos sanitarios, plantas de tratamiento de aguas servidas y las alcantarillas urbanas combinadas progresivamente disminuyen la viabilidad de estos embalses. El enriquecimiento orgánico, pesticidas, metales pesados y otros contaminantes de filtraciones, descargas y lixiviaciones colectivamente amenazan los suministros de agua que mantienen la vida.

MUERTES DE PECES

La muerte repentina de grandes cantidades de peces, conocida como “fish kills” (ej. el embalse de La Plata, mencionado más arriba), proveen un indicador biológico sensible de la calidad del medio ambiente. Las causas pueden incluir los cambios en la temperatura natural y la salinidad, y las epidemias virales o de bacterias. A estas causas debemos añadir la pérdida de la viabilidad del agua debido a las actividades de la agricultura, y las descargas de las alcantarillas industriales y municipales. El fenómeno se está haciendo más común en Puerto Rico.

Tabla 8. Contaminación de los Cuerpos de Agua de Puerto Rico, 1988 – 89

Nivel de contaminación	% largo del río	% área del lago o laguna	% largo del estuario	% de costa
Mínima	38	31	8	58
Inicio de amenaza	11	1	8	9
Moderada	23	32	57	17
Severa	28	36	27	16
	100%	100%	100%	100%
Total evaluado	8645 km	4511 ha	284 km	698 km
Evaluado	6907 km	811 ha	274 km	493 km
Observado	1738 km	3630 km	10 km	205 km
<i>No recomendable para:</i>				
Pesca	49%	32%	46%	27%
Natación	49%	39%	64%	45%

Notas: 1 Fuente: Compaginado dla Junta de Calidad Ambiental [72]2, El nivel de contaminación expresado como un grado de apoyo-uso para las metas del Decreto de Agua Limpia (CWA): meta de completo apoyo, meta amenazada, meta de apoyo parcial, y meta de no apoyo. 3, No recomendable indica: que no está obteniendo la meta del CWA.

Un ejemplo es la muerte de peces en Adjuntas (Cuadro N°1) en el Lago Guayo (Figura 3) el 28 de mayo de 1989, causada por una disminución del oxígeno disuelto (OD). Se descubrió que el Lago contenía un nivel de 2.5 mg/l de OD comparado con el nivel normal de 5.0 mg/l de OD. Los peces fueron muertos por causa de descargas al agua de basuras ricas en nutrientes descargadas por una granja avícola cercana (72): En otro caso ilustrativo, una muerte de peces en el Caño Santiago, el 27 de Abril de 1989, cuyo rastro fue seguido hasta las descargas de la planta municipal de tratamiento de desechos de Yabucoa (Figura N°1) El mismo día, una muerte de peces de mayores proporciones ocurrió en la Laguna de San José de San Juan. Las descargas de aguas servidas comunales, incluyendo aquellas del Canal Martín Peña, combinadas con las condiciones naturales para producir un florecimiento letal de algas azul-verdosas (Phylum cyanophyta, de la especie de las unobaena). También murió una gran cantidad de mariscos (72).

La pregunta sobre quien es responsable por un incidente tóxico puede no estar sujeta a un seguimiento a causa de la preocupación por responsabilidades sectoriales. Por ejemplo, cerca al 19 de Marzo de 1990, un gran numero de camarones muertos empezaron a aparecer en el río Culebrinas en San Sebastian (Fig.1). Un pesticida, Aldicarb, usado para matar nematodos en granjas cercanas de plátanos, café y ganadería despertó las sospechas de ser el causante (Este pesticida es un derivado del methilisociamato, el agente del desastre Bhopal del 2 de Diciembre de 1984) La planta de filtración de San Sebastián fue cerrada como medida de seguridad, y una población de 50,000 personas tuvo que ser aprovisionada de agua por camiones cisterna por varios días. Después de resumir los servicios de aprovisionamiento de agua, no se condujo ninguna investigación para encontrar a los culpables. La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados se limitó a la “fase operacional de la distribución de agua” y adujo “no tenemos tiempo para hacer un seguimiento”. Habría que dirigirse al Departamento de Salud. Este último, sin embargo, consideró que el Sub Secretario para Salud Ambiental era el agente investigador responsable. A la vez, el Secretario declinó la clarificación de la situación. Más aún, al tiempo de llegar las muestras de agua al laboratorio referente en Savannah, Georgia, todo trazo de contaminante volátil había desaparecido (82).

