

URUGUAY A LO LARGO DEL SIGLO XX

La relación entre la contaminación atmosférica, la calidad del aire y otros determinantes

• MATÍAS PIAGGIO

Universidad de la República

RESUMEN

La presente investigación propone explorar la relación existente entre el crecimiento económico, la contaminación atmosférica y la calidad del aire (CO_2 y SO_2 , respectivamente) en Uruguay (caracterizada como una economía pequeña y abierta) a lo largo del siglo XX. Basada en la teoría por detrás de la *Curva Ambiental de Kuznets (CAK)*, a través de un Modelo de Vectores de Corrección de Errores (VECM) se comprobó la existencia de una relación lineal entre el crecimiento económico y los contaminantes en el período 1955-2000. Pero mientras el nivel de emisiones de contaminación atmosférica crece conjuntamente al producto a lo largo de ese período, las emisiones del contaminante indicador de la calidad del aire se comportan de manera inversa a éste. En lo que respecta a las emisiones de CO_2 , el grado de apertura de la economía resultó ser significativo en la relación de largo plazo, no así en la dinámica de corto plazo. Respecto al nivel de emisiones de contaminantes de la calidad del aire, ninguna otra variable resultó significativa ni en el corto ni en el largo plazo.

Palabras clave: CO_2 , SO_2 , crecimiento económico, Curva Ambiental de Kuznets o integración, modelo de vectores de corrección de errores.

ABSTRACT

This research aims to explore the existing relationship between economic growth and air pollution and air quality (CO_2 and SO_2 , respectively) in Uruguay (characterized as a small, open economy) throughout the XXth century. Based on the theory behind the Environmental Kuznets Curve (EKC), the existence of a linear relation between the economic growth and the polluting agents for the 1955 - 2000 period was verified through a Vector Error Correction Model (VECM). But while the atmospheric contamination emissions level grows jointly with product throughout the same period, air quality pollutant indicator emissions behave in the reverse way. Neither in the short term nor in the long term.

Key words: CO_2 , SO_2 , economic growth, Environmental Kuznets Curve, cointegration, Vector Error Correction Model.

1. INTRODUCCIÓN

La problemática del ambiente ha tomado destacada relevancia en las últimas décadas, tanto en la agenda política internacional como a nivel de la

sociedad civil. Innumerables problemas de carácter tanto global como local han comprometido la supervivencia de las especies en el planeta y las condiciones de vida de las poblaciones desde hace varios años.

Problemas referentes a las emisiones de gases del efecto invernadero, la desertificación, la conservación de las especies y la calidad del aire son algunos de los que se han puesto sobre el tapete en la agenda internacional, generando altos compromisos a nivel de las naciones por hacerse cargo de las consecuencias del accionar humano.

Todos estos problemas tienen un origen en común, y es la actividad humana, cuya incidencia sobre la degradación ambiental se ha agudizado desde mediados del siglo XIX. Es en esta línea que desde principios de los 90 se ha comenzado a explorar la relación entre el crecimiento económico y la degradación ambiental, ya sea a nivel global, como para algunos países en particular.

Asimismo, el cambio climático es un problema diferente al resto de los problemas que aquejan al mundo de hoy, siendo un desafío abordarlo desde varios niveles, desde una perspectiva en común entre todos los involucrados, así como desde una posición individual, respecto a la implementación de las medidas para contrarrestarlo (UNDP, 2007).

A partir de indagar en la relación existente entre contaminantes atmosféricos y de la calidad del aire y la actividad humana en Uruguay a lo largo del siglo XX, se podrá tener alguna evidencia sobre los patrones de crecimiento que ha impulsado el país a lo largo del último siglo. Estos determinantes han de considerar factores tales como la estructura productiva del país, la capacidad del país para atraer inversiones que impulsen procesos tecnológicos más limpios y las variaciones meteorológicas producidas.

La importancia de este tipo de análisis radica en el hecho de que los países tomados individualmente podrían no seguir una trayectoria similar a la *Curva Ambiental de Kuznets (CAK)* estimada a través de modelos de datos de panel, los cuales alteran la conclusión acerca de la relación existente entre el crecimiento económico y el impacto ambiental, y con esto, las posibles medidas a ser llevadas adelante en los países en particular.

La segunda sección de este trabajo presenta las concepciones teóricas y los trabajos que han antecedido a esta investigación, así como sus formas de abordar el tema. La tercera sección presenta el análisis empírico de estimación de la CAK para Uruguay, mientras que la cuarta presenta las conclusiones finales arribadas a partir del análisis.

2. CRECIMIENTO ECONÓMICO Y DEGRADACIÓN AMBIENTAL. LA CAK.

2.1 Enfoque teórico y lecciones del pasado

La actividad económica supone la generación de

impactos negativos sobre el ambiente, a través de la explotación de recursos escasos y no renovables. Pero sin embargo, el mecanismo por detrás del proceso de crecimiento económico puede generar condiciones que impulsen actividades que contrarresten este impacto negativo que por sí mismo tiene sobre el medio ambiente (Rodríguez y Valetta, 2001).

Ésta es la idea por detrás del planteo de la CAK, la cual retoma la hipótesis desarrollada por Kuznets respecto a la relación entre la desigualdad en la distribución del ingreso y el crecimiento económico (ver recuadro), estableciendo la existencia de una relación hipotética entre distintos indicadores de degradación ambiental e ingresos o renta per cápita. Este planteo muestra que en etapas tempranas del crecimiento económico, con bajos ingresos per cápita, los impactos ambientales son crecientes, hasta alcanzar un máximo tras el cual, el crecimiento del producto se vincula a una caída de esos impactos, la cual se puede atribuir a cambios en la estructura productiva de la economía, delineando una curva con forma de U invertida, al igual que la relación presentada por Kuznets.

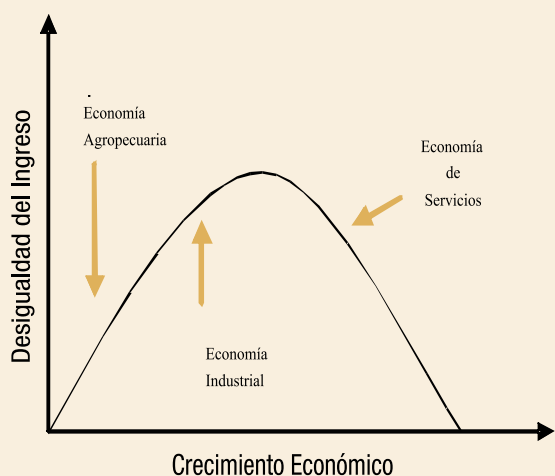
La explicación detrás de esta relación es que en las etapas iniciales del crecimiento los usos productivos dominantes tienen altos impactos ambientales, tanto por la utilización de recursos como por su contaminación, y bajas contribuciones al crecimiento. En las etapas finales, por el contrario, existen procesos productivos con mayor valor agregado, alcanzándose una menor explotación de los recursos, o un uso más eficiente de los mismos.

Uno de los más fuertes cuestionamientos a este modelo es el de *reversibilidad del daño ambiental*, entendiéndose por esto el hecho de que una vez alcanzado el punto de quiebre, un aumento en la producción junto con una caída de la contaminación asociada al mismo, no implica que se puedan reparar los daños ambientales previamente ocasionados en el medio ambiente (Stern et al, 1994)¹.

La validez de la hipótesis acerca de la existencia de la CAK es crucial para el diseño y la implementación de políticas. En caso de que la evidencia demuestre la existencia de este fenómeno, se debería razonar según el pensamiento de Beckerman (1992)², quien afirma que *“existe clara evidencia de que, a pesar de que el crecimiento económico generalmente conduce hacia la degradación ambiental en las etapas tempranas del proceso, al final, la mejor, y probablemente la única manera de aspirar a un ambiente decente es convertirse en ricos”*. De otra manera, en caso de que la

La relación de Kuznets

FIGURA 1



La noción básica de las CAK está inspirada en los trabajos de Simon Kuznets (1955), en los cuales sugería que el crecimiento del producto per cápita de una determinada economía era acompañado de un empeoramiento en la distribución del ingreso, hasta cierto punto de quiebre, a partir del cual la distribución del ingreso comenzaba a mejorar. Esto implica que la relación entre crecimiento y desigualdad en el ingreso es una función con forma de “U” invertida (Figura 1). La fase inicial de la curva, siguiendo el razonamiento de Kuznets, se corresponde con una economía basada en actividades agropecuarias, al transformarse en una economía industrializada, tanto el crecimiento como la brecha que representa la desigualdad del ingreso se expanden hasta cierto punto a partir del cual, esta desigualdad va disminuyendo, continuando este proceso a medida que la economía vive un proceso de conversión hacia la producción de servicios.

hipótesis fuese rechazada, Panayotou (2000)³ afirma: “para salvar el ambiente, y hasta la actividad económica de sí misma, el crecimiento económico deberá de cesar y el mundo deberá de realizar una transición hacia un estado estacionario económico”.

