



## La industria del cemento en Colombia

**Mauricio Cárdenas S.**  
**Carolina Mejía M.**  
**Fabian García A.**

## LA INDUSTRIA DEL CEMENTO EN COLOMBIA

Mauricio Cárdenas S.<sup>1</sup>  
Carolina Mejía M.<sup>2</sup>  
Fabián García A.<sup>3</sup>

### Resumen

Este documento analiza el comportamiento de la industria del cemento en Colombia en las últimas décadas. En particular, estudia la relación que existe entre el precio y las cantidades producidas de cemento durante el período 1980 - 2006, así como los determinantes del comportamiento de estas variables durante el período 1994 - 2006. Los resultados muestran que, como consecuencia de la crisis económica de finales de siglo pasado, la relación de largo plazo entre precios y cantidades tuvo un fuerte desequilibrio, que se ha corregido parcialmente en los años recientes. Además, se encuentra evidencia de una conducta estratégica en la fijación del precio, de acuerdo al comportamiento de la demanda.

### Abstract

This paper analyses the functioning of Colombia's cement industry in the last decades. In particular, it explores the dynamic relation among real cement prices and output for period 1980 - 2006, and studies their determinants using data for the period 1994 - 2006. The evidence suggests that the severe recession of the late 1990s caused a disequilibrium in the long term relationship between prices and quantities, which has been partially corrected. In addition, results indicate a strategic behavior in price determination, depending on demand conditions.

**Palabras clave:** Industria del cemento, colusión, precios cíclicos, Colombia.

**Key words:** Cement industry, collusion, cyclical pricing, Colombia.

**Clasificación JEL:** D21, D43, L11, L13, L79

---

<sup>1</sup> Director Ejecutivo de Fedesarrollo.

<sup>2</sup> Investigadora de Fedesarrollo.

<sup>3</sup> Asistente de Investigación de Fedesarrollo.

## I. INTRODUCCIÓN

El sector productor de cemento, cal y yeso participa con 4.3% del valor agregado industrial, de acuerdo a datos de la Encuesta Anual Manufacturera de 2003. Además, constituye un insumo clave para el sector de la construcción, uno de los principales motores del crecimiento económico en el país, lo que lo convierte en uno de los sectores estratégicos de la economía.

Recientemente, el mercado del cemento se ha caracterizado por una alta volatilidad. Según datos del ICPC, el precio del cemento cayó 40% en términos reales entre mediados de 2004 y mediados de 2005. Esta tendencia se revirtió a partir de noviembre de 2005, lo que ha despertado el interés de autoridades y analistas.

El principal objetivo de este estudio es caracterizar detalladamente la industria del cemento en Colombia, con especial énfasis en la relación y los determinantes de los precios y cantidades producidas en el mercado. Para ello se utilizan datos sobre producción, precios, insumos y otras variables relevantes, durante las dos últimas décadas. Sin duda, las particularidades del sector, su composición, evolución y estructura, aportan herramientas fundamentales para entender su comportamiento y para el análisis de su influencia en otros mercados y en la economía en general.

En el plano internacional, la industria del cemento es una de las más estudiadas en la literatura empírica de organización industrial. Es una industria que por lo general está caracterizada por el arquetipo de un oligopolio homogéneo, al tratarse de un mercado en el que participa un número reducido de firmas que producen un bien poco diferenciado. Este número reducido de firmas es explicado por la existencia de barreras a la entrada de nuevos competidores. Estas pueden ser de tipo natural, como la geografía y la importancia de tener yacimientos de piedra caliza cerca al centro de procesamiento, o pueden resultar de los altos costos hundidos (inversión) que debe asumir una empresa a la hora de entrar a operar en la industria.

La organización industrial de los mercados es relevante en la medida en que influye en la forma como operan las fuerzas de oferta y demanda para determinar los precios y las cantidades transadas en el mercado. Como es conocido, el comportamiento de los mercados (y, por tanto, de sus resultados) bajo competencia perfecta es significativamente diferente a lo que ocurre en mercados con uno o pocos oferentes (monopolio/oligopolio) o con uno o pocos compradores (monopsonio). Es decir que las motivaciones, acciones e interacciones de los agentes, bien sea consumidores u oferentes, adquieren especial importancia en la explicación de la dinámica del mercado.

En esta línea, el primer paso en el análisis es la identificación de la estructura del mercado de cemento en Colombia. Para ello se utiliza un marco conceptual que estudia la existencia de los mercados no competitivos como resultado de economías de escala y otros elementos como la diferenciación del producto y el uso y desarrollo de la tecnología. Además se introduce el modelo de oligopolio, en el que el resultado en términos de fijación de precios depende en gran medida de si la interacción entre los agentes es finita o no como se verá más adelante.

Como tercer punto, se examina el comportamiento de las variables más importantes de la industria del cemento en Colombia en las últimas dos décadas<sup>4</sup>. Así, se analiza información financiera de las empresas que la conforman, evolución de los precios, producción y principales costos de producción, al igual que la utilización de la capacidad instalada. De forma similar, se presenta el desempeño de otras variables estrechamente relacionadas a la dinámica de la industria, en particular, el PIB de la construcción y la tasa hipotecaria real. Adicionalmente, se presentan tres índices de concentración de mercado.

Como cuarto punto, se explora la conexión que existe entre el sector de la construcción y la producción de cemento en los últimos años. En especial, se analiza el efecto que tiene cada una de estas variables sobre la otra.

En quinto lugar, se presentan las estimaciones de un modelo econométrico para el periodo 1980-2006, que se utiliza para comprobar la existencia de una relación estable de largo plazo (y su dirección) entre el precio y las cantidades producidas de cemento. Posteriormente, se estima un modelo de ecuaciones simultáneas para analizar más detenidamente el periodo 1995-2006. Este modelo permite establecer cuáles son los principales determinantes del comportamiento tanto de la cantidad demanda como del precio al público. Es necesario resaltar que este modelo de ecuaciones simultáneas tiene en cuenta que la estructura de mercado no corresponde a un mercado de competencia perfecta, y además, que en este tipo de estructura, las firmas pueden reaccionar al estado de la demanda, vía precios.

El resto del documento está dividido en siete secciones. En la segunda sección se discute el marco conceptual de mercados no competitivos. En la tercera se describe las variables que son relevantes en el estudio de esta industria. En la cuarta se explora la relación que hay entre la producción de cemento y la construcción. La quinta sección presenta la especificación de los modelos econométricos, modelo de corrección de errores (VEC) y modelo de ecuaciones simultáneas, así como los resultados de las estimaciones. Finalmente, en la última sección se presentan las conclusiones.

## **II. MARCO CONCEPTUAL**

Para un análisis acertado del mercado de cemento en Colombia, se necesita establecer a qué tipo de estructura de mercado corresponde. En esta sección se enumeran cuáles son los principales elementos que explican la existencia de mercados no competitivos en la economía, y se introduce el modelo de oligopolio, que es tal vez el modelo que mejor se ajusta a las características del mercado del cemento, tanto en el país como en el mundo.

El paradigma del equilibrio competitivo es, tal vez, el modelo conceptual más desarrollado en la literatura económica. En parte porque, con pocos supuestos, permite llegar a conclusiones sorprendentemente generales, cosa que no ocurre con los modelos que tratan de analizar los mercados en los que existe algún tipo de imperfección. Entre los pocos supuestos en que se basa el modelo de equilibrio competitivo se encuentran: la ausencia de externalidades entre agentes, la naturaleza privada de los bienes (esto es que sean rivales y excluyentes) y un flujo de información perfecto entre consumidores y productores.

---

<sup>4</sup> En la medida en que la información está disponible.

Probablemente, la más conspicua de todas las condiciones es la que plantea que en un mercado competitivo todos los participantes son “tomadores de precios”, es decir, que no tienen influencia alguna sobre la determinación de los precios. En otras palabras, la interacción de un amplio número de oferentes y demandantes de un producto determina su precio, sin que ningún vendedor o comprador individual afecte el resultado final. Aunque es relativamente fácil encontrar ejemplos de este tipo de estructuras de mercado (e.g., buena parte de los mercados de productos agrícolas), la realidad es que la mayoría de mercados están compuestos por un pequeño número de firmas con cierto poder de mercado.

Por supuesto, estas nociones dependen críticamente de la definición de mercado. En un extremo, si suponemos que dos productos pertenecen a un mismo mercado solo si son sustitutos perfectos, prácticamente todos los mercados estarían atendidos por una sola firma. La razón es que todos los productos tienen alguna diferenciación, así sea leve (bien sea física o en términos de localización y disponibilidad). Por ello, la definición de mercado no debe ser demasiado estrecha<sup>5</sup>.

Una de las características más relevantes de la mayoría de industrias (entre ellas la cementera) es la existencia de costos fijos. Precisamente por ello, los costos unitarios disminuyen a medida que aumenta la escala de producción, lo que da origen a economías de escala, también conocidas como rendimientos crecientes a escala. Si la escala mínima eficiente es una proporción significativa del tamaño de la demanda, el mercado contará con un reducido número de firmas que puedan obtener ganancias por encima de lo normal al fijar precios superiores a los que prevalecerían bajo condiciones de competencia perfecta<sup>6</sup> (Ver Bain, 1956). Los potenciales competidores se abstienen de entrar al mercado porque saben que si lo hacen, desaparecen las ganancias extraeconómicas y, con ellas, los incentivos a participar en ese mercado. Esta es, en síntesis, la principal razón por la cual existen mercados con estructuras no competitivas.

Sin embargo, las economías de escala no son la única razón que puede dar origen a mercados no competitivos. En la literatura especializada (ver, por ejemplo, Tirole 1988) se pueden identificar tres razones adicionales que protegen a las firmas participantes de la entrada de competidores y, por lo tanto, les permiten obtener utilidades superiores a lo normal. Estas incluyen:

- *Ventajas absolutas de costos:* Puede ocurrir que las firmas establecidas tengan mejores tecnologías, en parte como resultado de la experiencia y el aprendizaje, o por medio de investigación y desarrollo (patentadas o secretas). También es posible que hayan acumulado capital que reduce el costo de producción. Otra opción es que hayan cerrado las posibilidades de entrada de potenciales competidores, limitando el acceso a la compra de insumos por medio de contratos con proveedores clave.
- *Ventajas resultantes de la diferenciación de productos:* Los productores establecidos pueden haber patentado innovaciones a los productos o pueden haber encontrado los segmentos correctos en el espacio de productos o, eventualmente, pueden beneficiarse de la lealtad de los consumidores.

---

<sup>5</sup> Por ejemplo, el mercado relevante de cemento en el caso de Colombia es el mercado nacional. La razón es que el cemento producido en las diferentes regiones es sustituible, además de tener precios altamente correlacionados.

<sup>6</sup> Ganancias normales o económicas hacen referencia a las que se obtienen en un mercado competitivo.

- *Requisitos de capital:* Es posible que los potenciales entrantes enfrenten problemas de financiamiento debido a que presentan un mayor riesgo frente a los acreedores. Una posibilidad es que los acreedores no estén dispuestos a financiar a los entrantes debido a que no los conocen o a que quienes operan en el mercado transmitirían a los acreedores parte de la pérdida de utilidades producto de la entrada de nuevos jugadores. Es decir, en este caso el verdadero obstáculo es el funcionamiento del mercado de capitales.

Todo lo anterior sugiere que la existencia de rentas monopólicas o ganancias extraeconómicas es algo frecuente. No obstante, cabe la posibilidad de que aún en situaciones donde los costos fijos son altos, no se presenten ganancias supra-normales o extraeconómicas; como lo demuestra una extensa cantidad de modelos, teóricos y empíricos, en el campo de la organización industrial.

En esta línea, quizás el modelo más conocido es el denominado *modelo del precio límite*, que simplemente establece que, bajo ciertas circunstancias, las firmas que operan en el mercado fijan un precio suficientemente bajo para inhibir la entrada de nuevos competidores. Un comportamiento característico de este tipo de mercados es que las firmas compiten en el largo plazo por medio de la acumulación de capacidad productiva (es decir, inversión) y, por lo tanto, cobran un precio bajo para frenar o limitar la entrada de nuevos competidores. En estas circunstancias, el bienestar del consumidor no se ve afectado negativamente.

Otra posibilidad (conocida como el *modelo de Milgrom-Roberts*) es que tanto la firma operando en el mercado como el potencial entrante cuentan con información asimétrica: quien está presente en el mercado cobra un precio bajo, no porque tenga una gran capacidad productiva, sino porque quiere transmitir la información que la demanda es baja o que su propio costo marginal es bajo, lo que le envía una señal de baja rentabilidad futura al potencial entrante.

De forma similar, Baumol, Panzar y Willig (1982) argumentan que la existencia de una o pocas firmas en un mercado no implica que no haya competencia, ya que la competencia potencial (la amenaza de entrada) sirve para disciplinar a las firmas establecidas. Es decir, la existencia de pocas firmas no es sinónimo de mercados no competitivos. El que haya una amenaza de entrada sirve para que los mercados funcionen de forma similar a si fueran competitivos, así estén compuestos por un número pequeño de jugadores. Estos son los mercados disputables (o "*contestable markets*"). Cuando la entrada no es simplemente una amenaza, sino que de tiempo en tiempo aparece un competidor, los resultados tienden a asemejarse aún más a los de un mercado competitivo.

### **A. El modelo de oligopolio**

Como se mencionó anteriormente, por lo general, la industria del cemento se caracteriza por una estructura de oligopolio. En primer lugar, las barreras de entrada son altas, ya que la inversión inicial en plantas de producción es considerable. Adicionalmente, la fabricación de cemento presenta rendimientos crecientes a escala, en la medida en que el costo por unidad disminuye con la cantidad producida, se presentan altos costos de distribución y la posibilidad de acumular inventarios es baja (dada la corta vida del producto). El resultado es un mercado en el que participa un número reducido de firmas que producen un bien poco diferenciado.

