

Una Aproximación de la Demanda de Áridos de Largo Plazo en Chile

Gerencia de Estudios y Políticas Públicas*
Cámara Chilena de la Construcción

Diciembre 2022

Resumen

El objetivo de este documento es proyectar el consumo de áridos para el período anual 2022-2052. La proyección está basada en la relación de largo plazo entre el PIB, la demanda de cemento y el consumo de asfalto. La selección de estas tres variables está basada en sus significativas medidas de correlación y en la información histórica de datos disponible. Usando métodos econométricos (Johansen, 1995), con un crecimiento tendencial de la economía de 2% anual (basado en la estimación de parámetros estructurales de la Encuesta de Expectativas Económicas del Banco Central de Chile), se estima que la demanda de áridos –a partir de la demanda de cemento y asfalto– aumente desde 68 millones de toneladas hasta 87 millones de toneladas en los próximos 30 años. Finalmente, considerando las proyecciones de crecimiento de población del INE para nuestro país, se estima que en 2022, la demanda de áridos a partir de la demanda de cemento y asfalto, alcance niveles del orden de 3,41 toneladas per cápita, la que crecería hasta las 4,04 toneladas per cápita hacia 2052.

Al respecto, cabe señalar que estas cifras representan la cota inferior de la demanda real, ya que la información disponible para el cálculo de la demanda de áridos no considera las actividades de movimientos de tierra, ni el uso de áridos de construcción en proceso mineros de lixiviación. Por ello, se realiza un ejercicio de sensibilidad de las proyecciones de demanda de áridos –considerando, además del escenario base de proyección, tres escenarios alternativos de crecimiento del PIB tendencial: 2% (escenario base), 3% (escenario 1, razonablemente optimista), 4% (escenario 2, altamente optimista) y 5% (escenario 3, en extremo optimista). Con ello, se estima que la demanda de áridos podría crecer hasta 135,2 millones de toneladas hacia 2052, equivalente a 6,25 toneladas per cápita. En términos de la demanda acumulada de áridos, en este escenario, se espera que para 2052, ésta alcance 3.030 millones de toneladas, o bien, las 143,2 toneladas per cápita.

*Documento solicitado por el grupo de trabajo áridos del Comité de Contratistas Generales de la CChC.

1. Introducción

En Chile la demanda de cemento y el producto interno bruto (PIB) exhiben comovimiento (movimiento correlacionado) en sus patrones de comportamiento histórico (Idrovo y Contreras, 2021). Es probable que el stock de capital físico sea una de las variables macroeconómicas más importantes que vincula el consumo de cemento con el PIB. Por ejemplo, el cemento es un insumo intermedio para la construcción de las infraestructuras productivas del país, tales como: edificios, caminos, puertos, etc. A su vez, estas infraestructuras forman parte del stock de capital agregado disponible para la producción interna (PIB). Formalmente, se tiene:

$$PIB(t) = f(K(t); \vec{X}) \quad (1)$$

$$K(t) = g(C(t); \vec{Z}) \quad (2)$$

donde, $PIB(t)$ es el producto interno bruto en el instante t ; $f(\cdot)$ es la función que relaciona el PIB con el stock de capital físico $K(t)$; \vec{X} es un vector de otras variables económicas que contribuyen al producto. Por ejemplo, el capital humano y la tecnología. Por otra parte, la formación del stock de capital físico $K(t)$ –como las obras de infraestructura– requiere de insumos intermedios de producción (Ecuación 2). En este caso, $C(t)$ es el insumo cemento y \vec{Z} recoge el resto de materiales de construcción y mano de obra especializada; $g(\cdot)$ sintetiza la ingeniería que combina los materiales de construcción y la mano de obra para generar el capital deseado. Por lo que, en el modelo (Ecuaciones 1-2) el producto depende indirectamente del consumo de cemento, siendo el stock de capital la variable relacionada.

Ahora, considere $f(K(t); \vec{X}) = (f \circ g)(C(t); \vec{Z}; \vec{X}) \equiv h(C(t); \vec{Z}, \vec{X})$. Linealizando $h(\cdot)$, se obtiene la siguiente expresión matemática:

$$PIB(t) = \left(\bar{h} - \frac{\partial \bar{h}}{\partial C} C \right) + \frac{\partial \bar{h}}{\partial C} C(t) + \varepsilon(t) \quad (3)$$

Teóricamente, si el término residual $\varepsilon(t)$ –que resume el efecto de todas las otras variables económicas (distintas al cemento)– es relativamente estable, es decir, su distribución de probabilidad no se ve afectada por el inexorable paso del tiempo, entonces se dice que el PIB y el consumo de cemento comparten una tendencia común. De ser así, la Ecuación 3 describe la relación de largo plazo entre el PIB y la demanda del insumo cemento. Dada la estructura del modelo, dicha “tendencia común” sería el stock de capital físico $K(t)$. Finalmente, el coeficiente $\left(\frac{\partial \bar{h}}{\partial C} \right) > 0$ cuantifica la relación proporcional de largo plazo entre el PIB y la demanda de cemento. Por su parte, $\bar{h} - \frac{\partial \bar{h}}{\partial C} C$ puede ser mayor o igual a cero.