En los años noventa se llevan a cabo las primeras aplicaciones de las CAK, debido a un creciente interés en los temas ambientales y a una mayor disponibilidad de datos relacionados con el tema (Caiata, 2003). Los trabajos de Grossman y Krueger (1991) y de Shafik y Bandyopadhyay (1992) fueron los primeros en este modelo, siendo este último un estudio de soporte para el Informe Mundial del Desarrollo, de 1992. La idea detrás de que fomentar el crecimiento económico trae

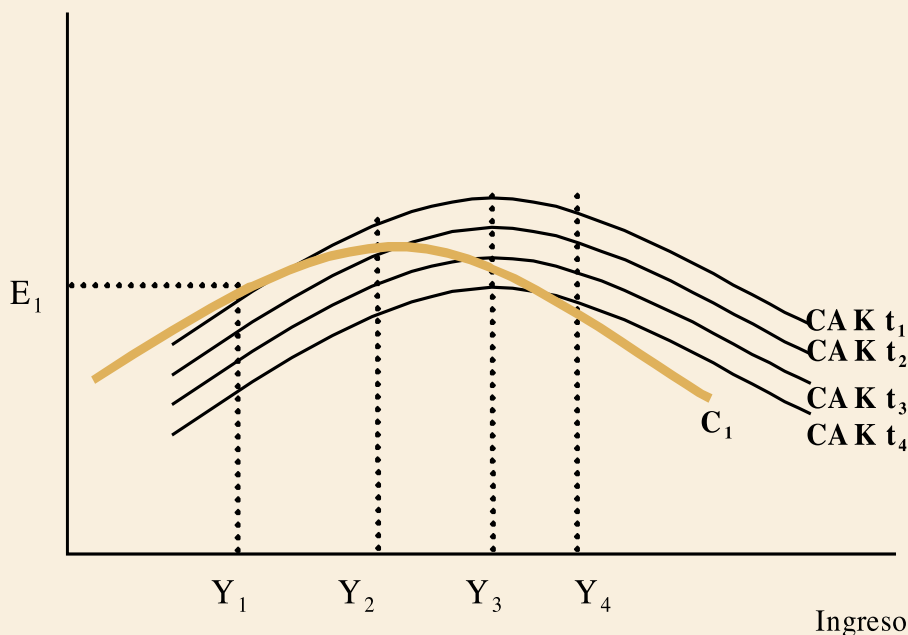
ría consigo mejoras en los indicadores medioambientales es parte del argumento de desarrollo sustentable presentado por la Comisión Mundial sobre Desarrollo y Medio Ambiente, en el famoso documento *Nuestro futuro en común*, en 1987 (Stern, 2003).

El planteo de la CAK fue popularizado por el *Informe Mundial sobre Desarrollo 1992* del Banco Mundial (BIRF, 1992)⁴, donde se afirma que “la visión acerca de la degradación ambiental asociada, inevitablemente, a una mayor actividad económica, está basada en supuestos estáticos sobre la tecnología, los gustos y la inversión en gestión ambiental”, y que “a medida que el ingreso aumenta, la demanda de mejoras en la calidad ambiental va a crecer, así como los recursos disponibles sobre los cuales invertir”.

A partir de estos trabajos se desató un *boom* de investigaciones acerca de la relación planteada por la hipótesis de la CAK, donde se comenzó a trabajar agregando otras variables a la relación. Extensiones al modelo utilizado en los trabajos pioneros han incorporado nuevas variables explicativas a la especificación del mismo. En esta línea, Selden y Song (1994) estudian el comportamiento de contaminantes de la calidad del aire, agregando como variable explicativa al modelo la densidad de población. Panayotou (1997)⁵ incorpora la estructura del sector industrial, para permitir la posibilidad de cambios en la producción a través de métodos de producción más limpios a medida que el ingreso aumenta. Torras y Boyce (1998) incorporan variables que reflejan la distribución del poder en la sociedad, como el analfabetismo, los derechos políticos y las libertades civiles, las cuales encuentran que tienen fuerte impacto sobre la calidad ambiental en los países de bajos ingresos.

Existen trabajos desarrollados en Uruguay que se han abocado a estudiar la relación entre el crecimiento económico y el impacto ambiental a través del análisis de datos de panel para conjuntos de países dados. Entre éstos se encuentra el trabajo monográfico de Rodríguez y Valetta (2001), quienes estudian la relación entre el nivel de emisiones de CO₂ y el crecimiento económico para un conjunto de 40 países incluyendo variables adicionales referidas a la estructura productiva del país, el nivel de educación de la población y el comportamiento innovador empresarial. Por otro lado, Badano y Gersberg (2003), se plantean indagar en la relación entre contaminantes tanto de nivel global como a nivel local (CO₂ y SO₂) en tres dimensiones del desarrollo sostenible (ambiental, económico y social) en los países de América Latina y el Caribe.

FIGURA 2



Fuente: De Bruyn et al. (1998)

Caiata (2003) indaga, al igual que el primero de los trabajos nombrados, en la relación entre el nivel de emisiones de CO_2 y el crecimiento económico, en un conjunto de 101 países, incorporando a la relación variables adicionales que contemplan aspectos sociales y económicos.

Estos modelos que testean el cumplimiento de la CAK son construidos a partir de datos de panel o *cross-country*, desarrollando la relación entre impacto ambiental y crecimiento económico para cierto grupo de países a lo largo de un período determinado (o en un momento dado). A partir de este tipo de análisis, no es posible concluir acerca de la relación existente a lo largo del tiempo entre el crecimiento económico y el impacto ambiental para un país en particular (de Bruyn et al, 1998), y por ende, de las medidas de política que éste debiera de implementar.

2.2 La CAK para un país en particular

Una fuerte crítica a esta teoría viene a través de la presunción de que la mejora ambiental demostrada a través de las CAK, serían en realidad indicadores de la *habilidad de los consumidores en los países ricos* para distanciarse ellos mismos de la degradación ambiental asociada con su propio consumo (Rothman, 1998). Los efectos de la especialización en el comercio (Modelo Herckscher-Ohlin) donde los países en desarrollo se especializarían en la producción de bienes

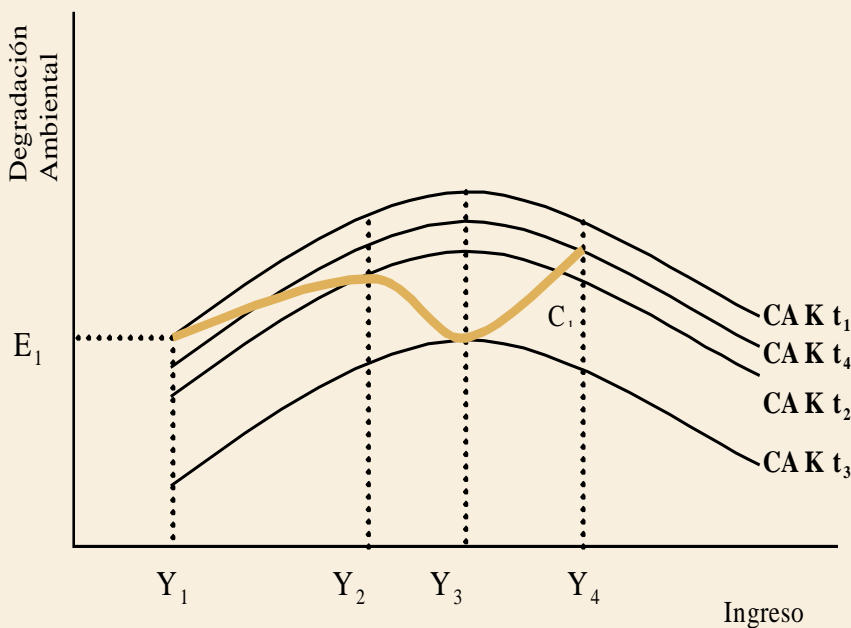
intensivos en trabajo y recursos naturales, mientras que los países desarrollados lo harían en bienes intensivos en capital, provocando que el desgaste de la utilización de los recursos naturales no se dé de manera similar en ambos bloques de países (Suri y Chapman, 1998).

De acuerdo con la Figura 2, apreciamos que para todo momento del tiempo, el impacto ambiental para un país en particular es determinado por los cuatro periodos estimados para la CAK a

través del análisis de datos cruzados para el conjunto de países, pero la evolución individual del país C_1 que se describe a través la curva resaltada, la cual presenta una trayectoria diferente de las EKC. En particular, el punto de quiebre para ese país se da en el momento Y_2 , antes del momento Y_3 , que se obtiene a partir del análisis de datos cruzados.

Esto evidencia que mientras la CAK obtenida a través del análisis de datos de panel determina una relación con forma de "U" invertida, nada hace esperar que dicha relación para un país en particular se mueva de acuerdo a esa trayectoria.

En este sentido, la Figura 3 describe un escenario en el cual se asume que la CAK del periodo 4 se encuentra por encima de la CAK de los periodos 2 y 3. Como consecuencia de esto, se determina el patrón de impacto ambiental para el país C_1 a través de una curva con forma de N, donde luego de haber alcanzado el nivel de impacto ambiental correspondiente al instante Y_3 , éste vuelve a aumentar en el siguiente período. Este escenario podría llegar a producirse cuando la estimación de la CAK no presente un coeficiente de tendencia temporal significativo, determinando que las CAK no evolucionen en una dirección uniforme. El hecho de que los países tomados individualmente no sigan una trayectoria similar a las CAK estimadas a través de modelos de datos de panel, altera las conclusiones acerca de la relación existente entre el

FIGURA 3

Fuente: De Bruyn et al. (1998)

crecimiento económico y el impacto ambiental, y con esto, las posibles medidas a ser llevadas adelante en los países en particular.