Los desechos tóxicos industriales representan el mayor peligro de contaminación para la salud humana, sin embargo poco se conoce sobre los parámetros del problema. El informe de planeamiento de la Autoridad para el Manejo de los Desperdicios Sólidos indica que: “no existen fuentes de datos publicados sobre la generación de desechos peligrosos en Puerto Rico” (4). Una inspección de formularios de informe bi-anales preparados bajo la Acta de Conservación y Recuperación de Recursos, mostró una lista de 74 generadores de grandes cantidades de desechos tóxicos que producían un total de 540,000 toneladas de desechos (83). Sin embargo, se cree que estos manifiestos informan muy por debajo de la verdadera magnitud de la producción de desechos peligrosos.

Para el tratamiento, disposición y reciclaje de desechos tóxicos (TDR), solo existen tres instalaciones con licencia en la Isla. La primera es Proteco, un sitio de 14 hectáreas, en el Barrio Tallaboa, 15 Km al oeste de Ponce cerca de Peñuelas (Figura 1). Actualmente está cerrada como instalación para TDR por una orden de la Corte Federal, por ser un sitio de “super-fondo” peligroso, pero le está permitido continuar con funciones limitadas, tales como el almacenamiento de basuras que no sean tóxicas en un sitio vecino limpio; y continua embarcando basuras tóxicas a ultramar. El sitio condenado contiene 900 tambores de metales, lodos y solventes de los cuales el 40% son desechos de laboratorio (“envases de laboratorio”) (41, 84). La segunda instalación TDR, “Safety Clean Environmental Systems”, ocupa un sitio de 5 hectáreas en Manatí (Figura 1). Tiene licencia de almacenar solamente solventes y de procesar materias primas para embarcar a San Juan Cement Inc. Procesa 48 millones de libras de combustible y de solventes anualmente: reciclando el 48% y usando el resto de 52% en mezclas de combustibles. La tercera instalación TDR es: “Safety Kleen” de Dorado (Figura 1) que opera un plan de recuperación de recursos energéticos, recibiendo lodos sólidos de Manatí para su incineración en los hornos industriales de la Planta de San Juan Cement, Inc. Unas 15,000 toneladas de desechos farmacéuticos son tratadas térmicamente por año (41).

Así que no opera actualmente ninguna planta con licencia para el almacenamiento de desechos tóxicos en Puerto Rico. Una proporción desconocida de los desechos tóxicos de la isla es exportada a los Estados Unidos. Se sugiere extraoficialmente que es de un 40% y que el resto permanece en la isla.

La exportación a los EE.UU., mayormente a Carolina del Sur, encuentra la oposición de activistas del medio ambiente en ambas áreas, por la Federación de Vida Silvestre en Carolina del Sur y por la Sociedad de Historia Natural de Puerto Rico (44). Mientras tanto, la descarga ilegal de desechos tóxicos en vertederos municipales continua. La pregunta se convierte en una pregunta de conciencia pública y voluntad política. ¿Cuándo y como se frenará la marea progresiva de la contaminación ambiental?

EL FUTURO

A través de todo los Estados Unidos industriales, los abastos de agua están siendo contaminados en forma creciente. Sin embargo, las técnicas de tratamiento de aguas todavía reflejan, como la preocupación principal, a las enfermedades infecciosas del pasado más que a la contaminación tóxica del presente(85). Hasta dos décadas después de que se pasara la Acta del Agua Potable Segura (1974), el espectro de los químicos tóxicos en aguas públicas está incrementando y los riesgos han aumentado en lugar de disminuir.

