

Calidad ambiental y su relación con el crecimiento económico en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá

*Edison Vásquez Sánchez
Jhon Jairo García Rendón*

Edison Vásquez Sánchez*
Jhon Jairo García Rendón**

● **Resumen:** Diversos estudios han explorado la relación entre crecimiento económico y calidad ambiental en un intento por corroborar que la pobreza exagera la degradación del medio ambiente. La esperanza de que el crecimiento económico contribuye efectivamente al mejoramiento de los problemas ambientales, abriendo la posibilidad a la conformación de ambientes urbanos sostenibles, es una hipótesis que bien vale la pena confrontar desde las realidades y condiciones locales de las ciudades. Este artículo expone la discusión alrededor tal hipótesis y considera un ejercicio exploratorio entre la relación entre crecimiento económico y calidad ambiental para el caso particular del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Palabras clave: calidad ambiental, crecimiento económico, gestión ambiental, urbe sostenible, residuos sólidos.

● **Abstract:** Some studies, which explore the relation between economic growth and environmental quality, attempt to prove that poverty exacerbates environmental degradation process. Just an hypothesis worthwhile to face from local urban realities is the fact that economic growth brings an opportunity to create sustainable urban sites and contributes to improve environmental damage subjects in the long run. This writing exposes a part of the main discussion about the related hypothesis and presents some exploratory exercise results, taking account empirical relation signals of the economic growth and environmental quality improvement (or degradation) in the Aburrá Valley Metropolitan Area particular stage.

Key words: environmental quality, economic growth, environmental management, sustainable city, solid wastes.

* Docente e Investigador. Dirección: edisonde@yahoo.com

** Docente e Investigador de la Universidad Eafit. Dirección: jgarcia@eafit.edu.co

Calidad ambiental y su relación con el crecimiento económico en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá

*Edison Vásquez Sánchez**
*Jhon Jairo García Rendón***

1. Introducción¹

El mito según el cual ocuparse del ambiente es un bien de lujo disponible sólo para las economías de altos ingresos o que continuaremos recibiendo en forma ilimitada y por tiempo indefinido los beneficios de los servicios ambientales provistos por los ecosistemas naturales va llegando a su fin.

Todo propósito socioeconómico genera algún tipo de impacto en el ambiente. El proceso productivo, que es el resultado de una elección deliberada hecha por la sociedad o algunos de sus individuos, determina en buena parte su nivel de ingreso y de crecimiento económico y genera perturbaciones indeseables sobre el ambiente que se contraponen al mayor nivel de bienestar social buscado. La calidad ambiental tiene múltiples dimensiones y su relación con el crecimiento económico en el contexto urbano constituye un factor relevante en la determinación del nivel de bienestar de los seres humanos allí asentados, así como en la focalización de políticas de gestión prioritarias para implementar prácticas de desarrollo más compatibles con el ambiente.

1 El contenido de este artículo es un aparte del Trabajo de Investigación “Aspectos de la Calidad Ambiental y su Relación con el Crecimiento Económico en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá”, presentado por los autores (2001). Los autores agradecen la valiosa asesoría de Hans Burkard.

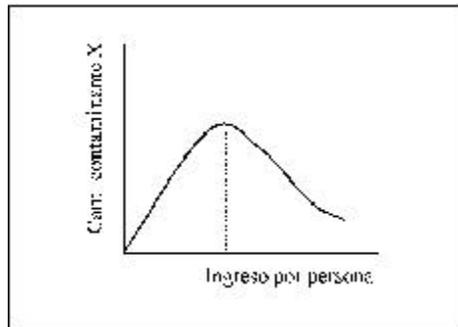
Este artículo discute la hipótesis de que el crecimiento económico contribuye al mejoramiento de los problemas ambientales locales. El trabajo comienza planteando los lineamientos teóricos sobre la relación entre crecimiento económico y calidad ambiental, se considera el reto ambiental que enfrentan las ciudades y finalmente se explora la evidencia empírica local relativa al objeto de estudio.

2. Calidad ambiental y crecimiento económico

Se ha creído que un mayor nivel de ingreso está asociado con un mejor ambiente y que la pobreza exagera la degradación del ambiente porque limita el acceso a tecnologías “limpias” que usualmente son más costosas e induce al hombre a prácticas extractivas insostenibles de recursos naturales que le permitan su supervivencia. Asociado a este razonamiento, está el supuesto que cuando las necesidades básicas han sido satisfechas por el hombre, éste comienza a darle importancia a otros ingredientes del bienestar total, como el ambiente (Costanza, Cumberland, Daly, Goodland y Norgaard, 1999).

Este argumento suena convincente, pero es importante no olvidar que representa justamente una hipótesis en proceso de verificación, sobre la cuál existe cierto grado de evidencia empírica. Algunos estudios (Grossman y Krueger, 1995; Shafik y Bandyopadhyay, 1992; Selden y Song, 1994; Hilton y Levinson, 1998; Hettige, Mani y Wheeler, 2000) concluyen que diversas variables, indicadoras de degradación ambiental, y el ingreso tienen una relación de “U invertida”, o sea que la contaminación aumenta rápido con el crecimiento económico en los países con bajos niveles de ingreso, eventualmente alcanza un máximo y comienza a caer a partir de un nivel crítico de ingreso alcanzado, tal como lo ilustra el gráfico 1. Conviene mencionar que el crecimiento económico se mide a través del incremento en el Producto Interno Bruto (PIB), a su vez, el PIB representa el ingreso de una economía, porque es la suma del valor de mercado de todos los bienes y servicios que produce dicha economía durante un determinado período de tiempo.

Gráfico 1²
Curva de Kuznets



Fuente: Hilton y Levinson (1998).