A partir de esta situación, es pertinente especificar un modelo alternativo que permite estimar directamente los efectos del crecimiento económico sobre el impacto ambiental para un país en particular. Esta aplicación se puede adaptar fácilmente al debate de la CAK, donde la contaminación puede ser vista como una función de los materiales vertidos en la economía, que incluya el avance tecnológico y la disminución de la contaminación. En este sentido se ha de plantear un modelo reducido en el cual los determinantes del impacto ambiental para un país vienen dados por el crecimiento del producto y la intensidad de dicho impacto, la que depende de cambios en la composición de las actividades económicas, de la tecnología y de los procesos de sustitución en materiales y energía (de Bruyn et al, 1998).

Una CAK encontrada a partir de estimaciones con datos *cross-country* puede, simplemente, reflejar la conjunción de una relación positiva entre el deterioro ambiental y el ingreso en los países desarrollados con una negativa en los países en desarrollo, y no una relación en sí que se aplique a ambas categorías de países. Esta CAK sería solo un artefacto estadístico (Friedl y Getzner, 2003). Este argumento se aplica en parte a las estimaciones basadas en datos de panel. Debido

a los cortos periodos que cubren las series temporales de contaminación, los conjuntos de datos de panel suelen contener poca o ninguna superposición entre las observaciones entre los países desarrollados y aquellos en desarrollo (esto no sería válido para aquellos estudios que utilizan conjuntos de datos de panel con observaciones superpuestas) (Egli, 2004).

Adicionalmente, ese tipo de modelo asume homogéneamente que todos los coeficientes no varíen a pesar

de ser estimados para un amplio espectro de países, abarcando desde países pobres hasta países ricos y naciones altamente industrializadas (Egli, 2004).

La evidencia más creíble a favor de la CAK como soporte para llevar adelante políticas, sería la demostración de que ésta describe la experiencia respecto al crecimiento de los países de manera individual (Deacon y Norman, 2004).

Entre los trabajos que abordan la problemática desde este enfoque se encuentran el de de Bryun et al (1998), que concluyen que la trayectoria temporal de distintas emisiones contaminantes (CO_2 , NO_x y SO_2) de Holanda, Alemania Oriental, el Reino Unido y Estados Unidos, en forma independiente para cada uno de ellos en estas emisiones está positivamente correlacionada con el crecimiento económico, y que la reducción de emisiones se debe dar como consecuencia de cambios estructurales y tecnológicos en la economía. Por otro lado, Friedl y Getzner (2004) encuentran una relación del tipo de curva N, entre el nivel de emisiones de CO_2 y el crecimiento económico en Austria, identificando un cambio de tipo estructural a mediados de los setenta como consecuencia de la crisis del petróleo. Egli (2004) estudia la relación entre el crecimiento y la degradación ambiental (medida a través de ocho contaminantes: CH_4 , CO , CO_2 , NH_3 , NMVOC , NO_x , PM y SO_2) en Alemania entre los años 1966-2002, encontrando evidencia de una relación en

el sentido de la hipótesis de la CAK solamente para los contaminantes NO_x y NH₃ (U - invertida y forma de N respectivamente).

Deacon y Norman (2004) examinan la relación del ingreso respecto a tres contaminantes (SO₂, Humo Negro y Partículas Suspendidas), para 25 países, tomados cada uno de ellos de manera individual, encontrando resultados dispares según el país que se examina. En la mayoría de los casos la relación encontrada no fue distinta de lo que se esperaba que sucediera en cada país, pudiendo las emisiones de SO₂ ser controladas por las economías con mayores niveles de ingreso, pero no por los de menores, mientras que para los otros dos contaminantes, si bien la relación siempre era creciente para los países más pobres, no siempre era de U - invertida para los países más ricos. Unruh y Moomaw (1998) presentan evidencia acerca de la hipótesis de que la CAK no es representativa para reflejar la evolución que sigue la relación entre el impacto ambiental y el crecimiento económico para 16 países tomados de forma individual, en el período 1950-1992. Proponen un análisis de sistemas dinámicos no lineal que brinda una completa descripción de la trayectoria que sigue la contaminación para cada país, arribando a la conclusión de que la evolución de la emisión de CO₂ sigue una trayectoria no lineal a través del tiempo, que se corresponde con los quiebres producidos en la trayectoria del nivel de ingreso.

Otros estudios para un país en particular fueron llevados adelante por Vincent (1997)⁶, quien presenta evidencia del no cumplimiento de la hipótesis de la CAK para Malasia y Carson et al (1997)⁷, quienes encuentran una relación negativa entre siete contaminantes y el nivel de ingreso en los EE.UU en el período 1988-1994. Hung y Shaw (2004) estudian la relación entre los contaminantes NO₂ y CO₂ y el ingreso a través de ecuaciones simultáneas, encontrando que los contaminantes mantienen una relación de U - invertida respecto al ingreso, pero que éstos no afectan el comportamiento de éste.

Finalmente, Bertoni y Román (2006), estudian la relación entre el nivel de emisiones de CO₂ y el crecimiento a partir del estudio de la relación entre el desarrollo económico y el consumo energético, siendo éste el único trabajo que aborda el tema para Uruguay en particular. Éstos deducen un comportamiento que se corresponde con la hipótesis de la CAK, pero a diferencia de lo que se encuentra por detrás de esta teoría, resaltan que la caída del indicador de contaminación atmosférica no se corresponde con un crecimiento de



los indicadores de desarrollo, sino que viene asociado al importante proceso de desindustrialización que sufre la economía uruguaya en las últimas décadas del siglo XX.

2.3 Posibles formas funcionales de la CAK

Las primeras aplicaciones de la CAK, llevadas a cabo por Grossman y Krueger (1991, 1994) y por Shafik y Bandyopadhyay (1992) especificaban el modelo de manera tal de explicar la relación entre la degradación ambiental y el ingreso, tanto por sus valores de nivel como por los términos al cuadrado y cúbico de este último, a través de un modelo reducido de la siguiente forma:

$$(1) E_t = \beta_0 + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_t^2 + \beta_3 Y_t^3 + \beta_4 t + \varepsilon_t$$

donde E denota el indicador de polución, Y el ingreso, t es el término de tendencia, que se agrega para tener en cuenta el progreso tecnológico, el subíndice



t denota el indicador del tiempo, y ε es el término de error normalmente distribuido. Una CAK resultaría de obtener valores para los parámetros tal que, $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$, y $\beta_3 = 0$. El nivel de ingreso al cual la degradación ambiental comienza a declinar es llamado punto de inflexión del ingreso. Éste se obtiene a partir de la derivada primera de la ecuación (1) respecto al ingreso, e igualándola a cero, a partir de lo cual se alcanza el resultado: $-\beta_1/2\beta_2$. Con valores tales que $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$, y $\beta_3 > 0$ se obtendría una trayectoria con forma de N, donde existiría un segundo punto de inflexión a partir del cual la degradación ambiental comenzaría a crecer nuevamente.

En caso de que una curva con forma de N fuera encontrada, el segundo punto de inflexión se daría para países con niveles de ingreso per cápita relativamente altos, lo cual ocurre en muy pocos países, por lo tanto, este resultado deberá leerse con cautela. Ambas estimaciones, con y sin el término de ingreso cúbico parecen ser apropiadas.

Una relación monótona, creciente o decreciente, entre el ingreso y la calidad ambiental, es alcanzada si solamente β_1 es significativo (con símbolo positivo o negativo, respectivamente), mientras que los otros estimadores de las variables correspondientes al ingreso, en este caso β_2 y β_3 , serían no significativos.

Esta especificación tradicional, ha recibido críticas a nivel académico, debido a que se argumenta que omite variables importantes, que pueden ser determinantes de la degradación ambiental (Friedl y Getzner, 2004). Es así que surge la especificación ampliada de la CAK.

Valiosas contribuciones aportaron Panayoutou (1997)⁸ y de Bruyn et al (1998) respecto a la omisión de variables importantes en la especificación de la relación de la CAK, al igual que el resto de los trabajos antes mencionados que incorporan este aspecto.

La relación no lineal entre los indicadores de contaminación ambiental y el ingreso per cápita pasarían a ser especificados a través de un modelo reducido de la si-



guiente manera:

$$(2) E_t = \beta_0 + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_t^2 + \beta_3 Y_t^3 + \beta_4 t + \beta_5 Z_t + \varepsilon_t$$

donde E denota el indicador de polución, Y el ingreso, t es el término de tendencia, que se agrega para tener en cuenta el progreso tecnológico, Z es un vector que contiene las variables adicionales (y β_5 es el vector de parámetros correspondientes a éstas), el subíndice t denota el indicador del tiempo, y ε es el término de error normalmente distribuido.

Mientras que la inclusión de la variable del ingreso per cápita como variable independiente en los estudios para un país en particular parece no tener discusión, la elección de las otras variables explicativas sí, dado que, a diferencia de los estudios *cross-country*, diferencias que son específicas del país, pero consistentes a lo largo del tiempo en ese país, no influyen sobre las series temporales.