Con esto, la proyección de la demanda de cemento, en el horizonte de largo plazo ($\tau > 0$), se puede aproximar en función del PIB de tendencia.

$$C(t + \tau) \approx \left(\frac{\partial \bar{h}}{\partial C} \bar{C} - \bar{h} \right) + \left(\frac{\partial \bar{h}}{\partial C} \right)^{-1} PIB(t + \tau) \quad (4)$$

La identificación de los parámetros de la Ecuación 4 se basa en pruebas de cointegración de Johansen(1995) y estimación de modelos de vector de corrección de errores (Ver Anexo). Por otra parte, la proyección del consumo de asfalto se define por extrapolación lineal con el pronóstico del cemento (expresado en toneladas promedio anual), debido a: (i) la fuerte correlación entre ambas series de tiempo; (ii) La variable de asfalto es corta (2015-2021). Por lo que, no es posible descartar la presencia de correlaciones espurias entre ambas variables (cemento y asfalto). Por ello, las proyecciones deben interpretarse con cautela.

En resumen, se estima que la demanda de áridos –a partir de la demanda de cemento y asfalto– aumente desde 68 millones de toneladas hasta 87 millones de toneladas en los próximos 30 años. Considerando las proyecciones de crecimiento de población del INE para Chile, se estima que en 2022, la demanda de áridos a partir de la demanda de cemento y asfalto, alcance niveles del orden de 3,41 toneladas per cápita, la que crecería hasta las 4,04 toneladas per cápita en 2052.

El presente documento está organizado en 5 Secciones: La primera corresponde a la introducción; la segunda sección presenta los datos; en la tercera sección se exponen las proyecciones de cemento y asfalto; la cuarta sección muestra las proyecciones de áridos en base a los pronósticos de cemento y asfalto; la última sección concluye.

2. Los Datos

A continuación, la Figura 1 muestra la evolución histórica entre el PIB y el consumo de cemento, ambas variables en frecuencia trimestral (1996Q1-2022Q2) y expresadas en logaritmo para su comparación. Originalmente, el PIB es medido en miles de millones de pesos a precios de 2018, mientras que la demanda de cemento está medida en toneladas e incluye las importaciones. Esta serie oficial agrega varios tipos de cemento: cemento portland, cemento alumináceo, cemento de escorias y cementos hidráulicos similares, excepto en forma de clinkers.

Los datos son obtenidos del Banco Central, INE e información de aduanas. De la Figura 1 se desprende un movimiento correlacionado entre el PIB y el cemento.

Por otra parte, respecto a los datos de cemento asfáltico (en toneladas), actualmente solo contamos con estadística en frecuencia anual para una ventana corta de tiempo (2015-2021), cuya fuente corresponde a datos de importación

nacional de Cemento Asfáltico (CA). Ante esta limitación, la proyección de largo plazo de la demanda de cemento asfáltico está basada en el pronóstico de las toneladas promedio anual de la demanda de cemento (INE), debido a la importante correlación que se observa entre esta serie y la de cemento asfáltico (Figura 2). De hecho, la correlación entre ambas series es 0.65 en niveles y 0.92 en variación anual.

Figura 1: Evolución de la demanda de cemento y PIB

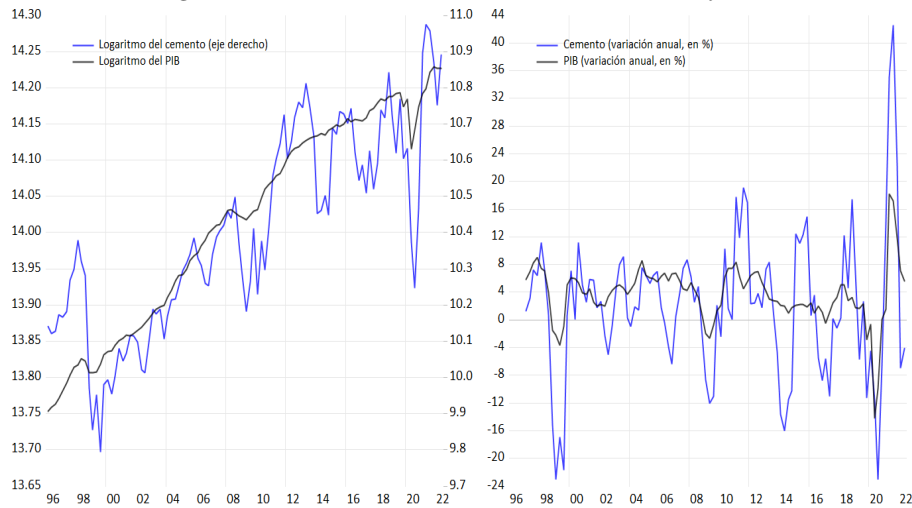
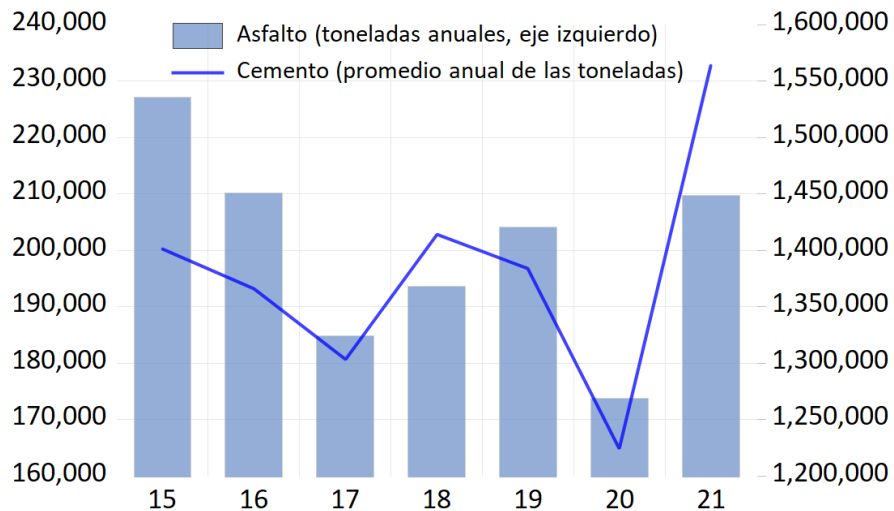