Dichos estudios han hecho gran énfasis a la relación entre ingreso y calidad ambiental. Comparativamente es escasa la consideración de la perspectiva integral propuesta por el Desarrollo Sostenible³ hasta ahora. Al respecto vale la pena preguntarse cuál es el costo ambiental mundial que algunos países hayan alcanzado niveles de ingreso anuales per cápita elevados y si tiene alguna relevancia la escala de consumo, de producción, de población, estilo de vida, valores, creencias, organización sociopolítica, entre otros factores, que condicionan la realidad social, económica y ambiental. Algunas cifras pueden sugerir que no siempre basta un elevado ingreso para acceder a mejores ambientes:

- 2 A este tipo de relación también se le conoce como “Curva de Kuznets”, por ser este teórico de la economía quién planteó por primera vez este patrón de comportamiento entre el crecimiento económico y la desigualdad en el ingreso, a mediados de la década de 1950.
- 3 El Desarrollo Sostenible es una base teórica de orientación que busca cambios efectivos en los patrones de comportamiento social para alcanzar un nivel de bienestar más elevado. Propone un razonamiento bastante amplio, en el que es esencial integrar la dimensión económica, social y ambiental.

Cuadro 1
Comparativo de indicadores de contaminación
del aire y del agua en algunas regiones

Países	Contaminante del aire				Contaminante orgánico del agua			
	1980		1995		1980		1993	
	Millones tns. año	Tns. persona año	Millones tns. año	Tns. persona año	Tns. día	Grs. persona año	Tns. día	Grs. persona día
Seis países del G7	7.283,3	13,6	8.323,3	14,0	6.652,7	12,4	5.970,6	10,2
Latino América	845,6	2,4	1.215,5	2,6	1.628,5	5,2	1674,8	4,2
Colombia	39,8	1,4	67,5	1,8	96,0	3,4	97,0	2,7

Fuente: Cálculos propios. Banco Mundial, Indicadores de Desarrollo Mundial 1998.

Observaciones: (1) Los contaminantes del agua y del aire están medidos por la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la emisión de dióxido de carbón (CO₂) respectivamente. (2) Los países del "Grupo de los Siete" (G7) considerados son Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Japón y Reino Unido; Alemania no se incluyó por falta de datos. Latinoamérica incluye 23 países, exceptuando Guyana, Surinam y Guayana Francesa. (3) Los datos asociados con el contaminante orgánico del agua en Latinoamérica en los años 1980 y 1993 no incluyen, por falta de datos, los siguientes países: Costa Rica, Cuba, Haití, Nicaragua, Paraguay, Perú y República Dominicana.

Como se observa en el cuadro 1, las emisiones de dióxido de carbón van en aumento en los países analizados e incluso en todo el mundo, pero hay un desequilibrio notorio en su generación. En efecto, mientras Estados Unidos, la Unión Europea y Japón representaban el 13% de la población mundial en 1995, contribuyeron con el 42% de la emisión global de dióxido de carbón. En el año 1995 los países de ingreso elevado⁴ emitieron en promedio cinco veces más dióxido de carbón por persona que los países de ingreso medio, contribuyendo con el 49% de la emisión total en comparación con un 31% proveniente de estos últimos, y 32 veces más que los países de bajo ingreso sin incluir la India y la China.

4 Un país con ingreso inferior a 650 dólares americanos de 1998 por persona se considera de ingreso bajo, entre 650 y 6.500 de ingreso medio, y superior a 6.500 de ingreso elevado (Serageldin, 1994). El ingreso estimado de Colombia por persona año es de US\$1.800.

Un trabajo empírico reconocido ha simulado un escenario para la contaminación del aire en el que se estima que las emisiones totales de gases contaminantes van a declinar en un plazo de tiempo bastante considerable, mientras tanto en los próximos treinta años, éstas continuarán incrementándose (Selden y Song, 1994).

En contraste con el dióxido de carbón, las emisiones de contaminantes orgánicos del agua muestran una tendencia decreciente en los países analizados. Sin embargo, la tasa de decrecimiento promedio anual entre 1980 y 1993 en los seis países del G7 considerados es de 1.49%, menor en comparación con la de Latinoamérica y Colombia, que fueron de 1.63% y 1,76% respectivamente. Es importante mencionar que la actividad industrial es la principal, más no la única fuente de degradación de la calidad del agua, y estos datos provienen en esencia del sector industrial.

Aunque bien puede aceptarse la existencia de una relación entre el crecimiento económico y la calidad ambiental, no es tan claro en qué sentido se presenta la asociación. “En el plano teórico no es posible predecir como evolucionará la calidad ambiental con los cambios en el ingreso por persona” (Shafik y Bandyopadhyay, 1992); sin embargo la evidencia empírica da algunos indicios interesantes, al mostrar que existen al menos tres patrones de comportamiento en tal asociación:

- Algunas variables, eventualmente relacionadas con problemas ambientales y que en esencia constituyen necesidades básicas como el suministro de agua potable y servicios sanitarios, mejoran a medida que se incrementa la dinámica económica y por ende del ingreso.
- Otras variables, especialmente relacionadas con la contaminación del aire, presentan una relación “U invertida” con el ingreso. Es el caso, para el aire, del dióxido de azufre, las partículas sólidas suspendidas y la contaminación por plomo usado en la gasolina como detonante.
- Variables como la emisión de dióxido de carbón, coliforme total concentrada en el agua de ríos y generación de residuos, empeoran a medida que se incrementa el ingreso.