2.4 Variables explicativas y sus indicadores

Tras el objetivo de estudiar el impacto del crecimiento económico sobre la contaminación atmosférica y la calidad del aire, de manera que los indicadores refrieran específicamente a esta problemática. En general, existen varios contaminantes que pueden ser utilizados, como ser el CO_2 , SO_2 , los óxidos de nitrógeno y los CHC. Se tomarán como indicadores de la contaminación atmosférica las emisiones de CO_2 ,

mientras que las emisiones de SO_2 nos brindarán no sólo un indicador ambiental como contaminante de la atmósfera, sino que también representa el impacto ambiental respecto a la calidad del aire.

Cuatro transformaciones de las variables son comúnmente utilizadas para los diferentes contaminantes o indicadores de impacto ambiental: i) emisiones per cápita, ii) emisiones por nivel de producción (intensidad de polución), iii) niveles ambientales de polución (concentraciones, impactos en ciertas áreas determinadas) y iv) emisiones totales. Al estudiar la relación respecto al CO_2 , contaminante global, será pertinente trabajar con emisiones totales, ya que lo relevante de este contaminante es el nivel de emisiones a nivel agregado entre los países, mientras que el otro contaminante será tomado según la primer especificación *per cápita*, considerando que representa una problemática local.

Respecto a las variables adicionales, dos fenómenos en particular han interesado ser contrastados a la hora de estudiar la relación entre la contaminación atmosférica y de la calidad del aire y el crecimiento económico: (i) los cambios estructurales en la economía, los cuales reflejarían la posible transición desde una economía basada en producción de materias primas hacia productos industrializados, y a partir de allí hacia economías basadas en la producción de servicios, dado el impacto en la degradación ambiental causa-

VARIABLES INCLUIDAS EN EL ANÁLISIS

Modelo Tradicional	Impacto Ambiental
	Nivel de Ingreso
Modelo Ampliado	Estructura Productiva
	Comercio Internacional
	Variables Climatológicas

do por cada una de las estructuras productivas, y (ii) la exportación de la contaminación desde los países desarrollados hacia aquéllos en vías de desarrollo, a través de la emigración de las actividades productivas más contaminantes, desde los primeros hacia los segundos. En este mismo sentido, la relación entre el comercio y los procesos de producción contaminantes podría darse de manera inversa, implicando el crecimiento del comercio mundial y las políticas internacionales hacia métodos de producción eco-amigables, haciendo crecer las presiones acerca de la política ambiental (como la legislación de EE.UU, o el Protocolo de Kyoto), por el otro (Friedl y Getzner, 2004).

Por lo tanto, en el estudio será tomado en cuenta el peso del sector industrial en el PIB, lo cual permite conocer el peso de la actividad económica más contaminante en la estructura productiva del país y así tener en cuenta posibles cambios estructurales en las economías y en sus modelos de producción.

Como ya vimos, la implicancia del comercio internacional juega un rol fundamental en la problemática ambiental nacional. El incentivo a inversiones extranjeras, la instalación de industrias transnacionales y la diversificación de los productos exportados (produciendo un aumento en los valores del comercio internacional) traen consigo la implementación de tecnologías más limpias en los procesos productivos y con él, el fortalecimiento de las normas ambientales y el acceso a mercados con mayores exigencias en la calidad de los procesos productivos de los bienes que con-

sumen (Grossman y Kruger, 1991, y Friedl y Getzner, 2004). Es decir, la aplicación de procesos productivos ambientalmente amigables podría traer consigo no solo un crecimiento económico debido al aumento de los volúmenes comercializados, sino que también lo haría ejerciendo una presión hacia la reconversión de los procesos industriales que se ejecutan actualmente en los países subdesarrollados.

De todas maneras, un mayor grado de apertura no asegura por sí solo el crecimiento económico (Gitli y Hernández, 2002), ni tampoco el bienestar medio ambiental (Martínez Alier y Muradian, 2000). Si bien la aplicación de tecnologías limpias como consecuencia de la atracción de inversiones extranjeras, la apertura de nuevos mercados y el fortalecimiento de las normas ambientales parecerían jugar un rol favorable desde el punto de vista de la contaminación atmosférica y de la calidad del aire; esto no implica que lo sea para el ambiente en general de un país en particular.

Esto se da, porque a nivel global, existen problemáticas como la exportación de la contaminación desde los países desarrollados hacia aquéllos en vías de desarrollo a través de la emigración de las actividades productivas más contaminantes desde los primeros hacia los segundos, como por ejemplo, la forestación, temática muy actual hoy en día en Uruguay. Por eso, se ha de interpretar cautelosamente la inclusión de una variable como el grado de apertura en el análisis, teniendo en cuenta que solamente lograremos aislar el efecto de éste sobre los niveles de emisiones de contaminantes atmosféricos y de la calidad del aire, y no del ambiente en general, problemática que es mucho más profunda, y acerca de la cual no se puede ser concluyente a partir de este análisis.

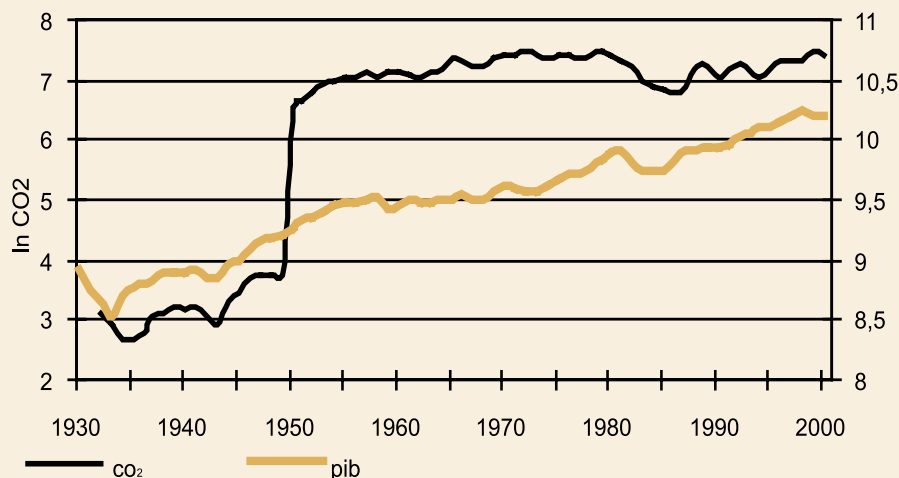
Por último, se ha de incluir las variaciones climatológicas, las cuales inciden en la concentración de emisiones contaminantes a través de los hábitos de la población respecto a la intensidad de actividades contaminantes (Friedl y Getzner, 2004).

Sería pertinente también incluir variables que reflejen el accionar institucional respecto a la gestión ambiental, como podría ser el gasto público en gestión ambiental, pero este tipo de información no se encuentra disponible y trascendería los objetivos de este trabajo el generar tal información, creyendo que sería muy difícil hacerlo para el período deseado.

Por último, no se incluirá la densidad poblacional como variable adicional, como sugerían Selden y Song (1994)⁹, debido a que la variación de ésta no es relevante a lo largo del período de estudio en el Uruguay.

GRÁFICO 1
Emisiones de CO₂ y PIB 1930 - 2000

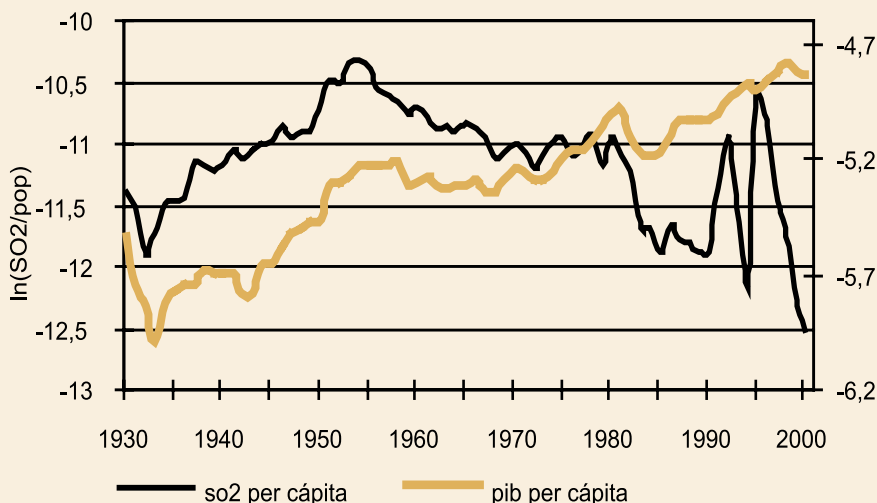
(logaritmos, kilotoneladas métricas, millones de dólares de 1990, Geary-Khamis)



Fuente: Carbon Dioxide Information Analysis Centre y Maddison (2003)

GRÁFICO 2
Emisiones de SO₂ y PIB per cápita 1930-2000

(logaritmos, kilotoneladas métricas, millones de dólares de 1990, Geary-Khamis)



Fuente: Stern (2005) y Maddison (2003)

3. ESTIMACIÓN DE LA CAK PARA URUGUAY

3.1 Series y variables de estudio

El nivel de emisiones de CO₂ de Uruguay a lo largo del siglo pasado experimenta un importante incremento en 1950, pasando de 40.000 toneladas métricas en 1949 a 671.000 en 1950. Esto se debe exclusivamente

a problemas estadísticos, ya que a partir del año 1955 se cuenta con datos estadísticos de energía proporcionados por Naciones Unidas. A partir de 1955 el nivel de emisiones de CO₂ ha crecido de manera sostenida, alcanzando el máximo en 1979, año en el cual se emitieron 1:693.000 toneladas métricas, sosteniéndose los niveles de emisiones hasta fines de siglo. Claramente la serie presenta una caída relevante en 1983, seguramente asociada a la crisis sufrida en el país en esa época.