La teoría de juegos es la herramienta utilizada para analizar el comportamiento estratégico de un mercado oligopólico, particularmente, el modelo conocido como *Oligopolio de Bertrand*. El modelo caracteriza mercados con bienes homogéneos, como es el caso del cemento<sup>7</sup>, donde la variable estratégica de cada empresa es el precio<sup>8</sup>. La predicción más conocida de este modelo es que las empresas igualan el precio a su costo marginal, dejando a cada empresa con beneficios nulos. Si las empresas escogen un precio por encima de su costo marginal, una de ellas puede cobrar un precio menor al inicial y acaparar todo el mercado. En esta situación, la mejor estrategia que pueden seguir las otras empresas es bajar su precio y así recuperar el mercado perdido. Si la interacción continúa de esta manera, llegarán al mínimo precio que puede soportar cada empresa sin incurrir en pérdidas, es decir, al nivel del costo marginal.

De esta forma, si las firmas interactúan en periodos de tiempo cortos, el resultado bajo un oligopolio es idéntico al resultado de competencia perfecta; es decir, las firmas fijan el precio igual al costo marginal. Supongamos que hay  $t$  periodos. En el último período ( $t$ ) de alguna manera *el futuro no es importante* y, por lo tanto, la estrategia óptima de las empresas es fijar el precio igual al costo marginal, de lo contrario, cualquier empresa fijaría un precio menor y se quedaría con todo el mercado. Como ya se sabe el resultado de  $t$ , el *último* período de interacción sería el período  $t-1$ . En este periodo opera la misma lógica del período  $t$  y llegamos al resultado de competencia perfecta. El análisis recursivo para el resto de los periodos permite concluir que la mejor reacción de cada firma en cada uno ellos, es fijar el precio igual al costo marginal<sup>9</sup>.

No obstante, cuando la interacción es infinita el resultado puede ser diferente. Bajo este escenario, las firmas consideran el efecto de sus decisiones de hoy en las decisiones futuras de sus rivales. Las decisiones son importantes para la firma pues determinan su flujo de beneficios en el futuro. Por ejemplo, bajar el precio hoy respecto al de los rivales, puede incrementar los beneficios actuales pero puede conducir a una costosa guerra de precios en el futuro, con efectos negativos sobre rentabilidad, que se hubiera podido evitar no bajando el precio. Supóngase que existe una historia en la cual las firmas han mantenido un precio por encima del costo marginal. En esta situación una firma tiene dos alternativas: escoger el precio histórico siempre y cuando la otra firma haya escogido este precio en el pasado o, por el contrario, si la otra firma ha escogido un precio que está por debajo del precio histórico, la firma en cuestión deberá escoger, dadas las acciones de sus competidores, un precio que le garantice una mayor proporción del mercado (menor al histórico). Bajo ciertas condiciones, como lo señalan Meléndez et al. (2005), la interacción repetida de las firmas permite mantener un precio por encima del costo marginal, generando beneficios extraeconómicos o por encima de lo normal. La situación es sostenible debido a las fases de castigo en las que el mercado entra temporalmente a precios cercanos al costo marginal. En esta situación las empresas notan su caída de beneficios y por tanto, en la medida que sea posible, evitarán bajar sostenidamente su precio.

---

<sup>7</sup> Aunque existen diferentes tipos y calidades de cemento, el cemento se puede considerar como un bien homogéneo.

<sup>8</sup> En el modelo denominado Oligopolio de Cournot, la variable estratégica es la cantidad ofrecida.

<sup>9</sup> Este resultado se conoce en la literatura como un equilibrio de Nash perfecto en subjuegos y la forma como se llega a la solución, es decir, a que la firma iguala el precio al costo marginal en todos los periodos, se llama inducción hacia atrás.

Un aspecto importante en este modelo es el balance que hace una empresa a la hora de decidir si baja su precio o no. Cada firma debe evaluar la posibilidad de obtener ganancias en el corto plazo versus el costo de una guerra de precios en el largo plazo. Cuando el nivel de demanda por el bien homogéneo fluctúa, necesariamente existe una *relación* entre la posibilidad de bajar el precio y el estado de la demanda del bien en cuestión. Naturalmente, es más atractivo bajar el precio cuando se sabe que en el mercado hay un considerable número de consumidores (auge), que en épocas de poca demanda. Este balance puede resultar en que el precio fijado por las empresas deba ser reajustado periódicamente (Bagwell y Staiger, 1995). En otras palabras, es de vital importancia entender el efecto del ciclo económico sobre la fijación de precios en mercados oligopólicos.

En esta línea, Rotemberg y Saloner (1987) ofrecen una teoría que explica el efecto del estado de la demanda sobre la determinación del precio en mercados oligopólicos. Estos autores parten del supuesto de que la demanda de hoy no influye o no tiene relación alguna con la demanda de mañana. En otras palabras, el costo que se puede esperar en el largo plazo tras bajar el precio del bien (e.g. una guerra de precios), es independiente del estado actual de la demanda. Lo que importa en este modelo es la demanda actual ya que su estado afecta los incentivos de las empresas en el *corto plazo* para modificar sus precios. De esta manera los autores argumentan que los incentivos para bajar el precio en momentos con demanda alta son altos en la medida que esta acción permite acaparar más mercado y generar beneficios extra, por lo menos, hasta que las otras firmas bajen también su precio. Bajo este supuesto, los autores concluyen que el precio que fijan las firmas es anticíclico respecto al nivel de demanda, es decir, que las firmas tienden a bajar su precio en épocas de auge y a subirlo en épocas de depresión. Es esperable, entonces, que ciertos oligopolios tiendan a comportarse competitivamente en épocas de alta demanda y por lo tanto es factible observar precios bajos de estas industrias en estos períodos.

Cabe anotar, que el supuesto sobre la relación de la demanda a lo largo del tiempo es bastante fuerte, ya que implica que las firmas no generan expectativas sobre la demanda futura dependiendo de la demanda actual. Para sobrepasar esta limitación, se han desarrollado modelos teóricos donde también se tiene en cuenta la correlación de la demanda en el tiempo. Sin embargo, estos modelos no llegan a resultados concluyentes acerca de la influencia del estado de la demanda, ya que éstos cambian significativamente dependiendo de los supuestos escogidos<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> Ver, por ejemplo, los documentos de Kandori (1991) y Haltiwanger y Harrington (1991). En el primero de ellos, si el factor de descuento de los beneficios futuros guarda cierta relación con el número de firmas, el comportamiento de los precios es contra cíclico, aún bajo el supuesto de demandas correlacionadas en el tiempo. Por otra parte, en el segundo documento, los autores asumen que la demanda sigue un ciclo determinístico. Si se define una época de recesión como una secuencia de períodos en el que la demanda está cayendo, la colusión se torna difícil en estas épocas debido a que el costo de una guerra de precios, dado al bajo nivel de demanda, es mínimo. De esta manera, concluyen los autores, es más factible que en épocas de recesión bajen los precios. De esta manera la relación de precios es pro cíclica con el comportamiento de la demanda.

### III. INFORMACIÓN BÁSICA

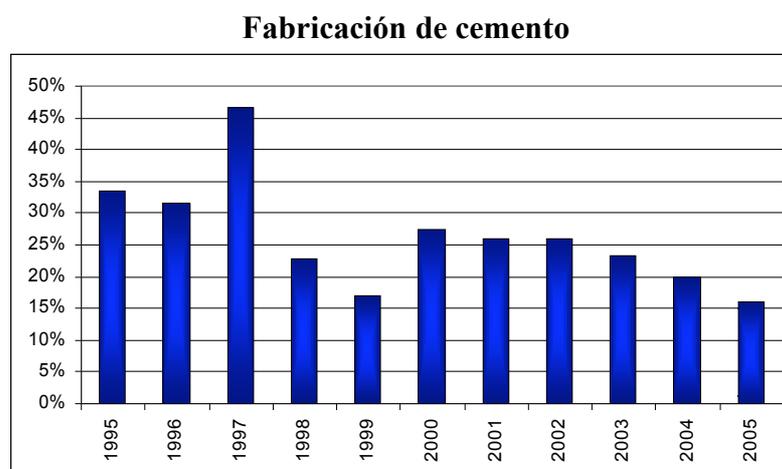
Esta sección describe brevemente cual ha sido el comportamiento de las principales variables agregadas del sector del cemento en las últimas décadas con el fin de resaltar hechos importantes que sirvan de base para argumentar el comportamiento que ha tenido la industria. Se analizarán, entonces, variables relacionadas con la información financiera, empleo, precios, producción y utilización de la capacidad instalada. También se discuten otras variables que se encuentran estrechamente relacionadas a su dinámica, más específicamente, el PIB de la construcción y la tasa hipotecaria real. Adicionalmente, se presentan tres índices de concentración industrial: *CR1*, *CR2* y el Índice de Herfindahl-Hirschman (*HHI*, por sus siglas en inglés).

#### A. Resultados financieros

La información financiera de las firmas productoras de cemento proviene de la base de datos de la Superintendencia de Sociedades, donde las empresas vigiladas reportan sus estados financieros anualmente. Los datos están disponibles para el periodo 1995-2005, con un promedio de 8.55 firmas por año.<sup>11</sup>

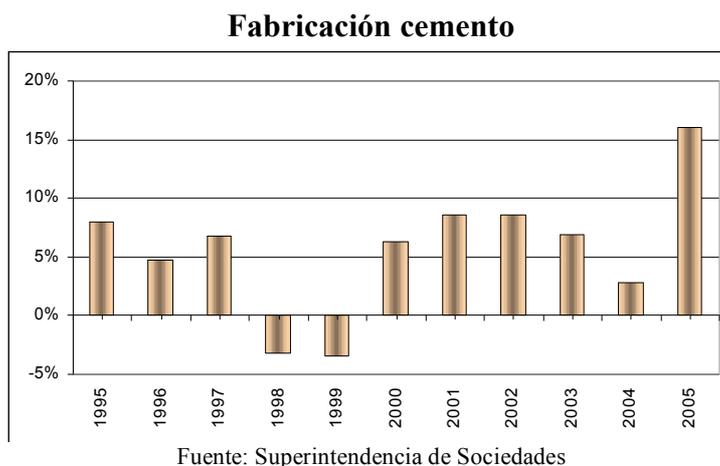
Los ingresos operacionales de las empresas productoras de cemento (como porcentaje de sus activos) muestran una tendencia decreciente en el periodo analizado, con un abrupto descenso entre 1997 y 1999 (Ver Gráfico 1). Las utilidades como proporción de los activos son un indicador apropiado para evaluar el retorno sobre los activos (más conocido como ROA). El Gráfico 2 muestra que el retorno sobre los activos más alto observado en el periodo analizado se alcanzó en 2005 con un valor cercano al 16%. Por otra parte, el desempeño de las empresas en los años 1998 y 1999 fue poco satisfactorio e incluso, durante la crisis económica, las firmas presentaron pérdidas operacionales. Esta información será relevante para el análisis del comportamiento de los precios y cantidades.

**Gráfico 1. Ingresos operacionales como % Activo, 1995-2005**



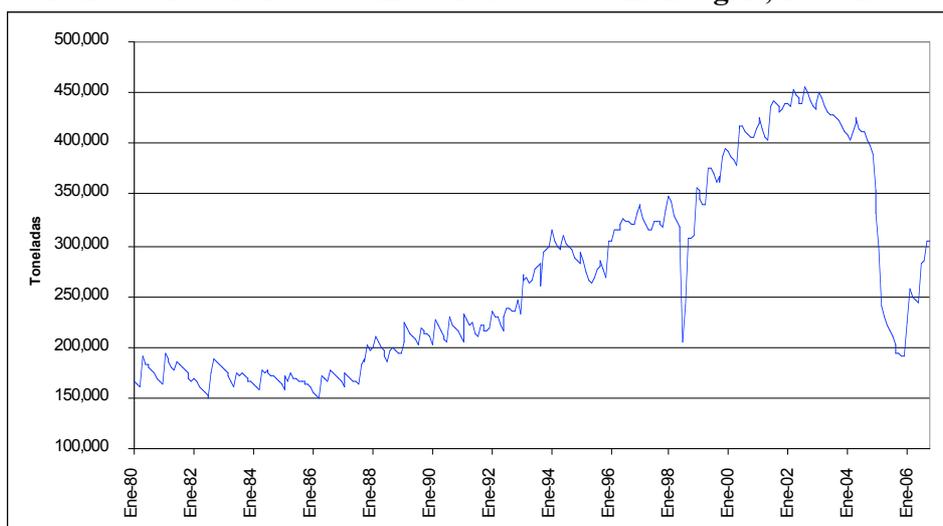
Fuente: Superintendencia de Sociedades

<sup>11</sup> La información financiera de la Supersociedades se encuentra disponible a nivel de la empresa. Para propósitos de los niveles de concentración fue agregada por conglomerado (ver apéndice 1).

**Gráfico 2. Utilidades como % de los Activos, 1995-2005**

### B. Precios y cantidades

Como muestra el Gráfico 3 **Error! Reference source not found.**, el precio real por tonelada de cemento gris se mantuvo estable a lo largo de la década de los ochenta, alrededor de \$180 mil pesos de 2006 por tonelada. Durante el periodo 1990-1997, cuando se presentó el auge de la construcción y la demanda fue dinámica, el precio promedio aumentó en 50%, equivalente a un crecimiento anual promedio cercano a 7%. En medio de la crisis de fin de siglo, el precio cayó momentáneamente (entre enero y junio de 1998) a los niveles observados a finales de los ochenta. A partir de ese momento se incrementó de nuevo hasta alcanzar su punto máximo en junio de 2002 (\$454 mil pesos de 2006 por tonelada). Desde comienzos de 2003 presentó una caída sostenida, cercana a 58% a noviembre de 2005, y posteriormente, un incremento de 60%, hasta alcanzar \$300 mil pesos en septiembre del presente año, nivel 6% mayor al promedio de los años noventa.