Los estudios realizados, sobre la evidencia empírica de la curva tipo “U invertida”, a falta de resultados comparables, convergentes y a falta de una teoría sólida con que explicar el patrón de comportamiento de la calidad ambiental, han evitado asumir interpretaciones estructurales de los resultados obtenidos hasta hoy (Grossman y Krueger, 1995). No obstante, se han planteado dos posibles explicaciones a la curva en cuestión: primero, el patrón típico de desarrollo de muchos países conlleva una transición de una economía agrícola de subsistencia poco intensiva en contaminación ambiental, a una manufacturera más contaminante y de vuelta a una

economía de servicios menos contaminante, es lo que se denomina “Efecto composición”. Segundo, la curva es el producto entre la cantidad de sustancia activa contaminante asociada a un material o bien (“efecto intensidad”) y la cantidad usada de dicho material o bien (“efecto escala”), por ejemplo, cantidad de plomo usado por galones de gasolina consumidos. Se argumenta que cuanto mayor es el ingreso mayor es el “efecto escala” pero no necesariamente mayor será el “efecto intensidad” y es justamente este último efecto la posible explicación del quiebre en la tendencia que origina la curva “U invertida”, al menos probado para el ejemplo citado (Hilton y Levinson, 1998).

Los resultados empíricos sugieren que no existen patrones de degradación ambiental óptimos o subóptimos y que a la hora de enfrentar las demandas ambientales y tomar decisiones, no sólo es decisiva la potencialidad económica, de la cual depende el nivel de ingreso y la posibilidad de invertir en la recuperación u obtención de un mejor ambiente, también son decisivos los resultados que puedan derivarse de:

- La potencia tecnológica, inmersa en los procesos de transformación y organización estructural de toda sociedad, que efectivamente pueda ponerse en marcha para producir más bienes con menos recursos y mitigar la contaminación tanto en la fuente como en el vertedero.
- El inventario de recursos naturales disponibles y el grado de elasticidad de los ecosistemas, que determinan, en gran medida, las tasas y posibilidades de recuperación ambiental efectiva.
- Los aspectos relativos a la cultura, el comportamiento y la organización social, los cuales se traducen en instituciones, políticas, incentivos, niveles de confianza, regulaciones y sistemas de promoción y castigo; contruidos alrededor de la actividad socioeconómica.
- Los principios bajo los cuales se integran y direccionan las dimensiones anteriores. Por ejemplo, equidad, eficiencia, participación, universalidad.

Todos estos factores de complejo pronóstico recogen la esencia de los lineamientos del Desarrollo Sostenible e impiden tener certeza sobre la dirección de la relación entre la calidad ambiental y el nivel de ingreso. Hay consenso en el peligro de creer que toda economía sigue automáticamente un proceso bajo el cuál la calidad medioambiental mejora una vez que los ingresos de un país determinado se han elevado, por tanto, ningún país puede esperar de modo pasivo alcanzar una mejor posición económica para invertir y demandar mejoras en la calidad de su ambiente (Hilton y Levinson, 1998).

Otro argumento, complemento de la tesis, según la cual un mayor nivel de ingreso está asociado con un mejor ambiente, sostiene que a mayores niveles de ingreso más pequeña es la participación de la industria en el Producto Interno Bruto y mayor es la del sector de servicios, el cual es más intensivo en el uso de mano de obra y requiere menos insumos tanto energéticos como naturales (Miller, 1994). Así, las economías con un sector de servicios fortalecido, se hacen acreedoras del rótulo “menos contaminantes”. Este argumento puede resultar apresurado si se considera otra versión también muy aceptada, según la cual las economías de altos ingresos e intensivas en el uso de capital construido tienden a concentrarse en la producción de bienes contaminantes, en comparación con los países en desarrollo, los cuales son más intensivos en el uso del factor trabajo y por tanto sus industrias son regularmente menos contaminantes. Más aún, es posible desplazar la producción de bienes intensivos en contaminación desde un territorio dado hacia países con sistemas legales vulnerables y normas laxas en materia de protección medioambiental.

Hay que mencionar que las demandas sociales, para hacer frente a las perturbaciones ambientales, tienden a traducirse en acciones efectivas en los casos en que la degradación ambiental se traduce en un costo local generalizado, que afecta sustancialmente el bienestar colectivo y, el monto de inversión requerido para contrarrestar el problema es relativamente bajo. Cuando el costo ambiental debe asumirlo otra región o país o grupo de países, pueden no existir muchos incentivos para cambiar las prácticas contaminantes (Beckerman, 1992). No obstante, esta lógica de comportamiento de los agentes depende también de otros factores al margen de un simple análisis costo-beneficio.

3. La ciudad y el reto ambiental

Un asentamiento es la consecuencia de un determinado proceso histórico de apropiación y transformación social de la naturaleza en procura de lograr la supervivencia y la satisfacción de ciertas necesidades accesorias (Leff et al. 1994). Los asentamientos urbanos presentan algunas de las problemáticas más apremiantes en materia ambiental, ya que las transformaciones bruscas en el tiempo y el espacio de los componentes relativos a los soportes naturales o las alteraciones de los complejos intercambios existentes en los ecosistemas naturales, tienden a ser más probables y severos allí donde la apropiación y uso del recurso natural presenta una mayor escala y se da una mayor dinámica poblacional y productiva (Leff et al. 1994).

En Colombia entre 1980 y 1996 la tasa de crecimiento promedio anual de la población total fue de 1,89%, mientras que la población urbana creció a una tasa promedio anual del 2,73% en el mismo periodo. Así, la población urbana pasó de

representar el 64% de la población total en 1980 a representar el 73% en 1996, una cifra cercana a los 27,4 millones de habitantes (The World Bank Group, 1997).