No estamos discutiendo de que la situación particular de Puerto Rico, aunque seria, sea necesariamente peor que las situaciones encontradas en muchas áreas de los Estados Unidos (86). Lo que ofrecemos es una demostración de las variadas circunstancias que pueden combinarse para reducir la calidad de los abastos de aguas públicas. Las características especiales de Puerto Rico reflejan el rápido desarrollo económico de una pequeña isla tropical, sobre poblada, y dependiente de aguas subterráneas. En el resultado, el éxito de la política de industrialización de la isla ha disminuido gravemente los abastos de aguas públicas limpias. El crecimiento económico en sí, seguido por el retraso en la infraestructura, y los relajados controles de la contaminación, se han unido para producir la crisis en la calidad del agua. Además, todos los procesos que llevan hacia una contaminación del agua continúan sin que sean disminuidos.

El asalto combinado sobre la calidad del agua incluye:

- (1) Extensas fuentes dispersas de contaminación urbana.
- (2) descargas de aguas servidas;
- (3) vertederos municipales, incluyendo depósitos de desperdicios tóxicos;
- (4) sitios de descarga industrial
- (5) descargas en los ríos y sumideros; y
- (6) uso de fertilizantes para la agricultura y herbicidas

El monitoreo gubernamental y la aplicación de los estándares, en ambos sectores industriales privados y públicos, no son efectivos en Puerto Rico por el hecho de los programas hechos poco a poco y una falta de coordinación entre la multiplicidad de las agencias que tienen algo que ver con el agua. Decenas de gobiernos municipales, la corporación de desarrollo industrial, el Departamento de Salud, la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados, el Departamento de Recursos Naturales, la Junta de Planificación, la Junta de Calidad Ambiental, el Servicio *Geológico* y la legislatura nacional – están a menudo en disparidad con sus roles. Existe una falta de sinergia colectiva. No está todavía claro cual debería ser el rol apropiados de los diferentes niveles de gobierno para proveer agua potable segura.

Igualmente no está clara, y más allá del alcance de este estudio, la falta de información sobre el impacto de la contaminación del agua en la salud humana. La amenaza a la salud humana es obvia, pero ningún estudio epidemiológico se ha realizado, y los riesgos de salud no son identificados ni cuantificados. Fuera de los brotes epidémicos de gastroenteritis de la contaminación con coliformes fecales y estreptococos fecales, no existe un informe de evidencia patente de patología. La amenaza a la salud por los niveles en aumento de metales pesados, químicos y compuestos orgánicos en el agua tiene todavía que ser investigada. La ausencia de tales conexiones epidemiológicas es un gran déficit, un hiato en nuestro conocimiento de Puerto Rico. Es también un elemento de gran incertidumbre en la planificación global de la salud pública [87].

El Paraíso se ha perdido en Puerto Rico – sus aguas pristinas han sido empañadas – no por una conspiración diabólica, mas por los pecados de descuido, negligencia y omisión. El tiempo está pasando para ejecutar una reparación efectiva especialmente para los acuíferos más vulnerables. Existen políticas pero se necesita su aplicación. Recursos para presupuestos también existen pero tienen que ser explotados en los sectores privados y públicos. Lo que fundamentalmente se necesita es un nivel más amplio de percepción pública y un consenso para motivar la voluntad política. La voz ambientalista es callada y marginada. Un liderazgo debe surgir a través de todos los sectores de la población. La contaminación del agua constituye el problema ambiental más serio en Puerto Rico. Su reto todavía no ha sido adecuadamente abordado.

Agradecimientos- Nuestro agradecimiento a los diferentes oficiales de agencias gubernamentales que tienen que ver con el medio ambiente: La Junta de Calidad Ambiental, la Agencia de Protección Ambiental, la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados, la Administración de Desperdicios Sólidos, el Departamento de Recursos Naturales, el Servicio Geológico y al Departamento de Salubridad por su generosa contribución de información, informes y documentos. Ellen R. White, Jefa del Laboratorio de Cartografía, Departamento de Geografía, Universidad Estatal de Michigan, preparó con gentileza las cifras, y Marilyn Bria, también del Departamento de Geografía que brindó el apoyo secretarial por lo cual les estamos muy agradecidos.