Figura 2: Evolución del cemento asfáltico (CA) y cemento (INE)

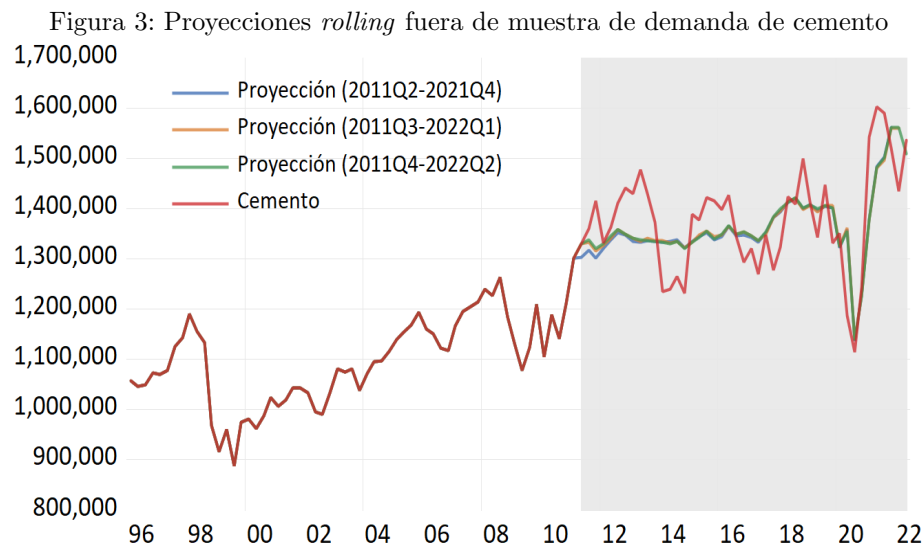


Nota: Asfalto corresponde a cemento asfáltico (CA).

3. Proyecciones

3.1. Evaluación de la capacidad predictiva del modelo

La Figura 3 muestra la proyección *rolling* fuera de muestra de la demanda de cemento para tres períodos de 10 años (2011Q2-2021Q4; 2011Q3-2022Q1; 2011Q4-2022Q2). Este ejercicio permite evaluar la capacidad predictiva del modelo (condicional en la serie observada de PIB). El ejercicio consiste en estimar el modelo de predicción con información hasta el segundo trimestre de 2022 (2022Q2), y luego (en base a los parámetros estimados) se proyecta 10 años (40 observaciones trimestrales) de la demanda de cemento. En general, se observa un buen ajuste entre la serie proyectada fuera de muestra y la serie original de cemento.



El siguiente Cuadro muestra el error cuadrático medio de la proyección fuera de muestra (a diez años) de la tasa de crecimiento anual de la demanda de cemento.

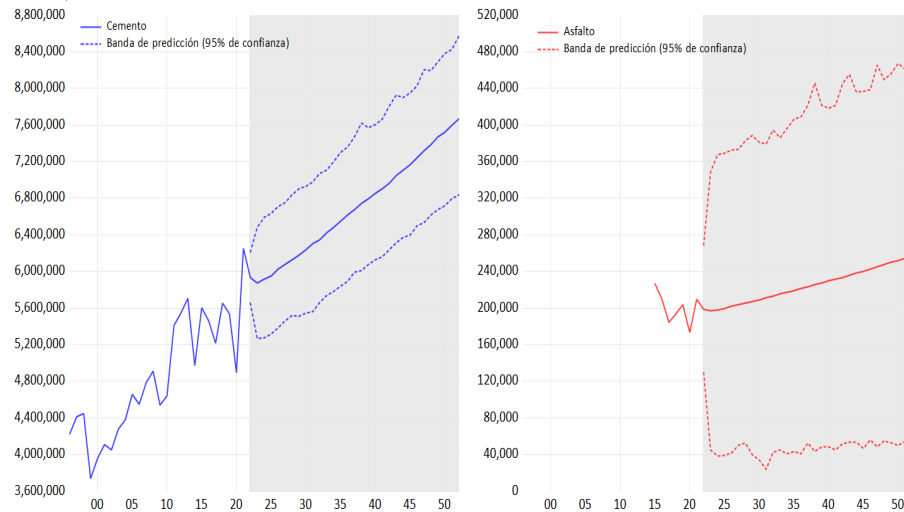
Cuadro 1: Error cuadrático medio de proyección *rolling* fuera de muestra de la tasa de crecimiento anual del cemento