En la actualidad la mayoría de las ciudades del mundo siguen patrones irracionales de consumo de recursos, puesto que utilizan los recursos de forma ineficiente y desperdician más energía de la necesaria. Las externalidades negativas más visibles del crecimiento físico y económico de las urbes tienen que ver con la degradación del ambiente, el agotamiento de recursos naturales y la disminución de la calidad de vida de sus habitantes. Esto ha llevado a preguntarse ¿Son las ciudades espacios de vida deseables?, ¿Son una opción idónea para alcanzar un real bienestar social?, ¿Son sostenibles?. (Miller, 1994).

Los gráficos 2 y 3 ilustran, a un nivel muy general, el contraste entre una urbe que opera bajo un perfil no sostenible y una que si lo hace. En ambos casos la actividad productiva está condicionada por la disponibilidad de distintos tipos de capital⁵, la diferencia fundamental se encuentra en los criterios, prácticas y formas de uso de dicho capital. No obstante, una urbe no sostenible no dispone de un recurso valioso como el capital social.

El producto económico de la urbe se destina a diversos fines, que en general pueden denominarse bajo los dos grandes rubros, de consumo y de ahorro, este último componente apunta a mantener e incrementar los niveles de capital que han sido creados por el hombre. La obtención del producto económico y el consumo de los bienes que lo componen conlleva un nivel de impacto en el ambiente. Este impacto puede ser creciente, constante o decreciente. Todo depende no tanto de las posibilidades tecnológicas, como de la actitud y el consenso de los habitantes urbanos, alrededor de la inversión y el tratamiento de las distintas clases de residuos contaminantes que genera la actividad productiva. Finalmente el ciclo, que es continuo, culmina o reinicia con un saldo. Este saldo, que puede ser positivo, negativo o cero para la calidad del ambiente local, se ajusta en el balance global urbano, vía la menor,

5 El capital humano incluye factores como la experiencia y grado de calificación de las personas para ejecutar acciones productivas. La tecnología o el conocimiento sobre la forma cómo se deben ejecutar dichas acciones es un factor muy ligado a este tipo de capital. El capital construido por el hombre comprende la infraestructura, máquinas, bienes manufacturados y recursos financieros disponibles para producir bienes y servicios. El capital natural está constituido por recursos no renovables como materias fósiles y minerales, recursos renovables como materias biogénicas usadas para fines productivos, recursos ambientales como dotación de suelos, agua, aire, flora, fauna y servicios de los ecosistemas naturales (amenidad ambiental).

mayor o igual disponibilidad de capital total para producir y consumir en períodos posteriores.

La tecnología es prometedora en soluciones sostenibles a ciertos problemas ambientales relativos al consumo de energía y materiales, por ejemplo, sustitutos “más limpios” de los combustibles fósiles así como la organización industrial alrededor del reciclaje ya han comenzado a tener aplicaciones, aunque a una escala pequeña e insuficiente para ostentar un resultado positivo notorio (Serageldin y Cohen eds. 1994).

Es imperativo asumir el reto de trazar soluciones viables y sostenibles para los problemas urbanos, puesto que la cuota álgida de competitividad de las naciones residirá en sus ciudades. A futuro la calidad ambiental de las ciudades es una estrategia competitiva y de diferenciación que permitirá atraer más inversión, más turismo, mayor aceptación de los productos locales en el mercado internacional; además, de las mejoras en eficiencia productiva y bienestar social que conllevan los esfuerzos en este sentido.

4. Calidad ambiental vs crecimiento económico: evidencia empírica local

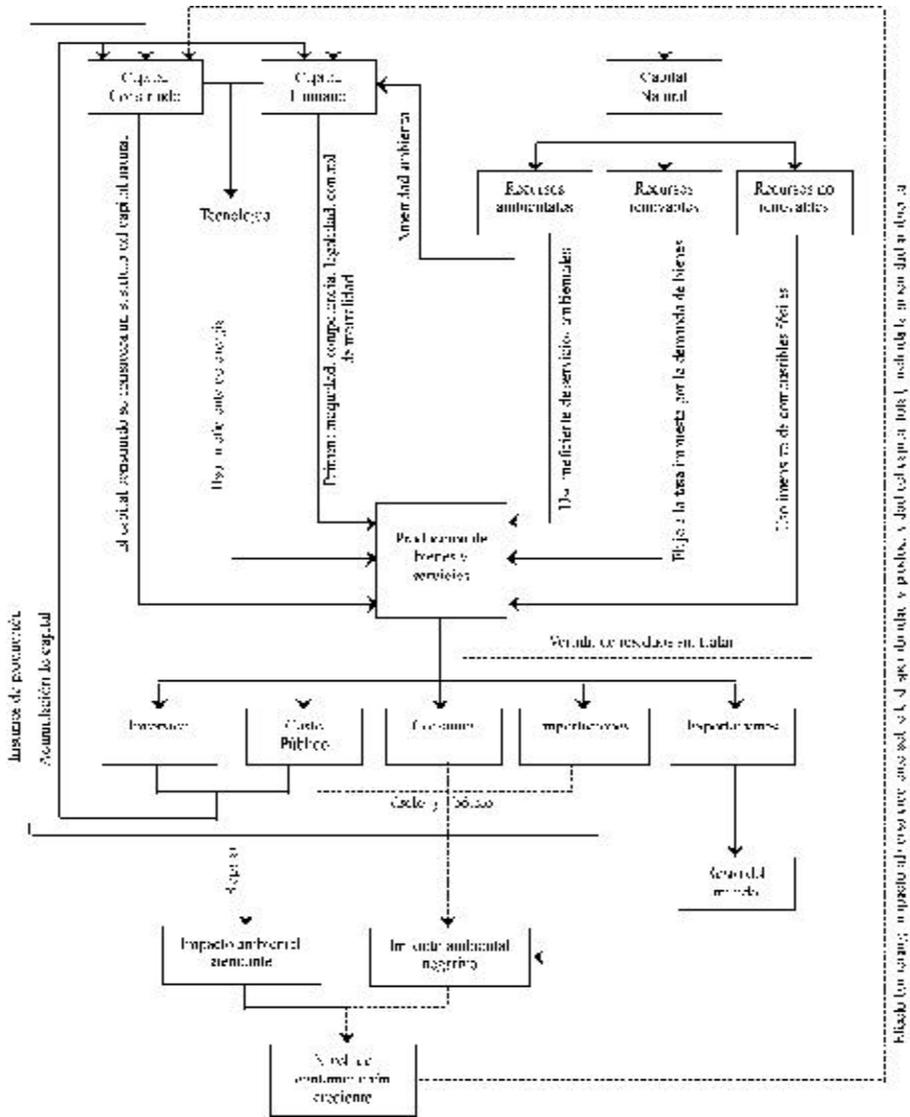
En el Área Metropolitana del Valle de Aburrá se estima que residen cerca de 3 millones de habitantes, es decir el 7,4% de la población colombiana. El balance creciente de algunas demandas básicas de esta población y los requerimientos de estructuración social, política y económica para satisfacerlas a plenitud, han hecho evidentes desde hace largo tiempo algunos saldos rojos, en especial en materia de empleo, dotación de infraestructura para el uso público, cobertura en educación y salud, acceso a vivienda y recreación, que entre otros, han sido el caballo de batalla de la gestión tanto pública como privada.