Claramente se ve a partir del análisis gráfico cómo el nivel de emisiones de dióxido de carbono evoluciona de manera conjunta al crecimiento económico del país.

Por otro lado, las emisiones de SO₂ a lo largo del siglo pasado presentan un comportamiento creciente entre los años 1930 y 1950, años en los que alcanza el máximo de emisiones (71.111 toneladas métricas). A partir de 1955 hasta 1990 las emisiones de SO₂ caen de manera sostenida,

profundizándose esta caída a principios de los 80, al igual que las emisiones de CO₂, como consecuencia de la crisis. Adjudicamos el comportamiento irregular de la serie en la última década del siglo XX a las técnicas de estimación utilizadas por Stern (2005). Queda claramente plasmado a partir del análisis gráfico de la serie cómo a

partir de 1955 ésta cambia la tendencia, evolucionando de manera inversa al producto del país.

En función de la especificación del modelo anteriormente plasmada y las variables adicionales a ser consideradas, se detallan en el Cuadro 1 las variables que

serán consideradas en el análisis. La serie que indica el peso del sector industrial fue confeccionada a partir de la serie de Bertino y Tajam (1999) y del BCU, mientras que la del grado de apertura fue confeccionada a partir de los datos de la Penn World Table.

CUADRO 1
Variables

Variable	Nombre	Unidades	Fuente	Período
Dióxido de Carbono (en logaritmos)	<i>Inco2</i>	Kilotoneladas métricas	Carbon Dioxide Information Analysis Center	1932 – 2002
Dióxido de Azufre (en logaritmos)	<i>Inso2</i>	Kilotoneladas métricas per cápita	Stern (2005)	1850 – 2000
PBI (en logaritmo)	<i>Inpib</i>	Dólares americanos del año 1990 (millones)	Maddison	1870 – 2004
PBI ² (en logaritmo)	<i>Inpib^2</i>	Dólares americanos del año 1990 (millones)	Maddison	1870 – 2004
PBI ³ (en logaritmo)	<i>Inpib^3</i>	Dólares americanos del año 1990 (millones)	Maddison	1870 – 2004
PBI per cápita (en logaritmo)	<i>Inpib_p</i>	Dólares americanos del año 1990 (millones)	Maddison	1870 – 2004
PBI per cápita ² (en logaritmo)	<i>Inpib_p^2</i>	Dólares americanos del año 1990 (millones)	Maddison	1870 – 2004
PBI per cápita ³ (en logaritmo)	<i>Inpib_p^3</i>	Dólares americanos del año 1990 (millones)	Maddison	1870 – 2004
Peso del Sector Industrial	<i>Indust</i>	% (precios corrientes)	Instituto de Economía BCU	1900 – 1955 1955 – 2000
Grado de Apertura	<i>Open</i>	% (precios corrientes)	Penn World Table	1950 – 2000
Variaciones Meteorológicas	<i>T</i>	°C	Dirección Nacional de Meteorología	1951 – 2000

3.2 Estrategia de Análisis y el Modelo Empírico

El modelo fue especificado para estudiar la existencia de una relación de largo plazo entre la degradación ambiental y el crecimiento económico, partiendo de la especificación ampliada de la CAK, al tiempo que se estimará el Modelo de Corrección de Errores, complementario a la relación de equilibrio de largo plazo, el cual permitirá estudiar la dinámica en el corto plazo entre la degradación ambiental y sus determinantes.

De esta manera, el modelo empírico queda determinado tal que, $\ln E_t = f(\ln pib, \ln pib^2, \ln pib^3, \text{indust}, \text{open}, T)$, donde E_t corresponde al indicador de degradación ambiental en el momento t , las variables relacionadas al producto serán tomadas en niveles per cápita, según el contaminante que se esté estudiando, y el resto de las variables se corresponden con las definidas anteriormente.

Siguiendo a Borghessi (1999), el ambiente es un factor de producción relevante en muchos países subdesarrollados cuya producción se basa fuertemente en los recursos naturales como fuente de insumos. De esta manera, la degradación ambiental reducirá la capacidad de producción, y por ende, de crecimiento. En la misma dirección Arrow et al (1995)¹⁰ critican este tipo de modelos por considerar al ingreso como una variable exógena.

En pos de salvar este problema, se utilizarán las técnicas multivariantes de cointegración desarrolladas por Johansen (1992). Esta técnica permite detectar empíricamente la existencia de relaciones de equilibrio de largo plazo (relaciones de cointegración) entre las n variables de interés. Eso permite determinar la existencia de r relaciones de cointegración, o lo que es equivalente, la existencia de $n-r$ tendencias comunes entre las n series de interés. El análisis de cointegración parte de la especificación de un modelo vectorial autorregresivo con mecanismo de corrección del error (VECM) para un vector de variables endógenas. Esta especificación resume su dinámica de corto plazo¹¹.

Se optó por llevar adelante el análisis en dos períodos en particular, en función del comportamiento de las series y de la disponibilidad de datos. El primero de ellos en todo el período de análisis: 1930-2000 (a partir de 1932, para el dióxido de carbono), ya que es el de mayor duración para el cual tenemos datos confiables de las series. No existe información acerca del grado de apertura de la economía ni de la temperatura media nacional para el total de este período, pero sí para el resto de las variables, es por eso que éstas son omi-

tidas en este caso. En el período 1930-1955 las emisiones de SO_2 presentan un comportamiento creciente, cambiando su tendencia a partir de ese año, al tiempo que el comportamiento de las emisiones de CO_2 presentan una trayectoria creciente todo a lo largo del período, pero experimentan un brusco incremento en el año 1950. El segundo análisis se efectuó para el subperíodo 1955-2000, debido a que para éste existen registros para todas las variables de interés, al tiempo que marca un cambio en el comportamiento de la serie de emisiones de SO_2 y contempla el salto producido en el aumento de las emisiones de CO_2 .

3.3 Estacionariedad de las series y análisis de cointegración

Se aplicó el análisis de raíces unitarias siguiendo la metodología de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) para estudiar el grado de integración de las series. A partir de éste se determinaron las transformaciones pertinentes para llevar adelante el análisis de cointegración.

Los contrastes ADF indicaron en todos los casos la existencia de una raíz unitaria en niveles, excepto en el caso de las variaciones climatológicas, la cual (como era de esperar) no presenta raíces unitarias (Cuadro 2).

A partir de estos resultados se llevó adelante el análisis de cointegración entre las variables en ambos períodos elegidos, incluyendo las variaciones climatológicas como variable exógena, la cual únicamente influirá en la dinámica de corto plazo.

El análisis de cointegración parte de la especificación de un VECM con las variables endógenas antes definidas. Se procedió a la estimación del VECM para cada uno de los contaminantes, para el cual se efectuó la realización de los contrastes de exclusión de las variables para determinar cuáles variables integran las posibles relaciones de equilibrio y tests de exogeneidad, los cuales determinan aquellas variables que son exógenas en estas relaciones. Para esto último se realizaron únicamente los contrastes de exogeneidad débil, con el fin de determinar cuáles son aquellas variables que no reaccionan ante desviaciones de largo plazo.

Es posible que en casos en que existan múltiples relaciones de cointegración, una variable sea exógena con relación a los parámetros de una relación de cointegración, pero no respecto a lo de otras. Esto es debido al hecho de que las condiciones de exogeneidad débil se definen con relación a un determinado vector

de cointegración, y no respecto al sistema completo. En el caso que exista solamente una relación de cointegración, la validez de un modelo uniecuacional con

un mecanismo de corrección del error depende de que $n-1$ variables del sistema sean débilmente exógenas respecto a la relación de cointegración considerada.