2011Q2-2021Q4	2011Q3-2022Q1	2011Q4-2022Q2
0.008298236	0.00918057	0.008910454

3.2. Proyecciones de la demanda de cemento y asfalto a 30 años plazo

Se proyecta que la demanda de cemento y asfalto crezcan en torno a 1% anual, respectivamente, durante los próximos 30 años. Esta perspectiva supone que el PIB aumentará 2% anual promedio en igual lapso. El supuesto para el PIB corresponde a la tasa de crecimiento tendencial o de largo plazo de la economía Chilena. Este supuesto es coherente con las estimaciones de crecimiento del PIB estructural por parte de los analistas encuestados por el Banco Central (Encuesta de Expectativas Económicas de septiembre de 2022). En términos de nivel, se vaticina que la demanda de cemento promedie 6.7 millones de toneladas anuales en la ventana 2022-2052. Por su parte, el consumo de asfalto exhibe un promedio anual de 224 mil toneladas en igual período. En la Figura 4, el amplio intervalo de las proyecciones (al 95% de confianza) tiene implícito la incertidumbre acerca de los desvíos transitorios que pudieran ocurrir respecto de los niveles de tendencia para ambas series de tiempo.

Figura 4: Proyecciones de la demanda de cemento y cemento asfáltico (en toneladas)



4. Estimación de Consumo de Áridos en Chile

Una vez obtenidas las proyecciones de demanda de cemento y asfalto para 2022-2052, el siguiente paso es, a partir de estas proyecciones, estimar la demanda de áridos para este periodo de tiempo. No obstante, cabe mencionar que la estimación aquí realizada corresponde a un piso o cota inferior de la demanda total, debido a que la información oficial disponible no considera la utilización

de áridos por actividad de movimientos de tierras en obras civiles (MOP, MIN-VU) ni uso de áridos de construcción en procesos mineros de lixiviación.

A continuación se utiliza la metodología definida por el Estudio “Industria del Árido en Chile”¹, la que se describe a continuación:

4.1. Demanda esperada de áridos a partir de la demanda de cemento

A través de factores técnicos se estima la demanda de áridos a nivel país. Considerando una serie de supuestos que se dan habitualmente, se determinará la cantidad de m^3 de áridos asociadas a cada tonelada de cemento consumida.

El consumo promedio de cemento por m^3 de hormigón es de $C = 300 \text{ kg}/m^3$, utilizándose además $1,35 \text{ m}^3/\text{árido}$. Si todo el cemento se utiliza para la fabricación de hormigón, se tendrá que por ton. de cemento se fabrican 3.33 m^3 de hormigón, que consumen a su vez 4.50 m^3 de áridos. Si se le agrega una pérdida de un 5 % por efectos de producción y transporte, se obtiene finalmente la razón de 4.73 m^3 de árido por ton. de cemento.

Existen estimaciones basadas en el consumo real de cemento según producto y tipo de elemento, como la que ha realizado el Instituto del Cemento y Hormigón (ICH). Para ello considera 2 tipos de productos básicos, hormigones y morteros, con consumos promedio de cemento de 300 y $350 \text{ kg}/m^3$, respectivamente. Enseguida analiza la estructura de demanda por cemento de acuerdo con datos estadísticos, la que señala el modo en que distintas obras demandan cemento, además del tipo y porcentaje de producto para cada caso. Por ejemplo, las obras civiles, pavimentos y prefabricados no utilizan mortero; en cambio, en la edificación habitacional, no habitacional y ampliaciones se usa un 25 %, 35 % y 50 % de mortero, respectivamente.

Por último, se consideran factores técnicos, que indican, de modo similar al caso anterior, el uso de los áridos en los hormigones ($1.43 \text{ m}^3 \text{ árido}/m^3 \text{ hormigón}$), morteros ($1.38 \text{ m}^3 \text{ arena}/m^3 \text{ hormigón}$), y pavimentos, incluyendo las pérdidas por fabricación y transporte. Siguiendo estos análisis, se obtiene finalmente la razón de 4.59 m^3 de árido por ton. de cemento, muy similar al caso anterior.

Para nuestra estimación, se utilizará el promedio de ambas medidas, es decir, se considerará **la razón de 4.66 m^3 de árido por tonelada de cemento**. Así, se estima que en 2022, la demanda de áridos a partir de la demanda de cemento, alcance niveles del orden de 27.6 millones de m^3 , la que crecerá hasta

¹Industria del Árido en Chile. Tomo I Sistematización de Antecedentes Técnicos y Ambientales. CDT, Convenio MOP – zMINVU – CChC. Diciembre, 2001. Disponible en: https://www.cdt.cl/?post_type=d1m_download&p=76401

los 35.7 millones de m^3 hacia 2052.

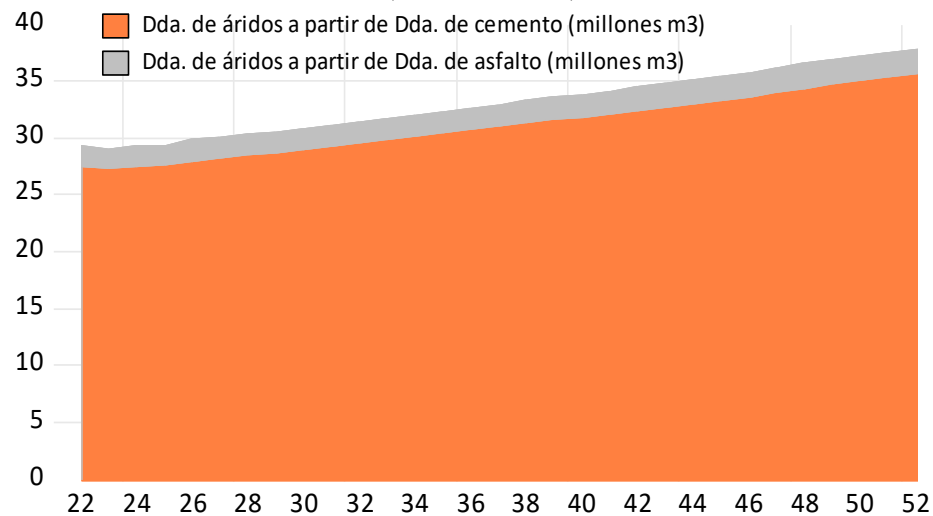
4.2. Demanda esperada de áridos a partir de la demanda de asfalto