El ingrediente ambiental recién comenzó a figurar en un primer plano en los programas de gestión municipal y su saldo está en relación directa con diversos problemas, entre los que sobresalen:

- Contaminación del aire, destacándose el monóxido de carbón emitido principalmente por el parque automotor.
- Niveles de ruido por encima de los estándares permisibles o deseados.
- Contaminación del recurso hídrico, debido al vertimiento de residuos líquidos y sólidos por parte del sector industrial y residencial tanto en el río Medellín como en diversas quebradas y arroyos afluentes de éste.

Gráfico 2

Dinámica de crecimiento económico de una urbe bajo criterios no sostenibles



Fuente: Elaboración propia.

- Deterioro del recurso suelo y expansión poco planificada del suelo urbano.
- Déficit de espacios públicos y zonas verdes con relación al grado de urbanización y el volumen de población.
- Falta de tratamiento integral a lo largo del proceso que va desde la generación de residuos sólidos hasta la disposición final de los mismos.
- Conocimiento parcial de los inventarios de flora y fauna locales, así como del diagnóstico y cuantificación del impacto de la presión urbana sobre estos recursos.

En contraste, se destaca que en los últimos años los esfuerzos de control ejercidos sobre la industria y el programa de tecnología limpia dan indicios de haber incidido positivamente en la descontaminación progresiva por material particulado suspendido en el aire, aunque los esfuerzos deban continuar, toda vez que las concentraciones de partículas sólidas suspendidas están por encima de los niveles permisibles.

La gestión del recurso hídrico presenta un escenario de concurrencia de acciones aisladas mitigadoras, pero que representan inversiones económicas cuantiosas en los últimos años. En esencia se ha buscado la ordenación, recuperación y conservación de las cuencas.

Es bastante explícito el nexo entre la calidad ambiental y crecimiento económico, puesto que gran parte de la esencia de éste último es alcanzar el máximo producto posible que permita elevar el nivel de bienestar que produce la disponibilidad y el consumo de bienes y servicios, incluso la calidad ambiental puede, en conjunto, considerarse otro bien o servicio clave para que los individuos de una región determinada alcancen un nivel de vida elevado. No obstante, la naturaleza impone sus propias reglas, las cuales con frecuencia nos impiden disfrutar del beneficio simultáneo de producir más, sin agotar más recursos y generar más residuos. Este dilema exige un gran esfuerzo colectivo para tomar las decisiones acertadas, toda vez que el balance resultante de la relación en cuestión no es siempre explícito, ni de fácil cuantificación.

Para observar más a profundidad tal relación, se plantea a continuación un ejercicio, de corte teórico, enfocado a brindar elementos analíticos, a través de la modelación econométrica de las relaciones entre crecimiento económico y factores relativos a la calidad del ambiente, para lo cual se “exploran” dos modelos con toda su rigurosidad teórica (ver Anexo 3).

Es importante anotar que: 1) el resultado no busca planteamientos predictivos sobre la contaminación ambiental del caso local considerado; 2) a pesar de que la

información se convierte en una restricción del ejercicio, representa también un reto para sortearlo de la manera más favorable para los fines del estudio y, 3) los modelos no son ajenos a pruebas empíricas que han desarrollado diversos autores para países con diversos niveles de ingreso, en especial Shafik y Bandyopadhyay (1992) quienes plantearon un modelo semi-log para diversas variables indicadoras de la contaminación ambiental. Tampoco son ajenos al comportamiento acelerado que se ha observado en la generación de residuos sólidos en los últimos años en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, el cual supera con facilidad posibles tasas ponderadoras, como las que indican el crecimiento del ingreso real y la población local.