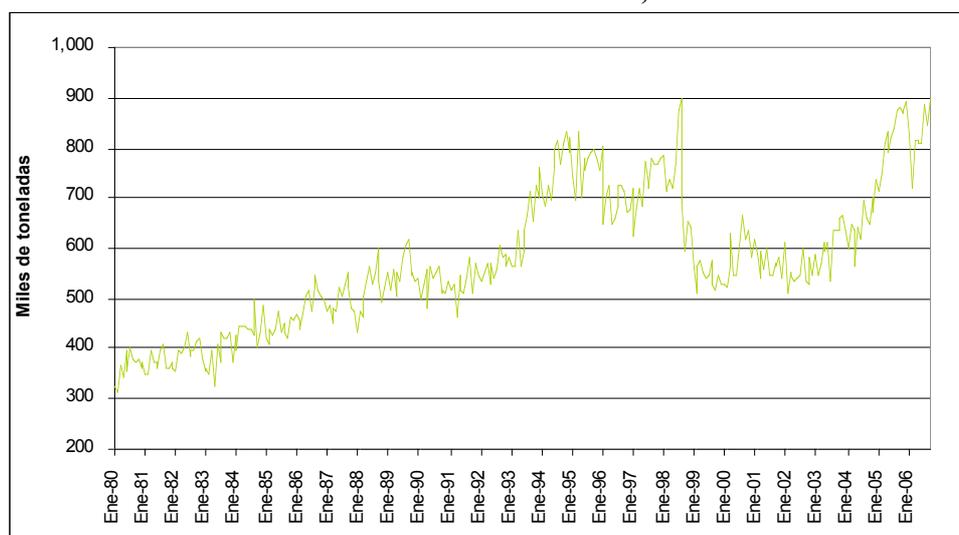
**Gráfico 3. Precio real de una tonelada de cemento gris, 1980-2006<sup>12</sup>**

Fuente: ICPC.

<sup>12</sup> Datos disponibles a septiembre de 2006.

La producción de cemento también ha presentado fluctuaciones importantes desde 1980 (ver Gráfico 4). Durante el periodo 1980 - 1995, la producción creció a una tasa promedio anual de 10%, al pasar de 324 mil a 805 mil toneladas mensuales; para luego oscilar alrededor de las 700 mil toneladas mensuales entre 1995 y julio de 1998. A partir de ese momento, y durante los siguientes cuatro años, la producción cayó en cerca de 10% anual, para luego recuperar sus niveles de finales de los noventa durante los años 2003 y 2004. Desde entonces, ha mostrado una tendencia creciente, al punto de superar los niveles de finales de la década de los noventa. En 2005, se produjeron al mes, en promedio, 829 mil toneladas de cemento gris, cifra similar (826 mil) a la reportada en lo corrido de 2006.

**Gráfico 4. Producción de cemento, 1980-2006<sup>13</sup>**

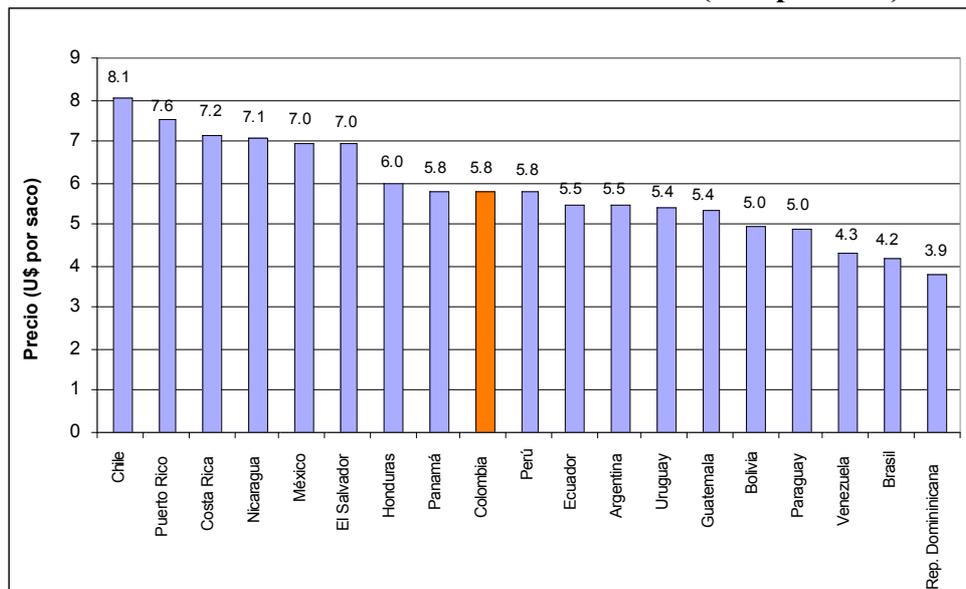


Fuente: ICPC.

Algo que se concluye de los gráficos de precios y cantidades es que estas variables mantuvieron una tendencia creciente hasta la crisis económica de 1998. A partir de ese momento, estas variables empezaron a comportarse de manera inversa, en un principio, los precios empezaron a crecer mientras las cantidades caían y, al final del periodo, los precios empezaron a bajar mientras las cantidades crecían.

Algo para descartar en la explicación del funcionamiento del mercado del cemento en Colombia es la influencia de factores externos como el precio de este producto en otros países. El Gráfico 5 presenta el precio de un saco de cemento en Colombia y otros países de la región a mediados de 2006. Se aprecia que el precio en el país (US\$ 5.8 por saco) está levemente por encima del promedio de la región (US\$ 5.08 por saco). Asimismo, Chile, Puerto Rico y Costa Rica presentan los precios más elevados de la región, mientras que República Dominicana, el menor.

<sup>13</sup> Datos disponibles a septiembre de 2006.

**Gráfico 5. Precios internacionales de cemento (US\$ por saco)**<sup>14</sup>

Fuente: Outsource Software.

Sin duda, uno de los factores más importantes en la determinación del precio de cualquier bien son sus costos de producción. El Cuadro 1 presenta los componentes y su participación en la canasta de costos variables para la producción de una tonelada de cemento (gris en saco). La nómina representa el rubro más importante, cerca de un tercio del total de costos, e incluye tanto la mano de obra productiva como la planta administrativa. En segundo lugar, se encuentran los costos de transporte, desde las plantas de producción hacia los puntos de distribución, y en tercer lugar, los combustibles y la energía eléctrica para la operación de los hornos. Le siguen los costos administrativos (diferentes a nómina), el gasto en materias primas como químicas y minerales, el transporte interno en la planta y el gasto en empaques de papel<sup>15</sup>.

**Cuadro 1. Canasta de costos de la producción de cemento.**

Rubro	Participación (% costo total)
Nómina	33.76%
Transporte	17.24%
Combustible (gas y carbón)	15.57%
Estructura administrativa	9.20%
Energía eléctrica	7.41%
Materias primas	6.28%
Transporte interno de planta	5.57%
Empaque (papel kraft)	4.96%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

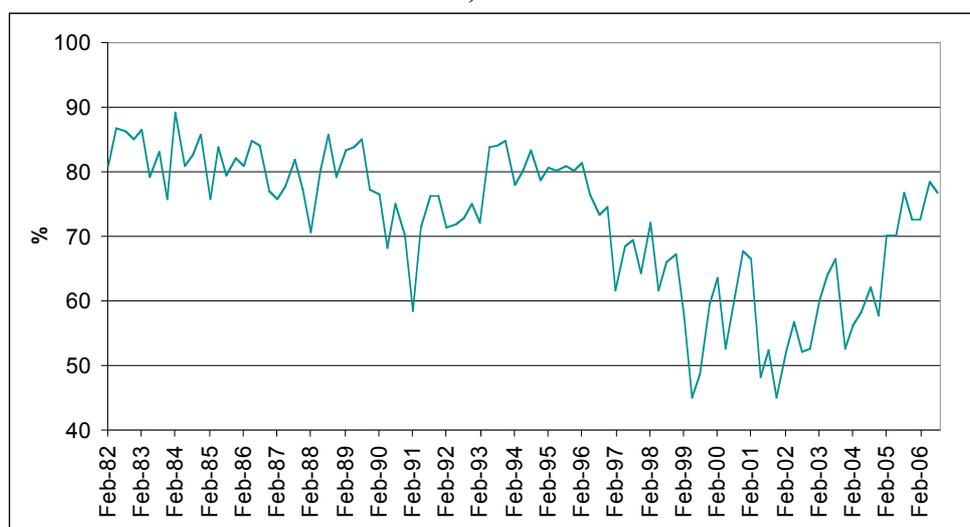
Fuente: ICPC.

<sup>14</sup> Datos a mayo de 2006. Para Colombia a septiembre de 2006.

<sup>15</sup> Desafortunadamente, no fue posible obtener las series para todas las variables que componen los costos de producción, por lo que a continuación, y en el análisis empírico, no se consideran los costos de transporte, energía eléctrica y costos inherentes a la producción de cada planta, como el transporte interno y algunos costos de la estructura administrativa.

Una variable fundamental para entender el comportamiento de la industria del cemento es el indicador de la utilización de la capacidad instalada, que proviene de la Encuesta de Opinión Empresarial de Fedesarrollo, realizada mensualmente a más de 500 empresas en Colombia<sup>16</sup> (ver Gráfico 6). Según las firmas productoras de cemento, la utilización de la capacidad instalada se ubicó alrededor de 81% a lo largo de la década de los ochenta, nivel superior al promedio histórico de 72%. La utilización cayó a 70% durante la década de los noventa, y a 57% durante los primeros cuatro años de este siglo. A partir de febrero de 2005 este indicador se ha recuperado, alcanzando 76% en agosto de 2006, cifra similar a la observada hace diez años.

**Gráfico 6. Indicador de la utilización de la capacidad instalada en la industria del cemento, 1982-2006<sup>17</sup>**



Fuente: Encuesta de Opinión Empresarial, Fedesarrollo.

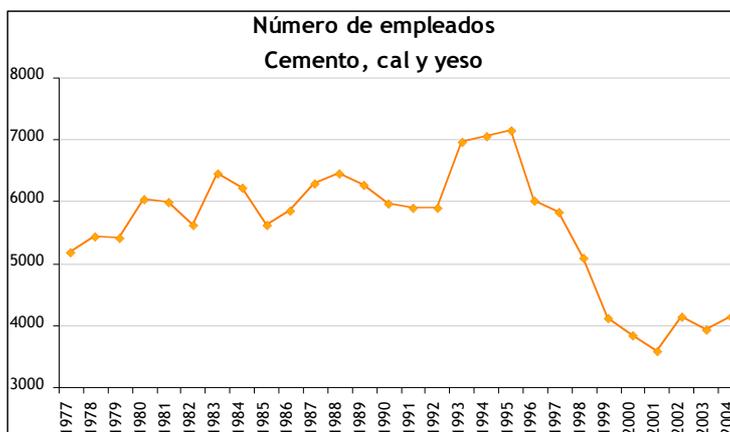
De acuerdo con los datos de la Encuesta Anual Manufacturera del DANE, en 2004, el número de empleos generados por la industria de cemento (4.123) correspondía aproximadamente al 0.72% del empleo industrial (ver Gráfico 7).

El bajo nivel de empleo actual, y su tendencia negativa en los últimos diez años, refleja las importantes inversiones que hicieron las empresas cementeras durante la segunda mitad de los noventa que introdujeron nuevas tecnologías a la industria más intensivas en capital.

<sup>16</sup> La encuesta contiene la siguiente pregunta: “¿En el mes pasado, la utilización de la capacidad instalada para producir fue aproximadamente que porcentaje (la capacidad plena es igual al 100%)?”.

<sup>17</sup> Datos disponibles a agosto de 2006.

**Gráfico 7. Número de empleados, 1977-2004**  
**Fabricación cemento, cal y yeso**



Fuente: DANE, EAM

### C. Niveles de concentración

Como se analizó en la sección II, se considera que cuando la estructura de mercado es más concentrada (esto es, el mercado que se acerca al monopolio), existe una alta probabilidad de colusión tácita entre las firmas, quienes pueden mantener un precio por encima del costo marginal, superior al precio resultante de un mercado competitivo, con múltiples oferentes y compradores.

Uno de los indicadores más utilizados en la literatura sobre concentración de mercado es el índice de concentración  $CR$ , que mide qué proporción de una variable (como puede ser ventas, ingreso operacional, activos netos, etc.) corresponde a la firma más representativa o de mayor tamaño, en cuyo caso se habla de  $CR1$ , o a las dos firmas más representativas, denominado  $CR2$ .

En concreto, el cálculo se hace de la siguiente manera:

$$CR 1_t = \frac{X_{1,t}}{\sum_{i=1}^N X_{i,t}}$$

$$CR 2_t = \frac{X_{1,t} + X_{2,t}}{\sum_{i=1}^N X_{i,t}}$$

Donde  $X_i$  corresponde al valor de la variable de participación escogida (en este caso particular, ingreso operacional) de la firma  $i$  en el momento  $t$  (de  $N$  firmas en total),  $X_1$  al valor de la firma más representativa del mercado en el momento  $t$ , y  $X_2$  a la suma de las dos firmas más representativas en el momento  $t$ . El rango de ambos  $CR$  es  $[0,1]$ , y un mayor valor es representativo de una mayor concentración del mercado.