A la estimación anterior, se debe sumar la demanda esperada de áridos a partir de la demanda de asfalto. Considerando una serie de supuestos que se dan habitualmente, se determinará la cantidad de m^3 de mezcla asfáltica asociada a cada tonelada de asfalto consumida, y a partir de ésta, la cantidad de toneladas de áridos requerida. Así, asumiendo una densidad del cemento asfáltico cercana a 1, un consumo de cemento asfáltico de 113,286 litros por m^3 de mezcla asfáltica, se obtiene que 1 m^3 de mezcla asfáltica requiere 2,266 toneladas de áridos².

Considerando que 1 m^3 de asfalto pesa 2.3 toneladas³, se estima que en 2022, la demanda de áridos a partir de la demanda de asfalto, alcance niveles del orden de 1.7 millones de m^3 , la que crecería hasta los 2.2 millones de m^3 hacia 2052.

De esta forma, se estima que, en 2022, la demanda de áridos a partir de la demanda de cemento y asfalto, alcance niveles del orden de 29 millones de m^3 , la que crecería hasta los 38 millones de m^3 hacia 2052. Lo anterior, se muestra la Figura 5.

Figura 5: Estimación de demanda de áridos a partir de proyección de demanda de cemento y asfalto 2022-2052 (millones de m^3)

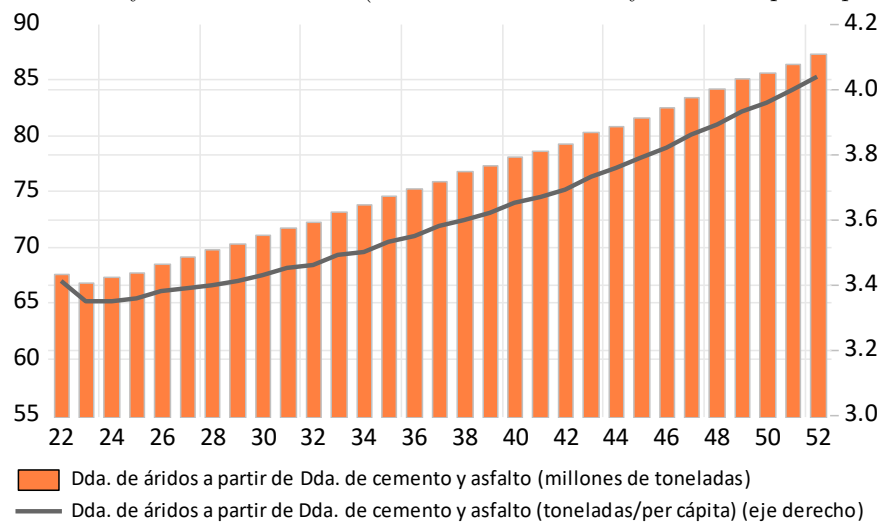


²Densidad Marshall y juicio experto CChC.

³Juicio de experto CChC.

A partir de que, como se mencionó anteriormente, 1 m^3 de árido pesa 2,3 toneladas, se estima que en 2022, la demanda de áridos a partir de la demanda de cemento y asfalto, alcance niveles del orden de 68 millones de toneladas, la que crecería hasta 87 millones de toneladas hacia 2052. Finalmente, considerando las proyecciones de crecimiento de población del INE para nuestro país, se estima que en 2022, la demanda de áridos a partir de la demanda de cemento y asfalto, alcance niveles del orden de 3,41 toneladas per cápita, la que crecería hasta las 4,04 toneladas per cápita hacia 2052. Lo anterior, se muestra en la Figura 6.

Figura 6: Estimación de demanda de áridos a partir de proyección de demanda de cemento y asfalto 2022-2052 (millones de toneladas y toneladas per cápita)



A continuación, se presenta una aproximación de la contribución regional a la demanda de áridos, en términos de millones de toneladas y toneladas per cápita, a partir de demanda de cemento y asfalto, según población regional (Figura 7). En este ejercicio se puede observar la relevancia y predominio de la Región Metropolitana en la demanda de áridos estimada, en términos de millones de toneladas y toneladas per cápita, que se espera, se mantenga en el tiempo.