Los modelos propuestos son:

$$(1) R = Y^{\beta_1} T^{\beta_2} e^{[C + \epsilon]}, \text{ equivalente a: } \text{Ln}R = C + \beta_1 \text{Ln}Y + \beta_2 \text{Ln}T + \epsilon$$

$$(2) R = e^{[C + \beta_1 Y + \beta_2 T + \epsilon]}, \text{ equivalente a: } \text{Ln}R = C + \beta_1 Y + \beta_2 T + \epsilon$$

Tanto en el modelo Log-lineal (1) como en el modelo semi-log (2), el logaritmo de los residuos sólidos (LnR) es la variable explicada o regresada. En (1) las variables explicativas o regresoras son el logaritmo de la variable PIB real promedio por persona⁶ (LnY) y el logaritmo de una variable proxy de la tecnología⁷ (LnT). En el caso del modelo (2) las variables explicativas son Y y T. Ambos modelos incluyen un término constante (C) y un término de error aleatorio (ϵ).

Los resultados obtenidos mediante una regresión de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) son los siguientes:

$$(1) \text{Ln}R = -30,52594 + 3,55389 * \text{Ln}Y + 0,74583 * \text{Ln}T + \epsilon$$

$$(-4,06805) \quad (3,77114) \quad (2,20395)$$

$$(2) \text{Ln}R = 8,52553 + 0,0000984 * Y + 0,000213 * T + \epsilon$$

$$(11,92718) \quad (3,26163) \quad (1,93345)$$

Como indican los valores t entre paréntesis, en ambos modelos todos los coeficientes son significativamente diferentes de cero. Según el R^2 ajustado, para ambos modelos, más del 90% de la variación en los valores de LnR se debe a una

6 El PIB real por persona (U) difiere del PIB real promedio por persona (Y) en el sentido de que este último captura el efecto del ingreso permanente, ya que promedia el ingreso real que cada persona obtuvo durante los últimos cinco años.

7 Corresponde al número de profesionales de pregrado graduados cada año, en el periodo de análisis, en una muestra representativa de cuatro universidades locales: Universidad de Antioquia, Universidad Nacional, Universidad EAFIT y Universidad Bolivariana.

relación lineal con las variables explicativas consideradas. Además, se realizaron algunas pruebas claves que permiten tener certeza sobre la pertinencia y consistencia de la estimación realizada. Una prueba fundamental es el contraste de cointegración, a partir de cuyos resultados puede inferirse que la relación entre la variable dependiente y las variables explicativas es causal. No obstante, el grado de confiabilidad de la prueba es del 90%. Los modelos estimados no presentan ni autocorrelación ni heterocedasticidad (ver Anexo 3).

En muchos modelos econométricos se presenta algún grado de multicolinealidad entre las variables explicativas. Los modelos expuestos no son la excepción. Sin embargo, al realizar contrastes detallados la multicolinealidad no es severa (ver Anexo 3).

Resulta de interés establecer la diferencia interpretativa de los resultados obtenidos en los modelos estimados. En (1) los coeficientes representan elasticidades, por tanto se probaron las siguientes hipótesis: (a) $H_0: \beta_1 < 1$ contra $H_1: \beta_1 \geq 1$ y (b) $H_0: \beta_2 < 1$ contra $H_1: \beta_2 \geq 1$. Usando el estadístico t se pudo concluir que la generación de residuos sólidos es elástica frente a cambios en el ingreso real promedio por persona e inelástica frente a los cambios en la tecnología. Es decir, que la generación de residuos sólidos varía más que proporcionalmente frente a los cambios en el ingreso real promedio por persona y menos que proporcionalmente frente a los cambios en la tecnología.

En (2) por su parte, β_1 representa la tasa de crecimiento promedio de los residuos sólidos atribuible a los incrementos en el ingreso real promedio por persona (0,00984%), mientras β_2 representa la tasa de crecimiento promedio de los residuos sólidos atribuible a los incrementos en el nivel tecnológico (0,0213%). Cuando las variaciones en las tasas de crecimiento promedio de los residuos sólidos atribuibles a cambios en Y y T sean nulas, se estima un incremento de los residuos en aproximadamente 5.041,85 toneladas año.

El signo del coeficiente β_2 tal vez no sea el esperado a priori en ambos modelos, pero ha de tenerse en cuenta que la tecnología es una variable aproximada por el número de profesionales que egresan de las universidades cada año; además el avance tecnológico bien entraña mayores posibilidades de producción y/o consumo y por ende mayor es el potencial de generación de residuos sólidos.

5. Conclusiones

El proceso productivo de un país o región determina su nivel de crecimiento económico y a la vez genera perturbaciones indeseables sobre el ambiente que se

contraponen al mayor nivel de bienestar social buscado. Se cree que un mayor nivel de ingreso está asociado con un mejor ambiente y que la pobreza exagera la degradación del ambiente, tal argumento suena convincente, pero representa una hipótesis apenas en proceso de verificación.

Aunque puede aceptarse la existencia de una relación entre el crecimiento económico y la calidad ambiental, no es tan claro en qué sentido se presenta la asociación. La evidencia empírica da algunos indicios interesantes, al mostrar que existen al menos tres patrones de comportamiento en tal asociación.

La calidad ambiental tiene múltiples dimensiones y su relación con el crecimiento económico en el contexto urbano constituye un factor relevante en la determinación del nivel de bienestar de los seres humanos allí asentados, así como en la focalización de políticas de gestión prioritarias para implementar prácticas de desarrollo más compatibles con el ambiente. Es imperativo asumir el reto de trazar soluciones viables y sostenibles para los problemas urbanos, puesto que la cuota álgida de competitividad de las naciones residirá en sus ciudades.

Los modelos estimados representan una propuesta exploratoria que permita obtener una idea de la intensidad con que se relacionan las variables calidad ambiental y crecimiento económico y la posible forma funcional de dicha relación. También dan cuenta de la sensibilidad de los residuos sólidos producidos frente al nivel de ingreso promedio real que cada persona obtiene y frente al nivel de tecnología para el caso local considerado.