A pesar de que los índices de concentración proveen una buena percepción acerca de la concentración total del mercado, no tienen en cuenta la importancia relativa de cada una de las firmas. Para capturar esta dimensión, el indicador más apropiado es el Índice Herfindahl-Hirschman (*HHI*), ampliamente utilizado en los estudios de mercados no competitivos, y que se calcula como la suma de los cuadrados de la participación de cada una de las firmas. Es decir:

$$HHI_t = \sum_{i=1}^N \left( \frac{X_{i,t}}{\sum_{i=1}^N X_{i,t}} \right)^2$$

Así, el índice toma un valor cercano a cero cuando el mercado está distribuido equitativamente, y un valor cercano a uno cuando la concentración es alta (el rango es nuevamente [0 a 1]). De forma análoga, la variable de participación en el mercado ( $X_i$ ) utilizada es el ingreso operacional. En los tres casos se utilizaron datos, por empresa, de la base de la Superintendencia de Sociedad para el periodo 2000 - 2006<sup>18</sup>.

El Gráfico 8 presenta el cálculo de los índices de concentración *CR1* y *CR2* y el índice *HHI* para la industria del cemento, con base en los datos disponibles<sup>19</sup>. Es necesario anotar que muchas de las firmas que reportan de manera individual a la Superintendencia pertenecen a un mismo conglomerado (a pesar de tener una razón social diferente), por lo que se consideró a los conglomerados<sup>20</sup>, y no a las firmas, como unidad de análisis. Se observa entonces que en los últimos seis años, la concentración en la industria del cemento se ha mantenido relativamente estable. No obstante, se aprecia una leve desconcentración a lo largo del periodo 2000-2004, tendencia que se revierte en 2005 y 2006.

El *CR1*, que mide la participación de los ingresos operacionales del conglomerado más representativo<sup>21</sup> sobre el total de los ingresos operacionales de la industria, fluctúa alrededor de 0.6. De esta forma, el participante de mayor tamaño en esta industria concentra más del 50% del mercado, un nivel considerable pero consistente con la existencia de solo tres grandes conglomerados y un grupo pequeño de empresas independientes. Para el año 2006, el *CR1* tomó un valor 0.57, ligeramente inferior al promedio para todo el periodo (0.58).

Durante los últimos seis años, los dos conglomerados más representativos del mercado<sup>22</sup> concentraron, en promedio, el 84% de los ingresos operacionales de la muestra. Nuevamente, este es un nivel alto de concentración de mercado, que debe ser interpretado en el contexto de un número de participantes muy reducido. Al igual que en el caso anterior, el índice registra

<sup>18</sup> Se trabaja con el código CIU (revisión 3) D2694, que corresponde al sector *Fabricación de cemento, cal y yeso*, equivalente a los códigos 36921, 36922 y 36923 del CIU revisión 2. Después se eliminan de la muestra las empresas cuya actividad principal no es la producción de cemento. Aunque la base de datos está disponible desde 1995, solo se tiene información completa para todas las firmas de la industria desde el año 2000, por lo que no se utiliza la información de años anteriores.

<sup>19</sup> Para el año 2006, se utilizan los datos proyectados del año 2005, con un único ajuste: Cementos Andinos pasa a formar parte del conglomerado Cementos Argos.

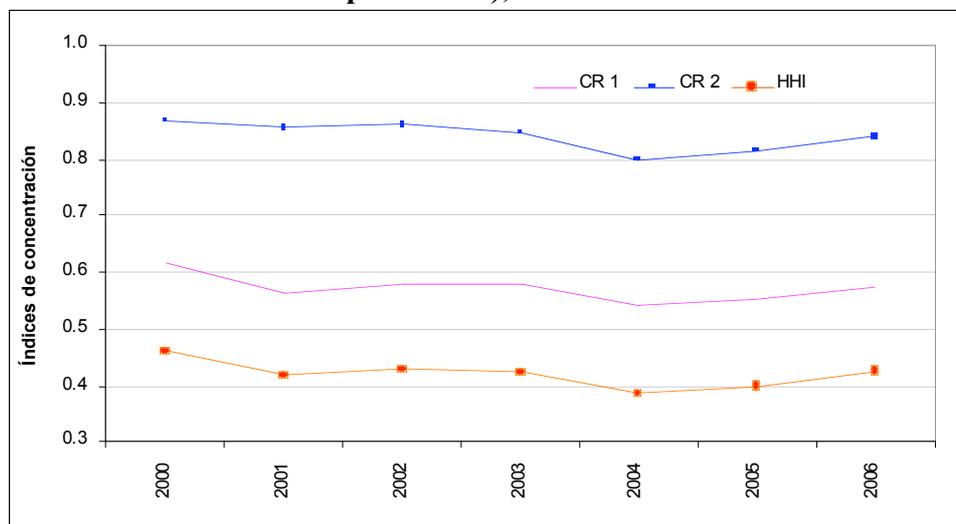
<sup>20</sup> En resumen se puede hablar de tres conglomerados: Cementos Argos, Cemex y Holcim, en orden de importancia, y de un grupo de pequeñas empresas independientes. Las empresas que conforman cada conglomerado se encuentran detalladas en el apéndice 1.

<sup>21</sup> Para todos los años es Cementos Argos.

<sup>22</sup> Para todos los años Cementos Argos y Cemex.

un leve aumento en la concentración del mercado en 2005 y 2006, ubicándose en 0.84 y 0.85 respectivamente. Finalmente, el Índice de Herfindahl-Hirschman reproduce la situación descrita por los otros dos índices de concentración: una ligera desconcentración de un mercado distribuido en pocas manos que se revierte parcialmente al final del periodo.

**Gráfico 8. Índices de Concentración y HHI en la industria del cemento (ingreso operacional), 1995-2005**



Fuente: Cálculos de Fedesarrollo con datos de la Superintendencia de Sociedades.

#### IV. RELACIÓN CON EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

Sin duda, la dinámica de la industria del cemento está estrechamente relacionada con la evolución del sector de la construcción<sup>23</sup>. El comportamiento del PIB del sector de la construcción y edificaciones junto con la producción de cemento se presentan en el Gráfico 9 para el periodo 1985-2006. Hasta 1990, el valor agregado del sector de la construcción mostró una tendencia creciente, presentado una tasa de crecimiento anual promedio cercana a 6%. Sin embargo, fue durante la primera mitad de la década de los noventa que esta actividad económica entró en auge, y el crecimiento en la producción fue cercano a 10% anual. Después de una contracción considerable (29.1% en 1999 y 10.3% en 2000), el sector se ha recuperado considerablemente (entre 2001 y 2006 la tasa de crecimiento anual promedio ha sido 15%).

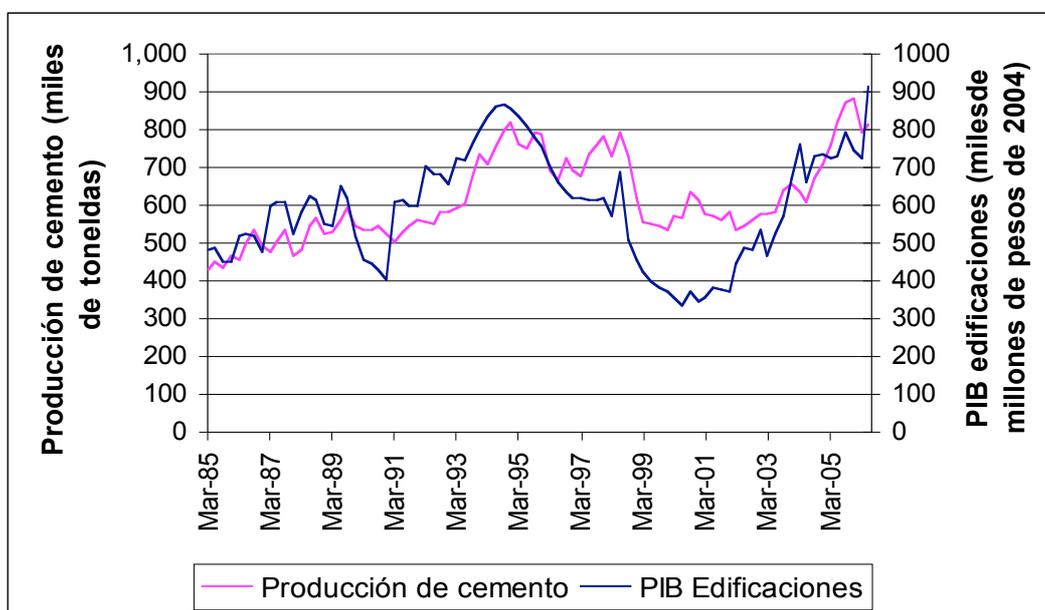
Como se observa en este mismo gráfico, la producción de cemento está estrechamente relacionada con el comportamiento del PIB de edificaciones. Como muestran Cárdenas y Hernández (2006) el encadenamiento económico hacia atrás que promueve la construcción es significativo, pues un alto porcentaje de la oferta de algunos sectores se destina al consumo intermedio de la construcción. Por ejemplo, según estos autores, en el período 1990-2005 el 65% de la oferta del sector “vidrio y productos de vidrio y otros productos no metálicos”, donde se incluye, entre otros, la producción de cemento, fue consumida por el sector de la construcción. Si se suma a lo anterior el hecho de que el cemento tiene una pronta caducidad, y por tanto las empresas cementeras no mantienen un mismo inventario por mucho tiempo, se

<sup>23</sup> En el apéndice 2 del documento se intentó hacer una aproximación del consumo del cemento donde se hacen una estimación de este producto por parte de la construcción y de otros sectores.

debe decir que la producción de cemento está condicionada en buena medida por el desempeño del sector de la construcción.

Este hecho se contrasta econométricamente mediante la prueba de causalidad de Granger entre la producción de cemento y el PIB de la construcción. La idea detrás de esta prueba es ver si cambios en la producción de cemento predicen cambios en la actividad de la construcción o si, por el contrario, cambios en la construcción predicen cambios en la producción de cemento. El resultado de la prueba, que se encuentra en el apéndice 3 del documento, señala que la construcción es la que predice en el sentido de Granger la producción de cemento y no viceversa. En este sentido, durante la crisis de fin de siglo, la caída en la producción de cemento se explica a la depresión de la construcción, como se evidencia en el Gráfico 9. De forma similar, la producción se ha recuperado en los últimos tres años, jalonada en parte por un crecimiento promedio de 15% del sector construcción.

**Gráfico 9. PIB construcción y edificaciones y producción de cemento, 1985 - 2006.**



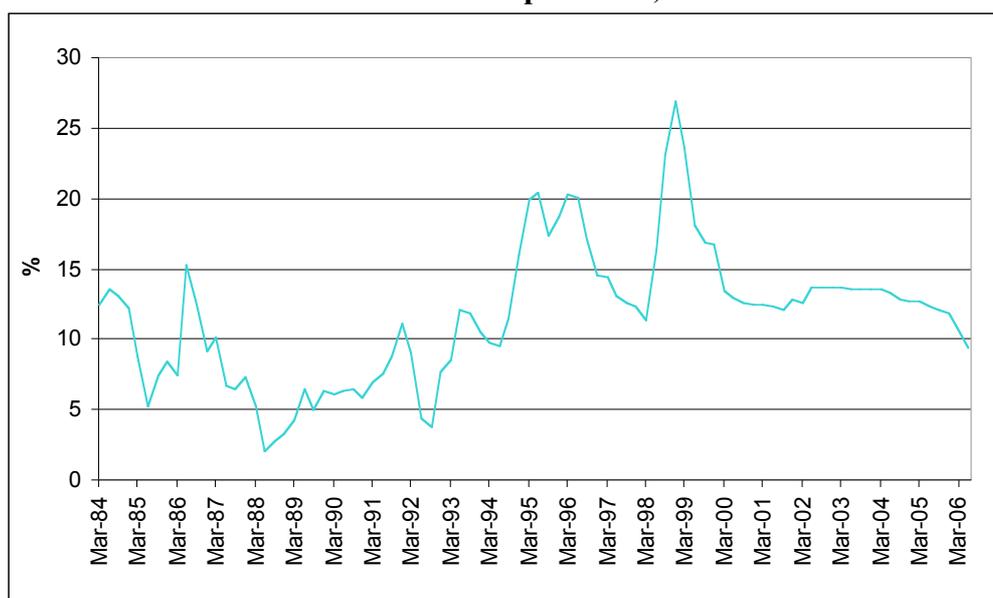
Fuente: DANE.

Dado el resultado anterior, se debe buscar indirectamente, a través de los determinantes de la construcción, qué variables afectan a la producción de cemento<sup>24</sup>. Cárdenas y Hernández (2006) realizan este tipo de ejercicio y concluyen que los principales determinantes de las licencias de construcción aprobadas (en metros cuadrados) son la tasa hipotecaria real, el ingreso laboral real, la tasa de desempleo, el índice de la bolsa, las transferencias desde el exterior, un índice de costos y el crédito de vivienda. Entre los resultados de esta investigación, se tiene que la tasa hipotecaria real y el desempleo tienen un efecto significativo y negativo, mientras que el crédito tiene un efecto positivo y significativo sobre la construcción.

<sup>24</sup> Se puede pensar que el precio del cemento puede afectar el nivel de producción, pero, dentro de la construcción, el valor del cemento solo representa el 4 ó 5% del valor total de la construcción. De hecho, Cárdenas y Hernández (2005) encuentran que el efecto de los costos de la construcción sobre la oferta de vivienda no es estadísticamente significativo.

De acuerdo a este estudio, una reducción de un punto porcentual en la tasa real hipotecaria conlleva un aumento de 1.4% en la actividad constructora. Como se observa en el Gráfico 10, la tasa promedio en entre 1985 y 1990 fue 8%, con aumentos importantes en 1986 y 1987. A lo largo de la década de los noventa, se incrementó notablemente, alcanzado niveles de 20% hacia 1996 y 26% en 1999, en medio de la crisis financiera y económica de fin de siglo. Desde entonces, y al igual que las demás tasas del mercado, la tasa real hipotecaria he venido decreciendo, para ubicarse cerca de 9% a septiembre de 2006, lo que ha favorecido indirectamente la producción de cemento mediante su impacto en la construcción.