CUADRO 2 Test de Raíces Unitarias

Test ADF H_0 : Existe R.U.		Series en Niveles				Series en Primeras Diferencias			
Variables	Período	Estadístico	Cte / Tend	Ret. ¹	Rech H_0 (95%)	Estadístico	Cte / Tend	Ret. ¹	Rech H_0 (95%)
<i>Inco₂</i>	1955 - 2000	0.565448	No/No	0	No	-5.977228	No/No	1	Si
	1932 - 2000	0.950682	No/No	0	No	-7.754936	No/No	0	Si
<i>Inso_{2p}</i>	1955 - 2000	1.992729	No/No	8	No	-6.799789	No/No	1	Si
	1930 - 2000	0.461807	No/No	0	No	-8.143065	No/No	1	Si
<i>Inpib</i>	1955 - 2000	-3.04682	Si/Si	1	No	-4.771365	No/No	0	Si
	1932 - 2000	-2.86849	Si/Si	1	No	-6.67024	No/No	0	Si
<i>Inpib²</i>	1955 - 2000	-2.98254	Si/Si	1	No	-4.719733	No/No	0	Si
	1932 - 2000	-2.97565	Si/Si	1	No	-6.51379	No/No	0	Si
<i>Inpib³</i>	1955 - 2000	-2.91760	Si/Si	1	No	-4.671277	No/No	0	Si
	1932 - 2000	-3.06343	Si/Si	1	No	-6.35983	No/No	0	Si
<i>Inpib_p</i>	1955 - 2000	-1.398159	No/No	0	No	-5.022254	No/No	0	Si
	1930 - 2000	-1.650844	No/No	0	No	-7.338158	No/No	0	Si
<i>Inpib_p²</i>	1955 - 2000	-1.370121	No/No	0	No	-5.062445	No/No	0	Si
	1930 - 2000	-1.593363	No/No	0	No	-7.456534	No/No	0	Si
<i>Inpib_p³</i>	1955 - 2000	-1.342101	No/No	0	No	-5.105551	No/No	0	Si
	1930 - 2000	-1.540062	No/No	0	No	-7.569461	No/No	0	Si
<i>indust</i>	1955 - 2000	-0.795071	No/No	0	No	-6.235314	No/No	0	Si
	1930 - 2000	-0.361994	No/No	0	No	-7.802268	No/No	0	Si
<i>Open</i>	1955 - 2000	-3.967201	No/No	0	No	-8.803365	No/No	0	Si
<i>T</i>	1955 - 2000	-6.838990	No/No	0	No	-6.320015	No/No	3	Si

¹ El número de retardos se determinó según el criterio SIC.

CO2

Para este contaminante se encontró una relación de cointegración solamente en el período 1955-2000 entre las variables definidas por el vector de variables $y_t = [Inco_2, Inpib, Open]$, habiendo inculcido en la especificación para realizar el Test de Johansen un término constante.

El Cuadro 3 presenta los coeficientes de cointegración “normalizados”, en las últimas cuatro columnas se presentan los estadísticos correspondientes a los tres vectores de cointegración posibles a través de los estadísticos de traza y de máximo valor propio. Se aprecia en este cuadro que no es posible rechazar la hipótesis nula de existencia de una relación de cointegración al 95% de confianza, lo que indica que las trayectorias de largo plazo de las tres series consideradas son explicadas por dos tendencias de largo plazo.

Al aplicar los test de exclusión de las variables de la relación de largo plazo, ninguna de las variables del vector antes definido se encontró ausente de la relación de largo plazo. Por otro lado, al investigar la exogeneidad de las variables, se encontró que únicamente el grado de apertura resultó ser débilmente exógeno, al tiempo que ni las emisiones de dióxido de carbono ni el producto lo son. Éste resulta ser novedoso, por no ser común la aplicación de modelos multiecuacionales en este tipo de análisis, arribando a un resultado opuesto al que arribaron Hung y Shaw (2004) en un estudio similar en Taiwan, quienes concluyen que la

degradación atmosférica no impacta sobre el nivel de ingreso.

Una vez comprobada la existencia de una relación de cointegración, se volvió a estimar la ecuación de equilibrio de largo plazo imponiendo la restricción de exogeneidad a la variable open, arribándose al siguiente resultado:

$$(3) \text{Inco}2_t = 1,13 \text{Inpib}_t - 0,049 \cdot \text{open}_t - 2,14.$$

La interpretación de esta relación indica que el nivel de emisiones de dióxido de carbono mantiene una relación estable en el largo plazo, siendo ésta una variable endógena y quedando determinada por una relación lineal del producto y del grado de apertura, a razón de 1,13 con el primero, y de -0,05 con el segundo. Es decir, el nivel de emisiones de dióxido de carbono queda determinado en el largo plazo en gran medida por el nivel de producto de manera positiva, mientras que el grado de apertura juega un rol amortiguador del nivel de emisiones del país, pero su influencia es muy pequeña. El resultado es coincidente con los alcanzados por Rodríguez y Valetta (2001) y Caiata (2003), acerca de la existencia de una relación positiva entre las emisiones de dióxido de carbono y el crecimiento económico para los niveles de actividad presentados por Uruguay a lo largo del período que se ha trabajado en el presente análisis.

Por otro lado, la significación y el signo de la variable que representa el comercio internacional son consistentes con los resultados alcanzados por Caiata (2003)

CUADRO 3
Test de Johansen

Vectores de cointegración normalizados	Variables				Test de rango		Test de rango	
	Inco ₂	Inpib	open	cte	Auto-valor	Estadístico de Traza	Auto-valor	Estadístico de Máximo Valor Propio
H ₀ : rango = 0 (ninguna rel. de coint.)	1	-1,367	0,0575	4,143	0.3743	31.4679*	0.3743	21.5744*
H ₀ : rango ≤ 1 (una relación de cointegración)	1,955	1	-0,026	-3.029	0.191	9.89353	0.191	9.7549
H ₀ : rango ≤ 2 (dos relación de cointegración)	35,12	-98,68	1	71.94	0.003	0.13853	0.003	0.1385

* (**) Significativo al 5% (1%).

De acuerdo del criterio de Akaike (AIC) fueron seleccionados 3 retardos para la estimación del modelo.

y Friedly Getzner (2003), a pesar de que la medida que toma este último trabajo solamente considera el peso de las importaciones respecto al nivel de actividad.

Al igual que en el período anterior, se coincide con Rodríguez y Valetta (2001) en la no significación del peso del sector industrial como determinante de las emisiones de dióxido de carbono.

El hecho de que exista una única relación de cointegración permite modelizar los efectos sobre las emisiones de dióxido de carbono a través de un modelo uniecuacional con mecanismo de corrección de errores (MCE).

$$(4) \quad d(\ln co_2) = -0.17*(res3 (-1)) - 0.5585*d(\ln co_2(-2)) + 1.5658*d(\ln pib(-1))$$

donde $res3$ es el residuo de la estimación de largo plazo especificada en (3), es decir, el mecanismo de corrección del error. El coeficiente correspondiente a $res3$ (-0.17) se ha de interpretar como la velocidad de ajuste del nivel de emisiones de dióxido de carbono (variable endógena) al equilibrio de largo plazo. Si el nivel de emisiones del contaminante se aparta en el período t de la tendencia de largo plazo, en el período $t+1$ comienza a retornar a una velocidad de ajuste cercana al 17%. En la dinámica de corto plazo se encontró significativo el primer retardo de la primera diferencia de $\ln pib$ y el segundo retardo de la primera diferencia de $\ln co_2$. Es decir, en el corto plazo, el nivel de actividad del país afecta al nivel de emisiones de dióxido de carbono con una magnitud mayor a como lo hace en la relación de largo plazo (1,52), mientras que las emisiones del contaminante de dos períodos previos lo hacen sobre el nivel actual. No fueron incluidas las

variaciones climatológicas por no ser significativas.

SO2

Una única relación de largo plazo fue encontrada para este contaminante solamente en el período 1955-2000, determinada por el vector de variables $x_t = [\ln so_2, \ln pib]$. La especificación utilizada para realizar el Test de Johansen incluyó un término constante y cuatro variables ficticias que representan intervenciones correspondientes a acontecimientos anómalos. Éstas corresponden a un cambio transitorio en 1959, el cual viene dado por el nivel de actividad, y a dos cambios de nivel en los años 1982 y 1995, la primera como consecuencia de la crisis económica que sufrió el país a principios de los 80 y la segunda como consecuencia de las técnicas de estimación utilizadas para estimar los niveles de emisión del contaminante. Por último, en 1992 se realizó otra intervención correspondiente a un cambio transitorio, también debido a las técnicas empleadas para estimar la serie del contaminante en los años noventa.

Se aprecia en el Cuadro 4 que no es posible rechazar la hipótesis nula de existencia de una relación de cointegración al 99% de confianza, lo que indica que las trayectorias de largo plazo de las dos series consideradas son explicadas por una tendencia de largo plazo.

Mientras que todas las variables del vector definido superaron los test de exclusión, al aplicar los test de exogeneidad débil, únicamente el nivel de actividad resultó débilmente exógeno. Este resultado es coincidente con el que arribaron Hung y Shawn (2004) en Taiwan para este mismo contaminante, indicando la

CUADRO 4
Test de Johansen

Vectores de cointegración normalizados	Variables			Test de rango		Test de rango	
	$\ln co_2$	$\ln pib$	cte	Auto-valor	Estadístico de Traza	Auto-valor	Estadístico de Máximo Valor Propio
H_0 : rango = 0 (ninguna rel. de coint.)	1	4,2174	38.89977	0.4056	25,872*	0.4056	23.933**
H_0 : rango \leq 1 (una relación de cointegración)	-2,3041	1	7.8005	0.0412	1.9395	0.04127	1.9395

* (**) Significativo al 5% (1%).

De acuerdo del criterio de Akaike (AIC) fueron seleccionados 3 retardos para la estimación del modelo.

no existencia de retroalimentación entre estas variables en el largo plazo.