El debate sobre la protección del ambiente ha ganado en la última década la importancia que le corresponde y no es para menos, la humanidad entera debe ser la acreedora efectiva del desarrollo que ella misma genera y no su víctima. La sociedad en general no puede marginarse de esta temática y mucho menos de la formulación y ejecución de acciones de desarrollo sostenibles, construidas sobre una amplia base participativa y un compromiso activo de toda la sociedad y los sectores protagonistas. No hacerlo se corresponde con un fatuo síntoma de atraso, por el que las generaciones futuras y acaso nosotros mismos hemos de pagar a un costo comparativo más elevado, frente a la justa opción de corregir los excesos hoy.

Bibliografía

- Beckerman, W. (1992) *Economic Development and the Environment: Conflict or Complementarity?*, Background paper for World Development Report 1992, Washington D. C.: World Bank.
- Contraloría General de la República (1998) *El Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente*, Bogotá D. C.: División de Imprenta y Publicaciones de la Contraloría General de la República.
- Costanza, R., J. Cumberland, H. Daly, R. Goodland y R. Norgaard (1999) *Una Introducción a la Economía Ecológica*, 1ra ed., México: CECSA.
- Engle, R. y B. Yoo (1987) "Forecasting and Testing in Cointegrated Systems", En: *Journal of Econometrics*, No. 35, North-Holland, p 143-149.
- Gómez, C. M. (1998) "La gestión Económica de los Recursos Naturales y sus Críticos", En: *Lecturas de Economía*, No. 49, Medellín, p 85-114.
- Goodland, R., H. Daly, S. El Serafy y B. Droste (eds) (1994) *Desarrollo Económico Sostenible: Avances sobre el Informe Brundtland*, 1ra ed., Santa Fe Bogotá D.C.: TM Editores-Ediciones Uniandes.
- Grossman, G. y A. Krueger (1995) "Economic Growth and the Environment", En: *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 110, No. 2, Cambridge: The MIT Press, p 353-377.
- Hettige, H., M. Mani y D. Wheeler (2000) "Industrial Pollution in Economic Development: the Environmental Kuznets Curve Revised", En: *Journal of Development Economics*, Vol. 62, No. 2, Elsevier Science B. V., p 445-476.
- Hilton, H. y A. Levinson (1998) "Factoring the Environmental Kuznets Curve: Evidence from Automotive Lead Emissions", En: *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 35, No. 2, Orlando: Academic Press, Inc., p 126-141.
- Leff, E., R. García, P. Gutman, V. Toledo, H. Vessuri, R. Fernández y R. Brañes (1994) *Ciencias Sociales y Formación Ambiental*, 1ra ed., Barcelona: Editorial Gedisa.
- López, H., L. Rodríguez, C. Posada y J. García (2000) *Estimación del Valor Agregado Trimestral del Valle de Aburrá*, Medellín: Corporación para el Desarrollo de la Investigación y la Docencia Económica.
- Miller, G. (1994) *Ecología y Medio Ambiente*, México: Grupo Editorial Iberoamérica.
- Munashinge, M. y W. Cruz (1995) *Economywide Policies and the Environment: Lessons from the Experience*, Environment Paper No. 10, Washington D.C.: World Bank.
- Pezzey, J. (1992) *Sustainable Development Concepts: An Economic Analysis*, Environment Paper No. 2, Washington D.C.: World Bank.
- Selden, T. y D. Song (1994) "Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions", En: *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 27, No. 2, Orlando: Academic Press, Inc., p 147-162.
- Serageldin, I. y M. Cohen (eds.) (1994) *The Human Face of the Urban Environment, Environmentally Sustainable Development Proceedings Series No. 5*, Washington D. C.: World Bank.
- Serageldin, I. y A. Steer (1994) *Making Development Sustainable: From Concepts to Action, Environmentally Sustainable Development Occasional Paper Series No. 2*, Washington D. C.: World Bank.
- Shafik, N. y S. Bandyopadhyay (1992) *Economic Growth and Environmental Quality: Time-Series and Cross-Country Evidence*, World Bank Policy Research Working Paper No. 904, Washington D. C.: World Bank.
- The World Bank Group (1997) 1998 World Development Indicators*, Washington D. C.: World Bank.
- WCED (1987) *Our Common Future, World Commission on Environment and Development (The Brundtland Report)*, Oxford: University Press.

Anexo 1

Residuos sólidos depositados en el Relleno Sanitario Curva de Rodas	
Año	Toneladas
1984	166.924,84
1985	185.755,80
1986	217.683,70
1987	234.170,40
1988	263.842,11
1989	284.074,53
1990	286.688,53
1991	316.865,23
1992	363.023,43
1993	423.521,36
1994	519.854,86
1995	565.963,80
1996	582.915,95
1997	401.941,09
1998	695.943,06
1999	712.816,98
2000	695.929,95

Fuente: Disposición Final, Empresas Varias de Medellín y Centro de Investigaciones Ambientales proyecto SIAM5, Universidad de Antioquia.

Observaciones: (1) El Relleno Sanitario Curva de Rodas empieza a operar en noviembre de 1984, para este año se estimó un tonelaje total con base en la tasa anual promedio de crecimiento de los años 85-89, o sea 11,28%. (2) Los datos presentados tienen descontada la descarga que hacen los municipios de Guarne, Retiro y Rionegro en el R.S.C.R. a partir de 1992, 1988, y 1992 respectivamente. Para ello se restaron los pesajes exactos en el periodo 1998-2000 y con base en las tasas promedio de participación de tal período (0,36%; 0,27% y 1,97%) se procedió a descontar los demás años hacia atrás. (3) En 1997 las operaciones en el R.S.C.R. se desarrollaron normalmente y no se dispone de explicación adicional alguna para la cifra reportada en dicho período.