**Gráfico 10. Tasa real hipotecaria, 1984-2006<sup>25</sup>**



Fuente: Banco de la República.

## V. DETERMINANTES DE PRECIOS Y CANTIDADES EN EL MERCADO DEL CEMENTO

En esta sección se desarrollan dos modelos econométricos para establecer, en primera instancia, la dirección y magnitud de relación entre precios y producción de cemento; y en segunda, cuáles son los determinantes de su comportamiento. El primero consiste en un modelo de corrección de errores, que indaga si existe algún tipo de relación de largo plazo entre precios y cantidades y utiliza datos de periodicidad mensual para el periodo 1980-2006<sup>26</sup>. El segundo modelo, más que buscar una relación entre los precios y las cantidades producidas de cemento, busca los determinantes de cada una de estas variables para un período de tiempo más corto que va desde 1994 al segundo semestre de 2006.

Como se verá a continuación, existe un desequilibrio entre precios y cantidades en la industria del cemento desatado a raíz de la crisis económica de 1999. Este resultado es importante a la hora de analizar los resultados del segundo modelo econométrico ya que el

<sup>25</sup> Datos disponibles a septiembre de 2006.

<sup>26</sup> Los datos llegan a junio de 2006.

período de tiempo donde se realiza este ejercicio cubre una buena parte del período de este desequilibrio (8 años).

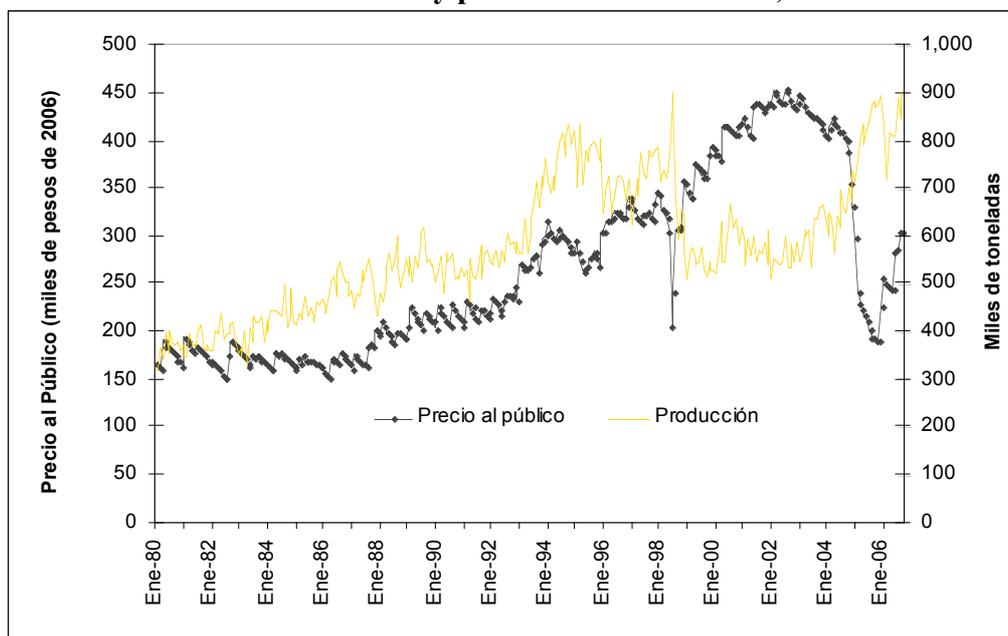
## A. Modelo para la relación de largo plazo entre precios y cantidades

### 1. Evidencia Preliminar

El Gráfico 11 muestra la evolución del precio real al público de una tonelada de cemento y de la producción (en toneladas) desde 1980 hasta junio de 2006. Aunque las variables presentan una correlación positiva cercana 0.43, para todo el periodo, esta no se cumple para la submuestra 1998-2006, donde la correlación fue  $-0.85$ . Es decir que, antes de 1998, incrementos en la producción estuvieron acompañados por incrementos en el precio, mientras que para años posteriores, incrementos en la producción coincidieron con disminuciones en el precio real.

Los datos sugieren que puede existir una relación de equilibrio de largo plazo entre estas dos variables. Al analizar conjuntamente el comportamiento de las dos series (Ver Gráfico 11) se observa que dicha relación, positiva y fuerte, pareciera existir, con un quiebre en el periodo 1998-2005, año a partir del cual se restablece el equilibrio.

**Gráfico 11. Precio real y producción de cemento, 1980-2006**



Fuente: ICPC

Sin duda, el quiebre en la tendencia que comenzó en 1998 está estrechamente asociado a la crisis económica de fin de siglo. Ante la desaceleración de la actividad de la construcción, la producción de cemento cayó, lo que probablemente llevó a las firmas productoras a aumentar el precio para evitar una caída en los ingresos operacionales, y por tanto, en la utilidad de la actividad. Como se evidenció en la sección III, 1998 y 1999 fueron años de utilidades negativas para la industria. Este comportamiento es probable en este tipo de industrias: al tener economías de escala, una caída abrupta en la producción genera inmediatamente un

aumento del costo por unidad producida. De modo que a medida en que se fue recuperando la producción con el tiempo, el costo por unidad fue disminuyendo y fue posible que comenzara a bajar los precios.

## 2. Especificación y resultados.

Para probar si existe una relación de largo plazo entre los precios y las cantidades se estimó un VEC (Vector Error Correction por sus siglas en inglés). La idea de este modelo es averiguar si existe alguna relación de equilibrio estable en el largo plazo entre estas dos variables (ver apéndice 4).

El principal resultado de la estimación realizada es la existencia de una relación positiva y significativa de largo plazo entre los precios y cantidades del mercado de cemento. Esta relación está dada por la siguiente ecuación:

$$q_t = 3.135 + 0.81 * p_t + u_t. \quad (1)$$

donde  $q_t$  es el logaritmo de la cantidad de cemento producida en el mes  $t$ ,  $p_t$  es el logaritmo del precio real del cemento en el mes  $t$  y  $u_t$  expresa el desequilibrio de la relación entre estas dos variables. Cuando su valor es 0 o está cerca de 0, los precios y las cantidades están manteniendo en el tiempo su comportamiento de largo plazo. Para entender mejor esto supóngase que  $u_t$ , en un determinado momento del tiempo, es positivo:

$$u_{t-1} = q_{t-1} - 3.135 - 0.81 * p_{t-1} > 0 \quad (2)$$

Esto quiere decir que la producción ( $q_{t-1}$ ) creció por encima de su valor medio de largo plazo. Como existe una relación de equilibrio de largo plazo entre estas dos variables, el VEC predice que el precio ( $p_{t-1}$ ) deberá aumentar más rápido que las cantidades para compensar el desequilibrio existente. De esta manera, el error de desequilibrio  $u_t$  volverá a 0 reestableciéndose el equilibrio de largo plazo.

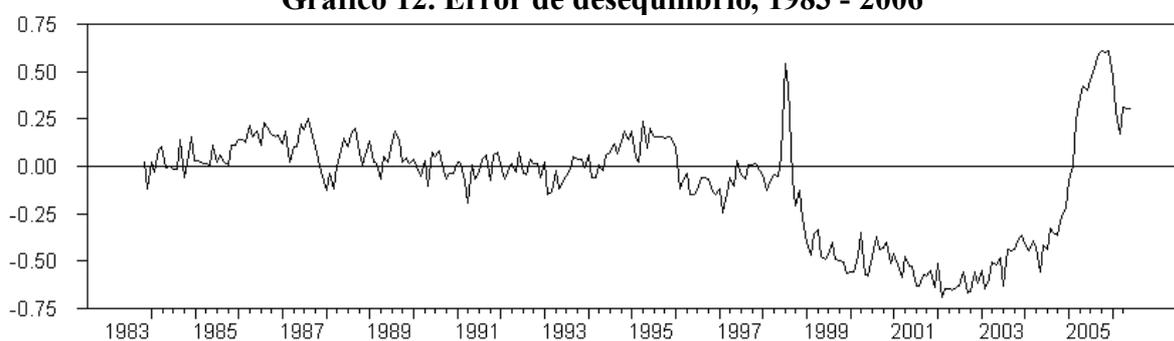
El Gráfico 12 presenta el error de desequilibrio estimado en función del tiempo. Se observa que, antes del segundo semestre de 1998, la relación entre precios y cantidades fluctuaba sistemáticamente alrededor de su punto de equilibrio (es decir cuando  $u_t = 0$ ). En ese año se presenta un choque, que impulsa al error momentáneamente a valores positivos, para después caer y mantenerse en valores negativos en los cinco años siguientes. Este choque, como se comentó anteriormente, está asociado a la crisis económica de finales de la década del noventa, en la que un eslabón clave para la industria del cemento, el sector de la construcción, presentó una desaceleración sin precedentes.

El que durante el periodo de desequilibrio el error adquiriera valores negativos significa que las cantidades estaban por debajo de su nivel de equilibrio de largo plazo y que los precios no respondieron a esta caída. El modelo predeciría que el precio debía caer, a partir de este momento, más rápido que las cantidades para restaurar la relación de largo plazo. No

obstante, esto no ocurrió debido a que, muy probablemente, si las empresas hubieran optado por esta medida, su situación financiera hubiera sido peor a la observada.

A partir de 2005 la situación se revirtió. Como ya se mencionó, a partir de 2002 el sector de la construcción se ha recuperado satisfactoriamente, al punto que su crecimiento ha sido cinco veces el crecimiento de la economía. La dinámica de la construcción impulsó nuevamente la demanda por cemento, y en respuesta, la producción empezó a aumentar. Nuevamente, esta situación es de desequilibrio ya que el precio no respondió inmediatamente a este aumento de cantidades, como se ve en el Gráfico 11. En este lapso de tiempo, los precios debieron crecer más rápido que las cantidades para reestablecer el equilibrio, algo que efectivamente no ocurrió como se observa en este mismo gráfico.

**Gráfico 12. Error de desequilibrio, 1983 - 2006**



Fuente: Cálculos de los autores.

## **B. Modelo de los determinantes de los precios y las cantidades**

### **1. Modelo teórico**

Para discutir los determinantes de precios y cantidades en el mercado del cemento es preciso recurrir a un modelo que considere su estructura oligopólica. Tal y como lo plantean Breshnan (1982) y Rosembaum y Sukharomana (1999)<sup>27</sup>, la especificación del modelo que tienen en cuenta este tipo de estructura consta de dos ecuaciones:

$$Q = D(P, Y; \alpha) + \varepsilon \quad (3)$$

$$CM = C(Q, W; \beta) + \eta \quad (4)$$

La ecuación 3 expresa la demanda de cemento:  $Q$  es la cantidad de cemento,  $P$  es el precio real del cemento,  $Y$  es un conjunto de variables exógenas que afectan a la demanda,  $\alpha$  es el

<sup>27</sup> La especificación del modelo que vamos a usar se basa en el documento de Rosembaum y Sukharomana (1999) donde adaptan el modelo de Breshnan (1982)

vector que reúne los parámetros a estimar y  $\varepsilon$  es el término de error. La ecuación 4 expresa el costo marginal ( $CM$ ):  $C$  es la función de costo marginal,  $Q$  son las cantidades de cemento producidas,  $W$  es un conjunto de variables exógenas que influyen en el costo,  $\beta$  es el vector que reúne los parámetros a estimar y  $\eta$  es el término de error.

Si se trata de un mercado de competencia perfecta, la industria estaría dispuesta a ofrecer la cantidad de cemento que iguale el precio al costo marginal. Sin embargo, este no es el caso en la industria del cemento, por lo que se debe considerar la solución óptima que da la teoría microeconómica en mercados oligopólicos, es decir, la igualación del ingreso marginal al costo marginal. Como es natural, el ingreso marginal de las firmas en este tipo de mercados va a depender de los parámetros de la demanda, ya que cada firma del mercado oligopólico tiene influencia directa sobre el precio y, mediante esta vía, sobre la cantidad demandada. De esta forma, el ingreso marginal toma la siguiente forma:

$$IM = P - \lambda * h(Q, Y; \alpha) \quad (5)$$

donde  $IM$  es el ingreso marginal,  $P$  es el precio del cemento en el mercado,  $h$  captura los parámetros de la demanda que afectan el  $IM$ <sup>28</sup> y  $\lambda$  es un parámetro que mide el grado de concentración de la industria del cemento: Cuando  $\lambda$  es 0 se habla de un mercado competitivo y, por el contrario, si  $\lambda$  es 1 se habla de un monopolio o de un mercado totalmente concentrado. El parámetro  $\lambda$  que se va a utilizar para hacer las estimaciones es el índice de concentración CR1, calculado en la sección III.

Al igualar el ingreso marginal (ecuación 5) con el costo marginal (ecuación 4) obtenemos la ecuación de precios correspondiente a este tipo de mercados:

$$IM = P - \lambda * h(Q, Y; \alpha) = CM = C(Q, W; \beta) + \eta \quad (6)$$

$$P = C(Q, W; \beta) + \lambda * h(Q, Y; \alpha) + \eta \quad (7)$$

La última variable que hace falta para completar la ecuación del precio es la variable  $h$  que representa los parámetros de demanda que influyen al ingreso marginal del oligopolista. Despejando  $h$  de la ecuación de demanda y reemplazándola en la ecuación 7 obtenemos la siguiente igualdad<sup>29</sup>:

$$P = C(Q, W; \beta) + \lambda * \left( \frac{Q}{-\alpha_1} \right) + \xi \quad (7')$$

donde,

$$h = \left( \frac{Q}{-\alpha_1} \right) \quad (7'')$$

Teniendo en cuenta la discusión teórica presentada en la sección II sobre el efecto del estado de la demanda sobre la variable precio, se introduce una variable dicótoma en la ecuación 7' que intenta capturar este efecto. Para ello, se calcula la tendencia del PIB de trabajos en

<sup>28</sup> Estos parámetros hacen alusión a  $\alpha$ , los parámetros a estimar en la ecuación de demanda.