Se volvió a estimar la ecuación de equilibrio de largo plazo tras haber comprobado la existencia de una relación de cointegración, imponiendo las restricciones de exogeneidad a la variable *lnpib*, arribándose al siguiente resultado:

$$(5) \ln so_2_p_t = 33,78 - 4,38 \ln pib_p$$

Esta relación indica que el nivel de emisiones de dióxido de azufre mantiene una relación estable en el largo plazo, siendo ésta la variable endógena y quedando determinada por una relación lineal del producto, a razón de -4,38. Por ende, el nivel de emisiones de dióxido de azufre queda determinado en el largo plazo por el nivel de producto, impactando éste casi cuatro veces su magnitud, a través de una relación inversa. Estos resultados son consistentes con los resultados alcanzados por Shafik y Bandyopadhyay (1992) y Torras y Boyce (1998), dado que los niveles de actividad que presenta Uruguay en la serie trabajada siempre nos ubican en los tramos decrecientes de las curvas que éstos estiman utilizando análisis *cross-country*. No sucede lo mismo con los resultados alcanzados por Grossman y Krueger (1991), ni Badano y Gersberg (2003), donde la coincidencia es parcial, ya que si bien para gran parte de los niveles de actividad de la serie trabajada se encuentra en los tramos decrecientes de las curvas por éstos estimadas, para ciertos niveles de actividad Uruguay se encontraría en los tramos crecientes de éstas.

Los efectos sobre las emisiones de dióxido de azufre pueden ser modelizados a través de un modelo uniecuacional con MCE, debido a que existe una única relación de cointegración y solamente una de las variables resultó ser débilmente exógena:

$$(6) (\ln so_2_p) = -0.2356 * (res(5)) - 0.09297 + 0.372829 * d(fe=1992) + 1.76675 * d(fe >= 1995)$$

donde *res8* es el residuo de la estimación de largo plazo especificada en (5), es decir, el mecanismo de corrección del error, mientras *d(fe=1992)* corresponde a una intervención debido a un cambio transitorio en ese año, al tiempo que *d(fe >= 1995)* es una variable ficticia correspondiente a una intervención debido a un cambio de niveles en dicho año. Estas intervenciones son realizadas debido a anomalías presentes en la serie como consecuencia de las técnicas de estimación empleadas por Stern (2005).

La velocidad de ajuste (el coeficiente correspondiente a *res5*) del nivel de emisiones de dióxido de azufre (variable endógena) al equilibrio de largo plazo es de



-0,24. Por ende, si el nivel de emisiones del contaminante se aparta en el período *t* de la tendencia de largo plazo, en el período *t+1* comienza a retornar a una velocidad de ajuste cercana al 24% por período.

Respecto a la dinámica de corto plazo, no se encontró significativo ningún retardo correspondiente a ninguna de las variables. Es decir, las variaciones de las variables no tienen un efecto inmediato sobre el nivel de emisiones de dióxido de azufre en el siguiente período. No fueron incluidas las variaciones climáticas que no resultaron significativas.

4. CONCLUSIONES

En primer lugar, a partir del análisis de las series de emisiones de dióxido de carbono y de azufre, se dividió el estudio en dos períodos: 1930 a 2000, y el subperíodo 1955 a 2000. Esta periodización fue efectuada debido al cambio en la tendencia observada en



la evolución de las emisiones de dióxido de azufre en el año 1955, al tiempo que las emisiones de dióxido de carbono pegan un salto sustancial cinco años antes. También se tuvo en cuenta a la hora de realizar esta división el hecho de que para el subperíodo elegido se contaba con información para todas las variables de interés.

A partir de este resultado, se procedió al estudio de la relación entre el nivel de actividad, el nivel de emisiones de estos contaminantes y otros posibles determinantes. Se ha comprobado empíricamente la existencia de una relación lineal de largo plazo para ambos contaminantes en el subperíodo 1955-2000, mientras que en el período 1930-2000 no se halló ninguna relación de cointegración. La relaciones de largo plazo halladas para el período reducido son de distinto signo. Mientras que las emisiones de dióxido de carbono crecen conjuntamente con el crecimiento económico,

la relación de este último respecto a las emisiones de dióxido de azufre es inversa. El comportamiento dispar de las emisiones de estos contaminantes respecto al crecimiento económico no es algo novedoso respecto a los resultados encontrados en la literatura. Éste puede ser explicado por diversos factores.

El hecho de que las emisiones de dióxido de carbono sean un contaminador a nivel global, mientras que las emisiones contaminantes de dióxido de azufre se perciben a nivel local a través de la calidad del aire parece ser parte de esta diferencia en los comportamientos. Las acciones que buscan una mejora ambiental tienden a darse cuando existen costos locales generalizados y beneficios privados y sociales sustanciales. De manera que existen pocos incentivos para actuar sobre la contaminación cuando su costo es asumido por terceros. Es así que cuando los costos pueden ser externalizados, el crecimiento económico no tendrá

en consideración esta dimensión (Shafik y Bandyopadhyay, 1992).

La caída en el nivel de emisiones de dióxido de azufre parece no corresponderse con un crecimiento de los indicadores de desarrollo, sino que más bien parecería ser fruto del fuerte proceso de desindustrialización que ha sufrido la economía uruguaya en la segunda mitad del siglo XX, como concluyen Bertoni y Román (2006) respecto al otro contaminante. Éste se dio como consecuencia del agotamiento del modelo de sustitución de importaciones implantado en el país a partir de la década del 30 (Astori, 1986), y el fracaso de los modelos que se implantaron posteriormente, como el de exportaciones de bienes no tradicionales, en la década de los 70.

Varios trabajos han presentado una relación creciente entre las emisiones de dióxido de carbono y el crecimiento económico para los niveles de actividad que presenta la serie trabajada, como Rodríguez y Valetta (2001), Badano y Gersberg (2003), Caiata (2003). Por otro lado, también se han encontrado resultados que presentan una relación inversa entre el crecimiento y las emisiones de dióxido de azufre para los niveles de actividad con que se trabajó, como Shafik y Bandyopadhyay (1992), Torras y Boyce (1997) y parcialmente Grossman y Krueger (1991) y Badano y Gersberg (2003).

Es así que la hipótesis acerca de la existencia de una relación de U-invertida, como lo plantea la teoría, es rechazada, ya que la evidencia empírica muestra que esta relación es lineal (creciente o decreciente en función del contaminante).

En segundo lugar se procedió a estudiar otros determinantes a través de la inclusión de variables adicionales (peso de la industria en el producto, grado de apertura y variaciones climatológicas) como determinantes de las emisiones de dióxido de carbono y de azufre.

El peso de la industria en el PIB resultó ser no significativo como determinante de ninguno de los dos contaminantes. Este resultado es consistente con los arribados por Rodríguez y Valetta (2001) y Caiata (2003), en los modelos que éstos estiman para países en desarrollo. El resto de los estudios que han sido revisados, o bien no presentan esta variable como determinante de los contaminantes, o trabajan con ella, pero no presentan resultados respecto a los contaminantes trabajados en esta investigación. Esto parece estar mostrando que el sector industrial uruguayo tiene poca incidencia como sector productivo emisor de contaminantes atmosféricos y de calidad del aire.



Esto podría darse por los procesos tecnológicos de la industria uruguaya en general, o por su progresiva disminución en la actividad del país.

Respecto al grado de apertura, solamente resultó ser significativo con relación a las emisiones de dióxido de carbono, y con una relación inversa. Parece ser razonable este resultado respecto a la naturaleza de ambos contaminantes y los resultados arribados en trabajos anteriores, ya que no se han hallado trabajos que encuentren al comercio internacional como determinante de las emisiones de dióxido de azufre. Esto ha de darse por su carácter de indicador de contaminación de la calidad de aire, lo cual lo convierte en un problema local, y no global, a diferencia de lo que sucede con el otro contaminante.

Esta relación inversa podría estar reflejando dos características particulares del crecimiento uruguayo a lo largo del último siglo. Por un lado, podría interpretarse como la mejora en los procesos tecnológicos (tecnologías más limpias) como consecuencia de la



atracción de inversión extranjera, y el fortalecimiento de las normas ambientales nacionales, y su impacto sobre los controles ambientales a los procesos productivos aún vigentes en el país. Pero por otro lado, la misma composición de las exportaciones del país, concentrada principalmente en productos con procesos productivos no contaminantes (no emisores de contaminantes atmosféricos y de la calidad del aire), como ser productos básicos y agroindustriales, y de importaciones (importándose aquellos bienes provenientes de procesos productivos contaminantes), es lo que esté por detrás del comportamiento de esta variable. Ambos factores han de ser tenidos en cuenta a la hora de interpretar cómo actúa este determinante. Nuevamente, este resultado es consistente con los ya arribados en la literatura examinada, como Caiata (2003) y Friedl y Getzner (2004).

Las variaciones climatológicas, representadas por la desviación de la temperatura media anual respecto a la media, no resultaron ser significativas como de-

terminantes de las emisiones de ninguno de los contaminantes. Esto es opuesto al resultado arribado por Friedl y Getzner (2005) para Austria, que encuentran que las variaciones en la temperatura inciden sobre el consumo de energía de la población, y por ende, en el nivel de emisiones contaminantes. Es de suponer que en el caso de Uruguay, el clima “templado” que lo caracteriza, supone que las leves variaciones que se han registrado en el nivel medio de temperatura global (de 0,6°C a lo largo del último siglo) hacen que esta variable no afecte al consumo de energía.

En tercer lugar, se encontró que en la dinámica de corto plazo, no todas, solo incide el propio nivel del producto sobre el nivel de emisiones de dióxido de carbono.