Figura 7: Contribución regional a la demanda de áridos (millones de toneladas y toneladas per cápita) a partir de demanda de cemento y asfalto (según población regional)

Región	Habitantes por región 2022	Habitantes por región 2022 (%)	Contribución regional a la dda de áridos (millones de toneladas) a partir de dda de cemento y asfalto (según población regional)	Contribución regional a la dda de áridos (toneladas per cápita) a partir de dda de cemento y asfalto (según población regional)
ARICA Y PARINACOTA	257.722	1,3	0,9	0,04
TARAPACÁ	396.697	2,0	1,4	0,07
ANTOFAGASTA	709.637	3,6	2,4	0,12
ATACAMA	318.004	1,6	1,1	0,05
COQUIMBO	858.769	4,3	2,9	0,15
VALPARAÍSO	1.995.538	10,1	6,8	0,34
METROPOLITANA	8.310.984	41,9	28,3	1,43
O'HIGGINS	1.009.552	5,1	3,4	0,17
MAULE	1.153.043	5,8	3,9	0,20
ÑUBLE	517.060	2,6	1,8	0,09
BIOBÍO	1.676.269	8,5	5,7	0,29
LA ARAUCANÍA	1.024.029	5,2	3,5	0,18
LOS RÍOS	409.559	2,1	1,4	0,07
LOS LAGOS	902.510	4,6	3,1	0,16
AYSÉN	108.047	0,5	0,4	0,02
MAGALLANES	181.143	0,9	0,6	0,03
Total País	19.828.563	100	67,6	3,41

En términos de la demanda acumulada de áridos a partir de la demanda de cemento y asfalto, se espera que para 2052, ésta alcance los 2.363 millones de toneladas, o bien, las 109 toneladas per cápita. Lo anterior, se muestra en la Figura 8.

Figura 8: Estimación de demanda **acumulada** de áridos a partir de proyección de demanda de cemento y asfalto 2022-2052 (millones de toneladas y toneladas per cápita, acumuladas)

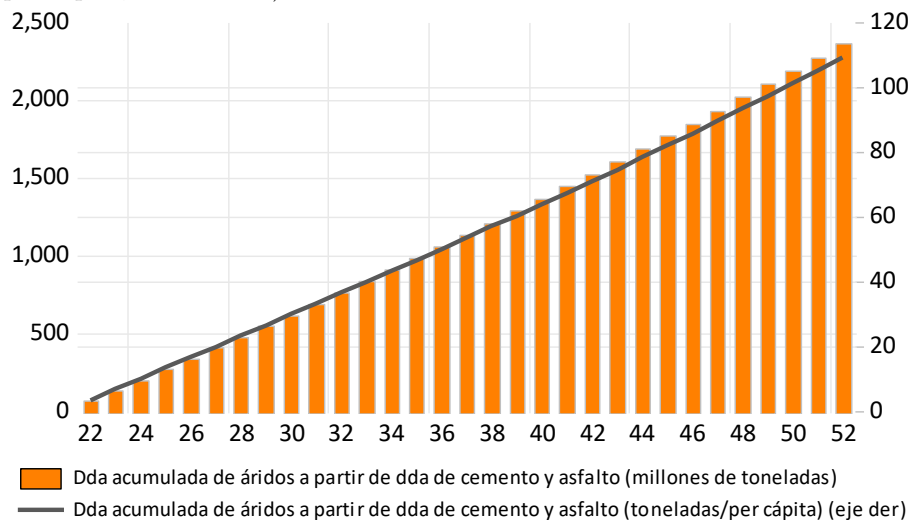


Figura 9: Estadísticas de la proyección

Año	PIB (miles de millones de pesos, 2018)	Población Chile (INE)	Dda de cemento (toneladas)	Dda de asfalto (toneladas)	Dda de áridos a partir de dda de cemento (millones de m3)	Dda de áridos a partir de dda de asfalto (millones m3)	Dda de áridos a partir de dda de cemento y asfalto (millones de toneladas)	Dda acumulada de áridos a partir de dda de cemento y asfalto (millones de toneladas)	Dda de áridos a partir de dda de cemento y asfalto (toneladas/per cápita)	Dda acumulada de áridos a partir de dda de cemento y asfalto (toneladas/per cápita)
2022	208,413	19,828,563	5,931,978	198,773	27.6	1.7	67.6	67.6	3.41	3.41
2023	212,612	19,960,889	5,877,446	196,946	27.4	1.7	66.9	134.5	3.35	6.74
2024	216,896	20,086,377	5,913,995	198,171	27.6	1.7	67.4	201.8	3.35	10.05
2025	221,267	20,206,953	5,954,308	199,521	27.7	1.7	67.8	269.6	3.36	13.34
2026	225,726	20,322,807	6,025,173	201,896	28.1	1.8	68.6	338.3	3.38	16.64
2027	230,274	20,433,791	6,077,905	203,663	28.3	1.8	69.2	407.5	3.39	19.94
2028	234,914	20,539,666	6,126,877	205,304	28.6	1.8	69.8	477.3	3.40	23.24
2029	239,648	20,640,230	6,180,157	207,089	28.8	1.8	70.4	547.6	3.41	26.53
2030	244,477	20,735,289	6,240,877	209,124	29.1	1.8	71.1	618.7	3.43	29.84
2031	249,403	20,826,397	6,308,078	211,376	29.4	1.8	71.8	690.5	3.45	33.16
2032	254,429	20,912,278	6,349,998	212,780	29.6	1.9	72.3	762.9	3.46	36.48
2033	259,556	20,992,831	6,424,630	215,281	29.9	1.9	73.2	836.0	3.49	39.82
2034	264,786	21,067,996	6,483,088	217,240	30.2	1.9	73.8	909.9	3.50	43.19
2035	270,122	21,137,769	6,549,459	219,464	30.5	1.9	74.6	984.4	3.53	46.57
2036	275,565	21,202,223	6,613,822	221,621	30.8	1.9	75.3	1,059.8	3.55	49.98
2037	281,117	21,261,462	6,675,242	223,679	31.1	1.9	76.0	1,135.8	3.58	53.42
2038	286,782	21,315,630	6,744,302	225,993	31.4	2.0	76.8	1,212.6	3.60	56.89
2039	292,561	21,364,889	6,796,175	227,731	31.7	2.0	77.4	1,290.0	3.62	60.38
2040	298,456	21,409,418	6,855,088	229,705	31.9	2.0	78.1	1,368.1	3.65	63.90
2041	304,470	21,449,428	6,907,079	231,448	32.2	2.0	78.7	1,446.7	3.67	67.45
2042	310,605	21,485,105	6,964,485	233,371	32.5	2.0	79.3	1,526.0	3.69	71.03
2043	316,864	21,516,611	7,047,711	236,160	32.8	2.1	80.3	1,606.3	3.73	74.65
2044	323,249	21,544,064	7,107,410	238,160	33.1	2.1	80.9	1,687.2	3.76	78.32
2045	329,763	21,567,513	7,168,606	240,211	33.4	2.1	81.6	1,768.9	3.79	82.02
2046	336,408	21,587,015	7,240,686	242,626	33.7	2.1	82.5	1,851.3	3.82	85.76
2047	343,186	21,602,589	7,320,294	245,294	34.1	2.1	83.4	1,934.7	3.86	89.56
2048	350,102	21,614,271	7,390,116	247,634	34.4	2.2	84.2	2,018.9	3.89	93.40
2049	357,157	21,622,101	7,468,259	250,252	34.8	2.2	85.1	2,103.9	3.93	97.30
2050	364,353	21,626,079	7,523,815	252,114	35.1	2.2	85.7	2,189.6	3.96	101.25
2051	371,695	21,630,058	7,597,654	254,588	35.4	2.2	86.5	2,276.1	4.00	105.23
2052	379,185	21,634,037	7,667,572	256,931	35.7	2.2	87.3	2,363.4	4.04	109.25