<sup>29</sup> Ver la demostración de la forma en que se llega a esta ecuación en el apéndice 5.

construcción, construcciones y edificaciones utilizando el filtro de Hodrick y Prescott. De esta manera, la dummy toma el valor de uno si el PIB observado está por encima del tendencial y 0 de lo contrario. Esta variable entra a interactuar con el parámetro de concentración  $\lambda$  de la siguiente forma:

$$\lambda * (1 + \gamma D) \quad (8)$$

donde D es la dummy del estado de la demanda y  $\gamma$  mide el efecto que tiene esta variable sobre el precio. La forma particular de la interacción entre estas dos variables se justifica en que, por ejemplo, si el parámetro de concentración fuera nulo, el efecto del estado de la demanda sería irrelevante porque el mercado de cemento se comportaría como uno de competencia perfecta y, en este sentido, las empresas de cemento serían tomadoras de precio y no podrían influir en la determinación de este. De esta manera, es importante interactuar el efecto de la demanda con la concentración existente en el mercado, pues entre más concentración exista en el mercado, más importante va a ser el componente de la demanda en la determinación del precio. Teniendo en cuenta esto, finalmente la ecuación de precios a ser estimada es:

$$P = C(Q, W; \beta) + \lambda * \left( \frac{Q}{-\alpha_1} \right) * (1 + \gamma \text{Dummyciclo}) + \xi \quad (7''')$$

En síntesis, el comportamiento de cantidades y precios en un mercado oligopólico está explicado por las ecuaciones 3 y 7'''.

## 2. Especificación

En esta sección se especifica las variables que van a ser usadas en la estimación del modelo teórico expuesto. Seguidamente, se presentan las estimaciones econométricas que se realizarán con datos de periodicidad trimestral, desde el año 1994 hasta el segundo semestre de 2006. Todas las variables, a excepción del índice de concentración que está en niveles, están en tasas de crecimiento respecto al mismo trimestre del año anterior.

### Ecuación de demanda

Tal y como se explicó en la sección V, dada su naturaleza perecedera y la consecuente imposibilidad de acumular inventarios, la producción de cemento se encuentra principalmente determinada por factores de demanda. Por esto, se espera que el PIB de la construcción afecte positivamente la producción del cemento, tal y como sugiere el Gráfico 9. Adicionalmente, se espera que otros componentes de demanda afecten directamente las cantidades producidas de cemento, por lo que se va a incluir como otro determinante, el PIB de obras civiles. Como se discutió en la sección V, una variable importante, que empíricamente ha afectado indirectamente la producción de cemento es la tasa hipotecaria real, por lo que esta variable también va a ser tenida en cuenta en la especificación de la demanda.

En la ecuación de demanda de cemento, se supone una forma lineal que depende del precio al público y, de manera exógena, del PIB de la construcción y de obras civiles, así como de la

tasa hipotecaria real. De esta manera, la especificación final de la ecuación de demanda (ecuación 3) del modelo es:

$$Q_t = \alpha_0 + \alpha_1 P_t + \alpha_2 PIBconst_t + \alpha_3 PIBobras_t + \alpha_4 tasahip_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

Donde  $Q_t$  es la cantidad de cemento medida en toneladas,  $P_t$  es el precio real de una tonelada de cemento al público en el momento  $t$ ,  $PIBconst_t$  es el PIB de trabajos de construcción, construcciones y edificaciones (en pesos constantes de 1994),  $PIBobras_t$  es el PIB de trabajos y obras de ingeniería civil (en pesos constantes de 1994) y, finalmente,  $tasahip_t$  es la tasa hipotecaria real.

### Ecuación de precio

Debido a que en la producción de cemento los insumos se usan en proporciones fijas, estos ingresan el costo marginal en forma lineal. De esta forma, la ecuación de costo marginal (ecuación 4) queda con la siguiente forma:

$$CM_t = \beta_0 + \beta_1 Q_t + \beta_2 IPPcarbon_t + \beta_3 salarios_t + \beta_4 IPPmanu_t + \eta_t \quad (2)$$

e introduciendo esta ecuación en la ecuación de precios se tiene que:

$$P_t = \beta_0 + \beta_1 Q_t + \beta_2 IPPcarbon_t + \beta_3 salarios_t + \beta_4 IPPmanu_t + \lambda_t * \left( \frac{Q_t}{-\alpha_1} \right) * (1 + \gamma D_t) + \xi_t \quad (3)$$

Donde  $P_t$  es el precio real de una tonelada de cemento al público en el momento  $t$ ,  $Q_t$  es la producción de toneladas de cemento,  $IPPcarbon_t$  es el índice de precios del productor del carbón,  $salarios_t$  es el índice de salarios reales del sector productos minerales no metálicos proveniente de la Muestra Mensual Manufacturera,  $IPPmanu_t$  es el índice de precios al productor del sector manufacturas,  $\lambda_t$  es el índice de concentración (CR1) de mercado,  $D_t$  es la variable de estado de la demanda y, finalmente,  $\xi_t$  es el término de error.

Las ecuaciones 1 y 3 que corresponden a los determinantes de los precios y las cantidades de cemento son las que se van a estimar econométricamente. En la siguiente sección se presenta los resultados de esta estimación.

### 3. Resultados<sup>30</sup>

Los resultados de la estimación de *ecuación de demanda* del cemento se presentan en el Cuadro 2. Las variables incluidas en la regresión son significativas y presentan el signo esperado. Así, el precio tiene un efecto negativo sobre la cantidad producida de cemento: un aumento de 1% en el precio conlleva a una disminución de 0.55% en la cantidad de toneladas producidas. Igualmente, un incremento de 1% en el PIB de construcciones y edificaciones hace que la producción aumente en 0.11%. Por su parte, PIB de obras civiles también tiene un efecto positivo y significativo sobre la producción de cemento.

El Cuadro 3 hace lo propio para la *ecuación de precio*. Un resultado importante es que el efecto negativo de un auge económico (PIB de la construcción por encima de su tendencia) sobre el precio del cemento, es anticíclico lo que apoya la tesis de Rotemberg y Saloner. Respecto a los salarios, se encontró que un aumento del 1% de esta variable, conlleva un aumento de 1.59% del precio del cemento. El IPP de manufacturas, también tiene un efecto positivo sobre el precio pues ante un aumento del 1% en esta variable, el precio sube 1.58%. Un resultado que no se esperaba de la estimación es que la cantidad de cemento y el IPP del carbón influyeran *negativamente* en el precio, ya que estas variables pertenecen a la función de costos y por tanto deberían tener un efecto *positivo* sobre el precio. Una razón que podría explicar este resultado es el desequilibrio que se desató el mercado de cemento a raíz de la crisis de finales de los noventa, como se comprobó en el modelo de corrección de errores. Las estimaciones realizadas son hechas en un lapso de tiempo, que, en términos generales fue de desequilibrio de acuerdo a lo expuesto en el primer modelo econométrico. Que el precio depende negativamente de las cantidades se explica por la caída de la producción ocurrida desde el año 1998 y el bajo nivel de producción que se mantuvo a raíz de este hecho hasta el año 2004. Este bajo nivel de producción en este lapso de tiempo, incrementó, dadas las economías de escala de esta industria, el precio por unidad producida de cemento lo que repercutió en un aumento de precios.

---

<sup>30</sup> El sistema de ecuaciones simultáneas de demanda y precio (ecuaciones 1 y 3 de esta sección) fue estimado usando Mínimos Cuadrados No Lineales en tres etapas. La no linealidad proviene del parámetro  $\alpha_1$  que si bien entra de forma lineal en la ecuación de la demanda (ecuación 1), no es así en la ecuación de precios (ecuación 3). Se recurre a una estimación en tres etapas debido al problema de endogeneidad que existe entre las ecuaciones, ya que la cantidad de cemento afecta el comportamiento del precio como se ve en la ecuación 3, al mismo tiempo que el precio afecta la cantidad producida en la ecuación 1. Siguiendo las prácticas estándar en la literatura especializada (ver por ejemplo, Gallant, 1984), los instrumentos utilizados para cada variable endógena fueron los cuadrados de las variables exógenas, sus cuadrados y las interacciones entre estas.

**Cuadro 2. Estimación de la ecuación de demanda, 1994-2006<sup>31</sup>**

Variable Dependiente:	Precio por tonelada
Constante	0.00 (0.01)
Precio por tonelada del cemento	-0.55 *** (0.06)
PIB construcción, construcciones y edificaciones	0.11 ** (0.05)
PIB obras civiles	0.16 *** (0.05)
Tasa hipotecaria real	-0.12 *** (0.03)
AR(2)	0.28 * (0.15)
R2	0.840
No. Observaciones	46

\* Significativo al 10%  
 \*\* Significativo al 5%  
 \*\*\* Significativo al 1%  
 Error estándar entre paréntesis.

**Cuadro 3. Estimación de la ecuación del precio del cemento, 1994 2006<sup>32</sup>**

Variable Dependiente:	Precio por tonelada
Constante	-0.13 *** (0.01)
Cantidad de cemento	-0.36 ** (0.14)
IPP carbón	-0.39 *** (0.13)
Salarios	1.59 ** (0.71)
IPP manufacturas	1.28 *** (0.40)
Dummy de ciclo	(-4.27) ** (0.01)
R2	0.570
No. Observaciones	46

\* Significativo al 10%  
 \*\* Significativo al 5%  
 \*\*\* Significativo al 1%  
 Error estándar entre paréntesis.

Fuente: Cálculos de los autores.

<sup>31</sup> Todas las variables están en tasas de crecimiento respecto al respectivo trimestre del año anterior.<sup>32</sup> De nuevo, a excepción de la dummy de ciclo, las variables están en tasas de crecimiento.

En suma, las variables que determinan las cantidades demandas de cemento son, además del crecimiento del precio, la dinámica del sector de la construcción y de obras civiles, y la tasa hipotecaria real, cuyo efecto se da indirectamente por medio de su relación con la actividad de la construcción. En otras palabras, se comprueba que el comportamiento del mercado del cemento depende sustancialmente de los factores de demanda. De otra parte, los determinantes del precio se relacionan negativamente con el crecimiento de las cantidades producidas, positivamente con los crecimientos de los costos de producción (salvo el IPP del carbón) y, de forma inversa, con el estado de la demanda del producto, es decir, si el PIB de la construcción se encuentra o no por encima de su tendencia.

## VI. CONCLUSIONES

En Colombia, como en la mayoría de países en el resto del mundo, la industria del cemento se caracteriza por un número reducido de firmas que producen un bien poco diferenciado. En resumen, se habla de un mercado oligopólico de un bien homogéneo. Esta estructura es resultado de la existencia de economías crecientes a escala, barreras considerables a la entrada (debido a la magnitud de la inversión inicial), altos costos de distribución y baja capacidad de acumular inventarios.

En estas condiciones, el grado de concentración del mercado y la interacción entre los participantes son elementos esenciales para entender el comportamiento de los precios y cantidades que se intercambian en cada momento del tiempo. De forma adicional, bajo este tipo de estructuras, es posible que el estado de la demanda, es decir, si esta se encuentra o no en momentos de auge, tenga un efecto directo sobre el precio del bien.

En cuanto a la dinámica el mercado del cemento en Colombia en los últimos veinte años, este estudio encuentra que existe una relación positiva (de modo que se movían en la misma dirección) y estable de largo plazo entre el precio real del cemento al público y la cantidad de cemento producida. Como sugiere la evidencia gráfica, esta relación de equilibrio experimentó una ruptura en 1998, a raíz de la profunda crisis económica que atravesó el país, y que afectó profundamente el sector que jalona la demanda por cemento, el sector de la construcción. En ese momento, como resultado de una menor demanda, la cantidad producida cayó considerablemente, y el precio, en contraposición a su comportamiento de equilibrio, aumentó en vez de disminuir. La explicación a este hecho es que las empresas productoras de cemento estaban enfrentando una caída importante en las cantidades demandadas, hecho que aumentó el costo por unidad producida debido a su economía de escala, lo que las llevó a aumentar el precio para evitar que su margen de ganancia se redujera aún más.

De todas formas, la relación entre los precios y las cantidades del cemento en Colombia entró en una fase de desequilibrio de largo plazo a principios de la presente década. A medida que el sector de la construcción se recuperó, y las cantidades producidas aumentaron, el precio comenzó a caer, en lugar de aumentar, como predeciría el modelo de corrección de errores. No obstante, se observa que lentamente se está retornando al equilibrio de largo plazo, en el que precios y cantidades siguen trayectorias parecidas en el tiempo, como las observadas antes del periodo de desequilibrio.

De forma complementaria, este estudio establece cuáles son los determinantes de los precios y cantidades del cemento en la última década. Es necesario resaltar que las estimaciones

realizadas se basan en un modelo que no supone el comportamiento de un mercado en competencia perfecta. Las cantidades demandas de cemento se encuentran explicadas por factores de demanda (actividad de la construcción) y, claro, por el precio al público. Así, variables como la tasa hipotecaria real, el PIB de construcciones y edificaciones, así como el PIB de obras civiles, tiene un efecto positivo y significativo sobre la cantidad producida.

En cuanto a los factores que explican el comportamiento del precio del cemento, las estimaciones confirman la importancia del costo de los insumos, particularmente de la mano de obra. Si bien los salarios y el IPP de las manufacturas tienen un efecto positivo sobre el precio, esto no es cierto para el IPP del carbón y las cantidades de cemento producidas. Este último resultado, aunque contra intuitivo, parece responder a la situación de desequilibrio en el mercado del cemento, que comenzó en 1998 y persiste en la actualidad.