El resultado parece ser razonable, si consideramos que la relación de largo plazo para este contaminante está determinada por el producto y el grado de apertura. De esta manera, podría esperarse que esta última variable no tenga impactos inmediatos sobre el nivel de emisiones de dióxido de carbono. Respecto a la dinámica de corto plazo entre las emisiones de dióxido de azufre y el nivel de producto, el nivel de actividad no tendría un impacto inmediato.

En suma, los resultados arribados son coincidentes con lo que marca la literatura del tema. De todas formas, se identifican debilidades en el análisis, como ser el origen de las estimaciones de los contaminantes y la no inclusión de otras variables adicionales de interés, por falta de información, como podrían ser variables referidas a la educación e institucionales, como lo han hecho trabajos previos que se han desarrollado en el país en períodos más cortos y a través de datos de panel. La interpretación de los resultados arribados en referencia a la dinámica de corto plazo es plenamente intuitiva, ya que no se cuenta con estudios similares en la literatura para poder contrastarlos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Astori, D., (1986): “Tendencias recientes de la economía uruguaya”, Fondo de Cultura Universitaria - Centro Interdisciplinario de Estudios sobre el Desarrollo, Uruguay.
- Badano, F., Gersberg, S., (2003): “La Curva de Kuznets Medioambiental desde la perspectiva del Desarrollo Sostenible”. Trabajo Monográfico correspondiente a la Licenciatura de Economía Plan 1990 de la Facultad de Ciencias Económicas y de Administración de la Universidad de la República.
- Banerjee, A., Dolado, J., Galbraith, J. y Hendry, D., (1993), “Cointegration, Error Correction, and the econometric analysis of Non – Stationary Data”, Oxford University Press.
- Bandyopadhyay, S., Shafik, N., (1992): “Economic growth and environmental quality: time series and cross - country evidence”, documento de respaldo para el World Development Report 1992. Banco Mundial.
- Bertino, M., Tajam, H., (1999): *El PBI de Uruguay: 1900 – 1955*. Instituto de Economía, Facultad de CC.EE.A., Universidad de la República.

- Bertoni, R., Román, C.**, (2006): "Estimación y Análisis de la EKC para Uruguay en el siglo XX", XXI Jornadas Anuales de Economía, Banco Central del Uruguay, www.bcu.gub.uy/autoriza/peiees/jor/2006/iees03/3390806.pdf.
- Borghesi, S.**, (1999): *The Environmental Kuznets Curve: a Survey of the Literature*, European University Institute.
- Boyce, J., Torras, M.**, (1998): "Income, Inequality, and pollution: a reassessment of the environmental Kuznets Curve". *Ecological Economics*. Vol. 25, Nº 2, pp. 147 - 160.
- Caiata, G.**, (2003): "La relación entre el crecimiento económico y la dimensión Ambiental". *Trabajo Monográfico correspondiente a la Licenciatura de Economía Plan 1990 de la Facultad de Ciencias Económicas y de Administración de la Universidad de la República*.
- Chapman, D., Suri, V.**, (1998): "Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets Curve". *Ecological Economics*. Vol. 25, Nº 2, pp. 195- 208.
- De Bruyn, S., Rothman, D.**, (1998): "Probing into the environmental Kuznets curve hipótesis". *Ecological Economics*. Vol. 25, Nº 2, pp. 143-45.
- De Bruyn, S., Van den Bergh, J., Opschoor, J.**, (1998): "Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves". *Ecological Economics*. Vol. 25, Nº 2, pp. 161-75.
- Deacon, R., Norman, C.**, (2004): "Does the Environmental Kuznets Curve describe how individual countries behave?". Department of Economics, University of California.
- Egli, H.**, (2004): "The Environmental Kuznets Curve – Evidence from Time Series Data for Germany". ETH Zurich. <http://ideas.repec.org/p/eth/wpswif/03-28.html>.
- Friedl, B., Getzner, G.**, (2004): "Determinants of CO₂ emissions in a small open economy". *Ecological Economics*. Vol. 45, pp. 133-148.
- Gitli, E., Hernández, G.**, (2002): "La existencia de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) y su impacto sobre las negociaciones internacionales". Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sustentable. *Serie Documentos de Trabajo 009 -2002*.
- Grossman, G., Krueger, A.**, (1991): "Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement". *National Bureau of Economic Research, working paper N° 3914*.
- Grossman, G., Krueger, A.**, (1994): "Economic growth and the environment". *National Bureau of Economic Research, working paper N°4634*.
- Hung, M., Shaw, D.**, (2004): "Economic Growth and the Environmental Kuznets Curve in Taiwan: a simultaneity model analysis", en Boldrin, M., Chen, B.L. y Wang, P. (eds.), *Human Capital, Trade and Public Policy in Rapidly Growing Economies: From Theory to Empirics*, pp. 269-290.
- Husar, J., Husar, R., Lefohn, A.**, (1999): "Estimating Historical Anthropogenic Global Sulfur Emission Patterns for the Period 1850-1990". *Atmospheric Environment*. Vol. 33, Nº 21, pp.3435-3444, <http://www.asl-associates.com/sulfur1.htm>
- Johansen, S.**, (1992): "Cointegration in Partial Systems and the Efficiency of Single-equation Analysis". *Journal of Econometrics*. Vol. 52, Nº 3, pp. 389-402.
- Kuznets, S.**, (1955): "Economic Growth and Income Inequality", AER.
- Martínez Alier, J., Muradian, R.**, (2001): "Trade and Environment: from a 'Southern' perspective". *Ecological Economics*. Vol. 36, pp. 281-297.
- Moomaw, W., Unruh, G.**, (1998): "An alternative analysis of apparent EKC type transitions". *Ecological Economics*. Vol. 25, Nº 2, pp. 221-29.
- Rodríguez, A., Valetta, R.**, (2001): "La relación entre Crecimiento Económico y Contaminación Ambiental". *Trabajo Monográfico correspondiente a la Licenciatura de Economía Plan 1990 de la Facultad de Ciencias Económicas y de Administración de la Universidad de la República*.
- Rothman, D.**, (1998): "Environmental Kuznets Curves - real progress or passing the buck?" *Ecological Economics*. Vol. 25, Nº 2, pp. 177-94.
- Stern, D., Perman, R.**, (1999): "The environmental Kuznets curve: Implications of non-stationarity". Centre for Resource and Environmental Studies Ecological Economics Program, The Australian National University.
- Stern, D.**, (2003): "The Environmental Kuznets Curve". International Society for Ecological Economics - Internet Encyclopedia of Ecological Economics, <http://www.ecoeco.org/publica/encyc.htm>
- Stern, D.**, (2005): "Global sulfur emissions from 1850 to 2000". *Chemosphere*. Vol. 58, pp. 193-175.
- UNDP**, (2007): "Human Development Report 2007/2008". United Nations, Development Program.

NOTAS

- 1 Stern, Common y Barbier, 1994, "Economic Growth and Environmental Degradation: A Critique of the Environmental Kuznets Curve", citado en Stern, 1996, "Progress on the Environmental Kuznets Curve. The Australian National University, Center for Resource and Environmental Studies, Ecological Economics Program, Working Paper N° 9.601, citado en Badano y Gersberg (2003).
- 2 Beckerman, W, 1992, "Economic growth and the environment: Whose growth? Whose environment?" World Development, citado en Stern (2003) y en Egli (2004).
- 3 Panayotou, T, 2000, "Economic Growth and the Environment", CID working paper N° 56, citado en Egli (2004).
- 4 BIRF, 1992, "World Development Report, 1992: Development and the Environment", Oxford University Press, citado en Stern (2003).
- 5 Panayotou, T, 1997, "Demystifying the Environmental Kuznets Curve: Turning a Black Box into a Policy Tool", Environmental and Development Economics, citado en Badano y Gersberg (2003), Deacon y Norman (2004), Egli (2004) y Friedl y Getzner (2005).
- 6 Vincent, J R, 1997, "Testing for environmental Kuznets Curves within a developing country", Environmental and Development Economics, Vol. Nº 2, págs. 417-431, Cambridge University Press, citado en Friedl y Getzner (2004), Egli (2004) y Hung y Shaw (2004).
- 7 Carson, R T, Jeon, Y, y McCubbin, D R, 1997, "The relationship between air pollution emissions and income: US data", Environment and Development Economics, Vol. Nº 2, Cambridge University Press, citado en Egli (2004), Deacon y Norman (2004) y Hung y Shaw (2004).
- 8 Panayotou, T, 1997, "Demystifying the Environmental Kuznets Curve: turning a black box into a policy tool", Environmental and Development Economics, citado en Friedl y Getzner (2004).
- 9 Selden, T y Song, D, 1994, op. cit.
- 10 Arrow, K, Constanza, R, Dasgupta, P, Folke, C, Holling, C S, Jansson, B O, Levin, S, Mäler, K G, Perrings, C y Pimentel, D, 1995, Economic growth, carrying capacity, and the environment", Science, citado en Stern (2003).
- 11 Para ver el desarrollo del modelo ver Banerjee et al. (1993).
- 12 Todos los resultados son presentados de manera ampliada en el Anexo Económico.

AGRADECIMIENTO

El autor desea agradecer a Bibiana Lanzilotta por su apoyo y los valiosos comentarios que a esta investigación ha brindado.