5. Análisis de sensibilidad: escenarios alternativos para la demanda de áridos

Como se mencionó en la sección 3, para las estimaciones de demanda de cemento y asfalto, se utiliza la tasa de crecimiento tendencial o de largo plazo de la economía chilena, la que es coherente con las estimaciones de crecimiento del PIB estructural por parte de los analistas encuestados por el Banco Central⁴, por lo que se podría considerar un supuesto conservador.

A continuación, se presentan las estimaciones de demanda de áridos para tres escenarios adicionales de mayor crecimiento anual promedio del PIB, y por lo tanto, de mayor consumo de cemento y asfalto.

Así, en el escenario más optimista considerado (5% de crecimiento promedio anual del PIB), se estima que la demanda de áridos crecería hasta los 135 millones de toneladas hacia 2052, equivalente a 6,25 toneladas per cápita. En términos de la demanda acumulada de áridos, en este escenario, se espera que para 2052, ésta alcance los 3.030 millones de toneladas, o bien, las 143,2 toneladas per cápita. Lo anterior, se muestran en los Cuadros 2 y 3.

⁴Encuesta de Expectativas Económicas, septiembre de 2022.

Cuadro 2: Estimación de la demanda de áridos a partir de la demanda de cemento y asfalto, basado en 4 escenarios alternativos de crecimiento del PIB tendencial.

Crecimiento anual del PIB (Supuestos)	Estimación demanda de áridos a partir de dda de cemento y asfalto							
	millones de toneladas				toneladas / per cápita			
	2022	2032	2042	2052	2022	2032	2042	2052
2% anual	67.6	72.3	79.3	87.3	3.41	3.46	3.69	4.04
3% anual	67.7	76.5	87.8	101.2	3.41	3.66	4.09	4.68
4% anual	67.9	80.8	97.1	116.9	3.43	3.86	4.52	5.40
5% anual	68.0	85.2	107.6	135.2	3.43	4.07	5.01	6.25

Cuadro 3: Estimación de la demanda **acumulada** de áridos a partir de la demanda de cemento y asfalto, basado en 4 escenarios alternativos de crecimiento del PIB tendencial.

Crecimiento anual del PIB (Supuestos)	Estimación demanda acumulada de áridos a partir de dda de cemento y asfalto							
	millones de toneladas				toneladas / per cápita			
	2022	2032	2042	2052	2022	2032	2042	2052
2% anual	67.6	762.9	1526.0	2363.4	3.41	36.48	71.03	109.25
3% anual	67.7	787.0	1612.7	2562.6	3.41	38.55	77.36	121.35
4% anual	67.9	812.2	1707.2	2784.2	3.43	39.77	81.84	131.71
5% anual	68.0	838.6	1808.5	3029.7	3.43	41.05	86.64	143.18

6. Conclusiones

En el presente documento se proyectó el consumo de áridos para un horizonte de 30 años, basado en el pronóstico de la demanda de cemento y asfalto. Para ello, se usaron métodos econométricos (Johansen, 1995) que permitieron identificar una relación de largo plazo entre el PIB y la demanda de cemento. La proyección del consumo de asfalto se define por extrapolación lineal con el pronóstico del cemento (expresado en toneladas promedio anual), debido a: (i) la fuerte correlación entre ambas series de tiempo; (ii) La variable de asfalto es corta (2015-2021). Por lo que, no es posible descartar la presencia de correlaciones espurias entre ambas variables (cemento y asfalto). Por ello, las proyecciones deben interpretarse con cautela, ya que estadísticamente no se puede descartar que la relación entre los despachos de cemento y la demanda de asfalto sea únicamente de corto plazo y no de largo plazo.