De forma similar, se presenta una relación negativa entre precio y el estado de la demanda del cemento. El raciocinio detrás de este resultado es que la firma tiene incentivos para bajar el precio unilateralmente en momentos de actividad económica favorable, para así capturar una mayor proporción de la demanda y maximizar sus ganancias. Esta relación entre estas variables confirma la teoría expuesta de Rotemberg y Saloner sobre el efecto de cambios en la demanda sobre la determinación del precio. Este es un resultado fundamental del trabajo ya que explica el comportamiento reciente de los precios, cuando se observaron precios bajos en momentos de una altísima demanda.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Bain, J.S., 1956. *Barriers to New Competition*. Harvard University Press, Cambridge.
- Baumol, William, John Panzar, Robert Willig, 1982. *Contestable Markets and the Theory of Industry Structure*. Harcourt Brace Jovanovich, New York.
- Bagwell K. y Staiger R., 1995. *Collusion over the Business Cycle*. NBER Working Paper No. 5056.
- Cárdenas y Hernández, 2006. *El sector financiero y la vivienda*. Estudio realizado por Fedesarrollo para la Asobancaria.
- Cárdenas y Sandoval , 2006. *Determinantes de la actividad constructora en Colombia*.
- Casas Camila, León Nicolás y Meléndez Marcela, 2004. *La industria del cemento en Boyacá y Casanare*. Documento de trabajo, Fedesarrollo.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2006, *BASES DEL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2006-2010*. Bogotá, DNP.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP) 2001. *Cemento y sus aplicaciones*. Documento de trabajo. Estudio realizado por Fedesarrollo para la Constructora Colpatria.
- Fedesarrollo 2006, *La industria del cemento en Colombia*. Estudio realizado para la Cámara Colombiana para la Construcción – CAMACOL y el Instituto Colombiano de Productores de Cemento – ICPC. En proceso.
- Gallant Ronald, 1987. *Nonlinear statistical methods*. Wiley, New York.
- Haltinwager J. y Harrington J., 1991. *The Impact of Cyclical Demand Movements on Collusive Behavior*. The RAND Journal of Economics. Vol. 22. No.1
- Instituto de Concreto, 1997. *Colección básica del concreto 1: Tecnología y propiedades*. Bogotá.
- Kandori M, 1991. *Correlated Demand Shocks and Price Wars during Booms*. The Review of Economic Studies. Vol. 58. No.1
- Rotemberg J. y Saloner G., 1986. *A Supergame-Theoretic Model of Price Wars during Boom*. The American Economic Review. Vol. 73. No.3
- Tirole, Jean, 1988. *The Theory of Industrial Organization*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Zeidan Rodrigo y Marcelo Resende, 2005. *Measuring Market Conduct in the Brazilian Cement Industry: a Dynamic Econometric Investigation*. Economics Working Papers ECO2005/13, European University Institute.

## VIII. APÉNDICE

*Apéndice 1: Agrupación de empresas por conglomerado.*

ARGOS	CEMEX	HÓLCIM	INDEPENDIENTES
CEMENTOS EL CAIRO S.A. CEMENTOS DEL NARE S.A. CALES Y CEMENTOS DE TOLLUMEJO S.A. CEMENTOS PAZ DEL RIO S.A. CIA. COLOMBIANA DE CLINKER S.A. CIA. DE CEMENTO ARGOS S.A. CEMENTOS DEL VALLE S.A. CEMENTOS DEL CARIBE S.A. CEMENTOS RIOCLARO S.A. CEMENTOS ANDINO <sup>a</sup>	CEMENTOS DIAMANTE DE BUCARAMANGA S.A. <sup>b</sup> CEMENTOS DIAMANTE DEL TOLIMA S.A. <sup>b</sup> CEMENTOS DIAMANTE DE IBAGUE S.A. <sup>b</sup> INDUSTRIAS E INVERSIONES SAMPER S.A. CEMENTOS DIAMANTE S.A. <sup>b</sup> CEMEX DE COLOMBIA	CEMENTOS BOYACA S.A	COMPANIA DE CEMENTOS HERCULES S.A EN LIQUIDACION CEMENTOS TEQUENDAMA

Fuente: Cálculos de Fedesarrollo con datos de la Superintendencia de Sociedades.

<sup>a</sup> solo a partir de 2006. <sup>b</sup> solo a partir de 1996

## *Apéndice 2: Aproximación al consumo del cemento*

En esta sección se estima la demanda del cemento mediante métodos indirectos. El objetivo de este ejercicio es conocer la dinámica que ha tenido cada sector productivo que utiliza intensivamente este insumo.

De acuerdo con un estudio reciente de Fedesarrollo sobre materiales de construcción en Bogotá y Cundinamarca, es posible aproximarse al consumo de materiales por inferencia a partir de los sectores que los demandan. Esta metodología, basada en un estudio realizado por Proeza (2002), calcula los materiales de construcción demandados a partir de dos fuentes: los metros cuadrados aprobados y la construcción de infraestructura básica. En el presente estudio se emplea la misma metodología para inferir la demanda aproximada de cemento.

De acuerdo con cálculos realizados por el DANE (2002), el consumo de cemento es de 0,07 toneladas por metro cuadrado de edificaciones construido<sup>33</sup>. Sin embargo, de acuerdo con el tipo de edificación, este índice puede ser mayor o menor dependiendo de los demás elementos que se utilicen.

El ejercicio consiste en calcular con esta información, la demanda de cemento utilizada para la construcción de edificaciones. Se utilizaron los metros cuadrados aprobados anualmente desde 1985. De acuerdo con este cálculo la demanda de cemento para edificaciones ha estado alrededor de 590 mil toneladas en promedio entre 1985 y 2005 (Cuadro A 1)

**Cuadro A 1. Cálculo de la demanda de cemento para edificaciones, 1985.2007**

Año	Licencias M <sup>2</sup> aprobados	Demanda cemento para edificaciones Toneladas
1985	7.097.468	496.823
1986	7.274.897	509.243
1987	8.209.493	574.665
1988	7.462.786	522.395
1989	6.957.292	487.010
1990	6.080.325	425.623
1991	8.366.097	585.627
1992	11.630.945	814.166
1993	10.614.431	743.010
1994	12.280.171	859.612
1995	10.293.084	720.516
1996	7.601.975	532.138
1997	8.980.547	628.638
1998	7.959.440	557.161
1999	5.492.545	384.478
2000	5.772.976	404.108
2001	6.439.780	450.785
2002	8.529.807	597.086
2003	10.062.723	704.391
2004	8.488.885	594.222
2005	8.970.631	627.944
2006	9.022.888	631.602
2007	9.543.850	668.070

Fuente: DANE, cálculos Fedesarrollo

<sup>33</sup> Este índice se obtuvo a partir de las dosificaciones de mezclas para concreto y mortero más utilizadas en la construcción de edificaciones y del uso de estas mezclas en cada proceso de construcción.

Para 2006 y 2007 se utilizó una proyección de Fedesarrollo de los metros cuadrados aprobados<sup>34</sup>. De acuerdo con esto, se espera que la demanda de cemento para edificaciones durante 2006 esté alrededor de 630 mil toneladas. Para 2007 se esperaría un crecimiento aproximado del 6% con respecto a 2006.

Las licencias de construcción aprobadas constituyen el insumo más apropiado para calcular la demanda de cemento, debido a que existe una medida común a todos los tipos de obra: los metros cuadrados a construir. Sin embargo, este indicador tiene algunas limitaciones, por ejemplo, sólo contempla la demanda de cemento para edificaciones.

Adicionalmente, los proyectos asociados con las licencias de construcción aprobadas no son ejecutados de inmediato y en ocasiones se materializan en el largo plazo. Así, el efecto real sobre la dinámica del mercado de cemento puede presentarse con un rezago. Por otra parte, el índice de consumo de cemento por metro cuadrado construido es promedio y puede variar de acuerdo con el tipo de edificación que se construya, de manera que puede estarse sobreestimando o subestimando la demanda, dependiendo del tipo de edificaciones que se estén construyendo.

Por último, la medición de las licencias de construcción aprobadas realizada por el DANE no tiene en cuenta la totalidad del país, pues tiene una muestra bastante restringida de municipios y en algunos casos asume comportamientos semejantes entre municipios disímiles.

El cálculo de la demanda de cemento para construcción de infraestructura es un poco más complejo que el de edificaciones, ya que no existe información equivalente a las licencias de construcción aprobadas. La información disponible para realizar la inferencia es la inversión pública en infraestructura en pesos, más específicamente la inversión en infraestructura de transporte, agua potable y saneamiento básico y educación física y deporte.

Por otra parte, se cuenta también con información del DANE, que estima que los materiales (dentro de los cuales se encuentra el cemento) representan un 58% del costo total en la construcción de carreteras y puentes. Por su parte, el cemento tiene un peso de 2,7% dentro del total de los costos. Adicionalmente, es necesario considerar el peso del concreto dentro de los costos totales (17,9%), pues es un producto que contiene cemento y por tanto representa un costo implícito adicional<sup>35</sup>.

Con esta información disponible se calcula el monto de la inversión en obras públicas destinado a la compra de materiales, más precisamente a la compra de cemento, obteniendo así el gasto en cemento asociado con las obras públicas. Posteriormente, con este gasto en cemento y los precios a los que se vende el cemento por tonelada, se obtiene la cantidad de cemento demandada para la construcción de obras públicas.

---

<sup>34</sup> El trabajo de Cárdenas y Sandoval (2006) busca los determinantes de la actividad constructora en el país. En este estudio se hace una proyección de la actividad constructora trimestral para 2006 y 2007. Uno de los escenarios de este estudio (el escenario moderado) arroja los metros cuadrados aprobados que se utilizan en este ejercicio.

<sup>35</sup> De acuerdo con un libro básico sobre tecnología y propiedades del cemento, la proporción de cemento utilizada en la producción de concreto por volumen es de 10%. Los demás materiales usados siguen las siguientes proporciones: aire 1.5%, agua 15%, agregado fino y grueso 73.5% (Instituto del Concreto, 1997).

De la inversión en infraestructura se escogieron los rubros relevantes para inferir la demanda de cemento. De la cuenta denominada agua potable y saneamiento básico se seleccionó la subcuenta acueducto y alcantarillados; de la cuenta educación física, recreación y deporte se seleccionaron las subcuentas relacionadas con la construcción de parques, plazas públicas e instalaciones deportivas. Por último, dentro de la cuenta construcción y mantenimiento de vías, se tomó la inversión reportada para construcción de vías<sup>36</sup>.

De acuerdo con la información utilizada, el gasto en cemento corresponde aproximadamente al 5% de la inversión total en cada uno de los rubros de inversión seleccionados, y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Inversión Total} * 2,7\% + (\text{Inversión Total} * 17,9\% ) * 10\%$$

Esto es, el gasto destinado a cemento más el gasto destinado a concreto ponderado por la proporción de cemento utilizada en su producción.

En el Cuadro A 2 se presenta el cálculo del cemento consumido en la construcción de acueductos y alcantarillados en el país. En la segunda mitad de la década de los noventa el consumo de cemento para este tipo de obras estaba entre las 10 mil y 20 mil toneladas de cemento al año, excepto en 1999, cuando no superó las 300 toneladas.

Entre 2000 y 2005 el consumo promedio de cemento estuvo alrededor de 3 mil toneladas por año. El consumo calculado para 2005 (4 mil toneladas) fue más del doble del consumo de principios de la década (1,8 mil toneladas en 2001).

**Cuadro A 2. Cálculo demanda de cemento para acueducto y alcantarillado, 1995-2005**

Año	Inversión en acueducto y alcantarillado	Gasto en cemento	Precio cemento*	Toneladas cemento demandada (miles)
1995	118.936.110	5.344.989	260.335	20,5
1996	73.186.124	3.288.984	306.352	10,7
1997	64.000.892	2.876.200	305.537	9,4
1998	65.548.403	2.945.745	288.598	10,2
1999	2.213.128	99.458	356.706	0,3
2000	18.723.539	841.436	385.165	2,2
2001	12.592.082	565.888	404.562	1,4
2002	22.954.245	1.031.564	427.259	2,4
2003	19.107.123	858.674	405.400	2,1
2004	30.628.788	1.376.458	374.886	3,7
2005	18.311.000	822.896	206.184	4,0

Nota: información en miles de pesos de 2005

\*Miles de pesos por tonelada, precios constantes de 2005

Fuente: DNP e ICPC, cálculos Fedesarrollo

En el sector de educación y deporte se encuentran también inversiones públicas significativas en construcción, como es el caso de plazas, parques e instalaciones deportivas. De acuerdo con el Cuadro A 3, el consumo calculado de cemento en este sector exhibe alguna volatilidad, aunque bastante menor a la observada en el caso de acueducto y alcantarillado. El promedio de cemento consumido en el sector durante el segundo lustro de los noventa fue de 6 mil

<sup>36</sup> En todos los casos se aplicó el peso del cemento para el cálculo del ICCP calculado por el DANE.

toneladas, aunque al excluir el consumo de 1999 el promedio fue de 8 mil toneladas. Entre 2000 y 2005 el consumo ha variado desde mil hasta 8 mil toneladas de cemento anual, cifra registrada en 2005, 2 mil toneladas menor al consumo más alto en el periodo analizado (10 mil toneladas en 1997).