PIB real por persona para el Area Metropolitana del Valle de Aburrá	
Año	U
1984	32.409
1985	31.331
1986	32.827
1987	33.067
1988	33.858
1989	34.802
1990	37.412
1991	36.944
1992	37.278
1993	38.224
1994	37.744
1995	38.761
1996	39.465
1997	42.459
1998	42.179
1999	35.725
2000	38.384

Fuente: Cálculos propios a partir de los datos obtenidos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Departamento Administrativo de Planeación de Antioquia y Corporación para el Desarrollo de Investigación y la Docencia Económica.

Observaciones: (1) Cifras en pesos del año 1975. (2) Las cifras de 1999 y 2000 están basadas en proyecciones hechas por el DAP de Antioquia. (3) Para obtener "U" se usaron los datos suministrados por el DANE de los censos poblacionales de 1973, 1985, y 1993; para los demás años usaron las proyecciones realizadas por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y cálculos propios con base en las tasas de crecimiento reportadas por el Banco Mundial y Profamilia para Colombia. (4) El PIB real por persona para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en los años 1994 a 1999 se obtuvo de las cifras de «estimación básica» reportadas por el CIDE (2000), para los demás años se hizo una estimación considerando la participación promedio del PIB del Área Metropolitana en el PIB de Antioquia, dado que las cifras oscilan alrededor del 72.6% en el periodo en cuestión y teniendo en cuenta que el PIB real para Antioquia presenta una tendencia creciente suavizada, libre de cambios bruscos. Se reconoce que esta estimación puede implicar un sesgo, pero cuya magnitud se espera no sea significativa.

Anexo 2

Modelo	Constraste de cointegración Dickey-Fuller Ampliado ADF	
	Estadístico	Valor crítico
$\text{LnR} = C + \beta_1 \text{LnY} + \beta_2 \text{LnT} + \varepsilon$	-3,93321	-3,73
$\text{LnR} = C + \beta_1 Y + \beta_2 T + \varepsilon$	-3,99671	-3,73

Fuente: Elaboración propia.

Observaciones: (1) Valores críticos tabulados por Engle y Yoo (1987) para un error del 10%, con 3 variables regresoras y un tamaño muestral T=50. (2) Si el estadístico está a la izquierda del valor crítico, los residuos son I(0) y las series están cointegradas.

Modelo	Contrastes de autocorrelación				
	Durbin-Watson (DW)			Breusch-Godfrey (BG)	
	d	di	ds	TR ²	X ² (n)
$\text{LnR} = C + \beta_1 \text{LnY} + \beta_2 \text{LnT} + \varepsilon$	1,88112	1,015	1,536	0,47986	7,81473
$\text{LnR} = C + \beta_1 Y + \beta_2 T + \varepsilon$	1,82839	1,015	1,536	0,25884	7,81473

Fuente: Elaboración propia.

Observaciones: (1) Valores críticos para un nivel de error del 5%. (2) d y TR² son los valores de los estadísticos para los contrastes DW y BG respectivamente, di y ds son las cotas inferior y superior tabuladas para el contraste DW. X²(n) es el valor de la distribución Chi-cuadrado con n grados de libertad, siendo n el número de regresoras. (3) Si TR² menor a X² se acepta la hipótesis nula de no autocorrelación. (4) Si d mayor a ds se acepta la hipótesis nula de no autocorrelación, si d está entre di y ds el contraste no permite establecer una conclusión sobre la autocorrelación, si d menor a di se rechaza la hipótesis nula de no autocorrelación.

Modelo	Contrastes de heterocedasticidad			
	White		Breusch-Pagan	
	Estadístico (TR ²)	Valor crítico (X ² (n-1))	Estadístico (SCE/2)	Valor crítico (X ² (p-1))
$\text{LnR} = C + \beta_1 \text{LnY} + \beta_2 \text{LnT} + \varepsilon$	1,05931	5,99146	0,89454	5,99146
$\text{LnR} = C + \beta_1 Y + \beta_2 T + \varepsilon$	1,61692	5,99146	1,08559	5,99146

Fuente: Elaboración propia.

Observaciones: (1) Valores críticos para un nivel de error del 5%. (2) X²(n-1) y X²(p-1) son valores de la distribución Chi-cuadrado con n-1 y p-1 grados de libertad, siendo n y p el número de variables explicativas de las regresiones original y auxiliar respectivamente. (3) Los valores del estadístico corresponden al contraste que incluye los productos cruzados entre variables. (4) Si TR² menor a X²(n-1) ó SCE/2 menor a X²(p-1) se acepta la hipótesis nula de no heterocedasticidad.

Modelo	Contrastes de multicolinealidad			
	Determinante de la matriz de correlación	Medida de Theil (m)	Medida de Belsley, Kuck y Welsch (k)	Factor de Inflación de Varianza FIV
$\text{LnR} = C + \beta_1 \text{LnY} + \beta_2 \text{LnT} + \varepsilon$	0,207393	0,81348	4,15078	4,82178
$\text{LnR} = C + \beta_1 Y + \beta_2 T + \varepsilon$	0,173397	0,82595	4,58485	5,76711

Fuente: Elaboración propia.

Observaciones: (1) Si el determinante de la matriz de correlaciones está próximo a cero indica que existen relaciones entre las variables regresoras incluidas en el modelo. (2) El estadístico de Theil mide el efecto de la contribución de cada variable regresora en el coeficiente de determinación. Si m está cercano a cero se acepta la hipótesis nula de no multicolinealidad. (3) Si K >= 30 o FIV >= 5, la multicolinealidad causará problemas y deberá considerarse su solución.