**Cuadro A 3. Cálculo demanda de cemento para educación y deporte, 1995-2005**

Año	Inversión en educación y deporte	Gasto en cemento	Precio cemento	Toneladas cemento demandada (miles)
1995	30.225.537	1.358.336	260.335	5,2
1996	50.618.121	2.274.778	306.352	7,4
1997	72.809.023	3.272.037	305.537	10,7
1998	52.735.544	2.369.935	288.598	8,2
1999	2.139.357	96.143	356.706	0,3
2000	22.319.120	1.003.021	385.165	2,6
2001	60.055.322	2.698.886	404.562	6,7
2002	30.863.183	1.386.991	427.259	3,2
2003	12.188.740	547.762	405.400	1,4
2004	51.504.775	2.314.625	374.886	6,2
2005	39.302.000	1.766.232	206.184	8,6

Nota: información en miles de pesos de 2005

\*Miles de pesos por tonelada, precios constantes de 2005

Fuente: DNP e ICPC, cálculos Fedesarrollo

El Cuadro A 4 muestra el consumo de cemento calculado de acuerdo con la inversión en construcción de vías. Este es el mayor consumo de cemento calculado con base en la inversión en obras de infraestructura. Al igual que en los casos anteriores, el consumo durante la segunda mitad de los noventa fue más alto que entre 2000 y 2005. Incluso la disminución en 1999 no fue tan notoria como en otros casos. El consumo entre 2000 y 2005 ha estado entre 30 y 100 mil toneladas al año, mientras que en 1995 alcanzó 190 mil toneladas.

En el Cuadro A 5 se presenta el consumo total de cemento estimado anteriormente, tanto en el caso de edificaciones como de obras públicas. De acuerdo con estos cálculos, el consumo de cemento estimado está alrededor de 700 mil toneladas en promedio durante el periodo analizado, registrándose el consumo más alto en 1995 con 932 mil toneladas.

**Cuadro A 4. Cálculo demanda de cemento para construcción de vías, 1995-2005**

Año	Inversión en construcción de vías	Gasto en cemento	Precio cemento	Toneladas cemento demandada (miles)
1995	1.074.226.135	48.275.722	260.335	185,4
1996	1.043.116.211	46.877.643	306.352	153,0
1997	1.074.964.416	48.308.901	305.537	158,1
1998	941.720.337	42.320.912	288.598	146,6
1999	1.072.559.353	48.200.817	356.706	135,1
2000	468.174.993	21.039.784	385.165	54,6
2001	657.374.296	29.542.401	404.562	73,0
2002	426.395.405	19.162.210	427.259	44,8
2003	258.159.730	11.601.698	405.400	28,6
2004	487.291.896	21.898.898	374.886	58,4
2005	440.788.143	19.809.019	206.184	96,1

Nota: información en miles de pesos de 2005

\*Miles de pesos por tonelada, precios constantes de 2005

Fuente: DNP e ICPC, cálculos Fedesarrollo

**Cuadro A 5. Cálculo demanda de cemento total, 1995-2005**

Consumo estimado de cemento - miles de toneladas					
Año	En edificaciones	En acueducto y alcantarillado	En educación y deporte	En construcción de vías	Total consumo
1995	720,5	20,5	5,2	185,4	931,7
1996	532,1	10,7	7,4	153,0	703,3
1997	628,6	9,4	10,7	158,1	806,9
1998	557,2	10,2	8,2	146,6	722,2
1999	384,5	0,3	0,3	135,1	520,2
2000	404,1	2,2	2,6	54,6	463,5
2001	450,8	1,4	6,7	73,0	531,9
2002	597,1	2,4	3,2	44,8	647,6
2003	704,4	2,1	1,4	28,6	736,5
2004	594,2	3,7	6,2	58,4	662,5
2005	627,9	4,0	8,6	96,1	736,6

Fuente: DNP e ICPC, cálculos Fedesarrollo

Aunque este ejercicio de inferencia permite acercarse al consumo de cemento, el uso de las licencias de construcción ocasiona una subestimación importante en el cálculo de la demanda de cemento por parte de la construcción de edificaciones. Sería ideal contar con datos de construcción efectiva.

Además, existen otras razones por las que el consumo de cemento en infraestructura está subestimado en este ejercicio. De un lado, la inversión que se tiene en cuenta en el ejercicio corresponde únicamente a la inversión pública en infraestructura. Si bien la inversión pública es bastante más significativa que la inversión privada en este caso, el ejercicio no tiene en cuenta la totalidad de cemento demandado para este propósito. De otro lado, los precios utilizados son un promedio anual que resulta de la información disponible por ciudad y firma que vende el cemento, pero no refleja el precio al que efectivamente se vendió el cemento al

gobierno o a las entidades encargadas de la construcción de las obras públicas consideradas. Esto puede ocasionar la subestimación de la cantidad de cemento consumida.

Los resultados de este ejercicio explican apenas una décima parte de la producción de cemento gris reportada, lo que corrobora que es un ejercicio que no proporciona un panorama completo sobre el comportamiento del consumo de cemento en el país. De todas formas es una herramienta de gran utilidad para conocer la dinámica del sector y su demanda para diferentes usos.

Lo que se concluye de este ejercicio es que buena parte de la producción de cemento se destina entonces a la autoconstrucción. Desgraciadamente, dada la importancia que tiene esta actividad sobre la industria del cemento, no existen registros estadísticos que sigan de cerca la dinámica de esta actividad.

*Apéndice 3: Prueba de causalidad de Granger entre el PIB de construcción y la producción de cemento.*

Pairwise Granger Causality Tests

Date: 08/12/05 Time: 12:11

Sample: 1994Q1 2005Q1

Lags: 1

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Probability
LNVOL does not Granger Cause LNPIB	44	0.93739	0.33863
LNPIB does not Granger Cause LNVOL		5.17872	0.02816

Como se ve en este resultado, se concluye con un nivel de confianza del 95%, que es el PIB de la Construcción el que causa movimientos en la producción de cemento y no viceversa.

**Apéndice 4: Modelo de corrección de errores (VEC) para la cantidad y los precios de cemento.**

El modelo a estimar toma la siguiente especificación:

$$\begin{bmatrix} \Delta p_t \\ \Delta q_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1(\beta_1 * p_{t-1} + q_{t-1} - c) \\ \alpha_2(\beta_2 * p_{t-1} + q_{t-1} - c) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sum_{i=1} \phi_{11i} \Delta p_{t-i} & \sum_{i=1} \phi_{12i} \Delta q_{t-i} \\ \sum_{i=1} \phi_{21i} \Delta p_{t-i} & \sum_{i=1} \phi_{22i} \Delta q_{t-i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_t \\ \xi_t \end{bmatrix} \quad (1)$$

o, si lo miramos ecuación por ecuación:

$$\Delta p_t = [\alpha_1(\beta_1 * p_{t-1} + q_{t-1} - c)] + \left[ \sum_{i=1} \phi_{11i} \Delta p_{t-i} + \sum_{i=1} \phi_{12i} \Delta q_{t-i} \right] + \varepsilon_t \quad (2)$$

$$\Delta q_t = [\alpha_2(\beta_2 * p_{t-1} + q_{t-1} - c)] + \left[ \sum_{i=1} \phi_{21i} \Delta p_{t-i} + \sum_{i=1} \phi_{22i} \Delta q_{t-i} \right] + \xi_t \quad (3)$$

Donde  $q_t$  es el logaritmo de la cantidad de cemento producida en el mes  $t$ ,  $p_t$  es el logaritmo del precio real del cemento en el mes  $t$ ,  $\beta$  y  $c$  son parámetros que, si el modelo estimado da cuenta de su existencia, expresarían la relación de largo plazo entre precios y cantidades. Finalmente, los parámetros  $\phi$  expresan la influencia que tiene los crecimientos rezagados de cada variable sobre el crecimiento actual de cada variable.

De esta forma, el cambio en el precio ( $\Delta p_t$ ) o las cantidades ( $\Delta q_t$ ) está explicado por un componente de largo plazo, primera expresión del lado derecho de cada ecuación, y por uno de corto plazo. Este último componente no es más que distintos rezagos de los crecimientos de los precios y las cantidades ( $\Delta p_{t-i}$  y  $\Delta q_{t-i}$ ), lo que tradicionalmente se conoce como un modelo autoregresivo. La idea detrás de un modelo autoregresivo es que las observaciones de las variables en periodos anteriores contienen información relevante para predecir su comportamiento en periodo actual. En otras palabras, en una especificación autoregresiva, las tasas de cambio de las variables cambian solo gradualmente.

El algoritmo para estimar un modelo VEC es el siguiente: primero, hay que asegurarse que las variables en cuestión, en este caso, los precios y las cantidades siguen un proceso I(1). Una vez comprobado esto, se identifica el número de rezagos óptimos del modelo autoregresivo para luego hacer la prueba de la existencia de un vector de cointegración. Ésta última es la que da pauta para saber si existe una relación de largo plazo entre las variables mencionadas. Si el vector existe, se estima y se hacen las correspondientes pruebas de exogeneidad de las variables que entran dentro del vector de cointegración.

A continuación se muestran los resultados de las pruebas mencionadas, junto con la verificación de los supuestos de normalidad y de no autocorrelación de la estimación realizada.

### Pruebas de raíz unitaria.

La idea de esta prueba es poder determinar si las variables son integradas de orden 1 para poder estimar el VEC. Como se observa en la siguiente tabla, tanto la prueba de Dickey Fuller como la prueba de KPSS arrojan que las series son I(1) con un nivel de confianza del 5%.

Var.	Determ.	ADF	CV 95%	Resul.	KPSS	CV 95%	Resol.
lnP	ninguno	-1.58	-2.87	I(1)	1.71	0.46	I(1)
lnQ	ninguno	-1.87	-2.87	I(1)	1.54	0.46	I(1)

### Prueba de cointegración.

Los valores críticos fueron corregidos por muestra pequeña. Como se observa en la tabla, rechazamos la hipótesis de la existencia de 0 vectores de cointegración y aceptamos la hipótesis de la existencia de más de un vector de cointegración.

R	p-r	Chi calculado	CV 90%	CV 90% ajust.
0	2	29.68	17.79	26.94
1	1	8.094	7.503	11.359

### Prueba de exclusión.

Esta prueba sirve para probar que la variable en cuestión no se excluya del vector de cointegración o de la relación de largo plazo.

#### Prueba de exclusión (LR)

R	Grados de l.	Chi2	Lnp	Lnq	constante
1	1	3.84	10.56	7.71	0.39

#### Prueba de exogeneidad débil (LR)

R	Grados de l.	Chi2	Lnp	Lnq
1	1	3.84	4.32	10.71

Como se puede ver en la prueba de exclusión, se concluye que ninguna de las dos variables se puede excluir del vector de cointegración. Por su parte, de la prueba de exogeneidad débil, indican que los desequilibrios generados afectan a ambas variables del vector de cointegración.

### Prueba de autocorrelación de los errores

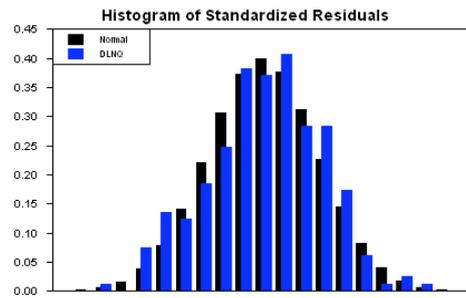
Se hizo una prueba LM(4) y se rechaza la hipótesis de existencia de autocorrelación.

### Prueba de normalidad de los errores.

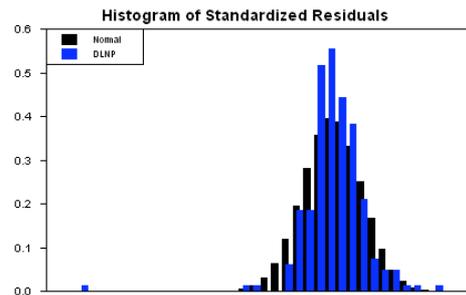
Para mirar si los errores se comportan normales se calculó el estadístico Jarque-Bera multivariado. De este estadístico, se concluye que los errores no se comportan normalmente.

Al mirar los histogramas de los errores para cada ecuación, observamos que la no normalidad se explica por los outliers de la ecuación del precio.

*Histograma para la ecuación de cantidades.*



*Histograma para la ecuación de precios.*



### Resultados.

Los resultados de la estimación son los siguientes:

$$\begin{bmatrix} \Delta p_t \\ \Delta q_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.098((-0.81) * p_{t-1} + q_{t-1} - 3.135) \\ -0.075((-0.81) * p_{t-1} + q_{t-1} - 3.135) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sum_{i=1} \phi_{11i} \Delta p_{t-i} & \sum_{i=1} \phi_{12i} \Delta q_{t-i} \\ \sum_{i=1} \phi_{21i} \Delta q_{t-i} & \sum_{i=1} \phi_{22i} \Delta q_{t-i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_t \\ \zeta_t \end{bmatrix} \quad (4)$$

Donde, la relación de equilibrio de largo plazo que se estaba buscando está dada por la siguiente relación:

$$q_{t-1} = 3.135 + 0.81 * p_{t-1} + u_{t-1}.$$

### *Apéndice 5: Demostración de la ecuación 7*

El problema de maximización de beneficios de una industria es:

$$Max_Q \pi = Q * D^{-1}(Q) - C(Q) \quad 1.$$

donde  $D^{-1}(Q)$  es la función inversa de demanda y  $C(Q)$  es la función de costos. Las condiciones de primer orden si la firma está maximizando son:

$$D^{-1}(Q) + \left( \frac{\partial D^{-1}(Q)}{\partial Q} \right) * Q - \frac{\partial C(Q)}{\partial Q} = 0 \quad 2.$$

o, de forma más abreviada:

$$P = \frac{\partial C(Q)}{\partial Q} - \left( \frac{\partial D^{-1}(Q)}{\partial Q} \right) * Q \quad 3.$$

Si suponemos una ecuación de demanda lineal de la forma:  $Q = \alpha_1 P$  que, por simplicidad, depende únicamente del precio, su correspondiente función inversa de demanda es  $P = Q / \alpha_1$ . De esta forma la ecuación 3 quedaría:

$$P = \frac{\partial C(Q)}{\partial Q} - (Q / \alpha_1) \quad 4.$$

Reemplazando el costo marginal que se tenía en la ecuación 4 de la sección VI B y usando el parámetro de concentración que afecta al ingreso marginal, de la ecuación 4 se llega inmediatamente a la ecuación 7` .