Con todo, se estima que la demanda de áridos –a partir de la demanda de cemento y asfalto– aumente desde 68 millones de toneladas hasta 87 millones de toneladas en los próximos 30 años. Finalmente, considerando las proyecciones de crecimiento de población del INE para nuestro país, se estima que en 2022, la

demanda de áridos a partir de la demanda de cemento y asfalto, alcance niveles del orden de 3,41 toneladas per cápita, la que crecería hasta las 4,04 toneladas per cápita hacia 2052. Sin embargo, estas predicciones representan la cota inferior de la demanda real, ya que la información disponible para el cálculo de la demanda de áridos no considera las actividades de movimientos de tierra, ni el uso de áridos de construcción en procesos mineros de lixiviación.

Por lo que, se realizó un ejercicio de sensibilidad de las proyecciones de demanda de áridos –considerando, además del escenario base de proyección, tres escenarios alternativos de crecimiento del PIB tendencial (desde 2 % como escenario base, aumentando el crecimiento en 1 % hasta 5 % anual). Con esto, se obtuvo que la demanda de áridos podría crecer hasta 135,2 millones de toneladas hacia 2052 (escenario 3), equivalente a 6,25 toneladas per cápita. En términos de la demanda acumulada de áridos, en este escenario, se espera que para 2052, ésta alcance 3.030 millones de toneladas, o bien, las 143,2 toneladas per cápita.

Finalmente, cabe señalar que el presente estudio se centra en la proyección de demanda de áridos y no en la disponibilidad o situación de su oferta. Por otra parte, si bien se hace una desagregación de la demanda de áridos a nivel regional para 2022, la proyección de demanda para un horizonte de largo plazo se realiza únicamente a nivel nacional, ya que, desafortunadamente, no se dispone de datos oficiales de demanda de cemento y asfalto desagregados por regiones o zonas geográficas del país.

ANEXO: Estrategia de estimación

El cálculo de los parámetros del modelo aquí propuesto, está basado en las pruebas de cointegración de Johansen (1995) y el método de máxima verosimilitud –que entrega los parámetros que maximizan la probabilidad de replicar la muestra. La hipótesis nula es ausencia de cointegración o no existencia de relaciones de largo plazo entre las series de interés. Las pruebas estadísticas de cointegración confirman que ambas variables (cemento y PIB) comparten una tendencia común en su evolución (Figura 8). Para ello, se consideró un modelo de Vectores Autorregresivos (VAR) con tres rezagos (Figura 9), basado en el criterio de Hannan-Quinn (HQ), el criterio de información de Akaike (AIC) y la razón de verosimilitud (LR).

Figura 10: Resumen de la prueba de Johansen

Rank Selection by Test and Deterministic Case

Test Type	Deterministic Case							
	Case 1	Case 2	Case 3 JHJ	Case 3	Case 4 JHJ	Case 4	Case 5 JHJ	Case 5
Trace	1	2	1	1	1	1	1	1
Max-Eigen	1	2	1	1	1	1	1	1

Case 1: No deterministic terms. Case 2: Cointegrating relationship includes a constant. Case 3 (Johansen-Hendry-Juselius): Cointegrating relationship includes a constant. Short-run dynamics include a constant. Case 3: Short-run dynamics include a constant. Case 4 (Johansen-Hendry-Juselius): Cointegrating relationship includes a constant and trend. Short-run dynamics include a constant. Case 4: Cointegrating relationship includes a trend. Short-run dynamics include a constant. Case 5 (Johansen-Hendry-Juselius): Both the cointegrating relationship and short-run dynamics include a constant and trend. Case 5: Short-run dynamics include a constant and trend.

Fuente: CChC.

Si bien la prueba de cointegración de Johansen rechaza la hipótesis de ausencia de cointegración entre el PIB y el consumo de cemento, la prueba no es concluyente respecto de la forma funcional con que se relacionan ambas variables. Por lo que, la selección del mejor modelo está basada en el valor máximo de verosimilitud (Loglikelihood) para la ecuación de cemento de los modelos VEC (vector de corrección de errores). Se optó por esta estrategia de selección porque la variable de interés a proyectar es el cemento. A partir de la Figura 10, se seleccionó el modelo con intercepto tanto en la ecuación de cointegración como en la ecuación de corto plazo (Caso 3 de Johansen-Hendry-Juselius), ya que los valores de verosimilitud no cambian sustancialmente para los Casos 4-5.

Figura 11: Selección del orden de rezagos del modelo VAR

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	128.5990...	NA	0.000259	-2.583653	-2.530899	-2.562315
1	413.4827...	552.3256	8.38e-07	-8.315975	-8.157711	-8.251960
2	424.1617...	20.26837	7.32e-07	-8.452281	-8.188509*	-8.345591
3	431.8073...	14.19887*	6.79e-07*	-8.526680*	-8.157399	-8.377314*
4	431.9688...	0.293459	7.35e-07	-8.448345	-7.973555	-8.256302
5	436.3694...	7.813273	7.30e-07	-8.456520	-7.876221	-8.221801
6	440.1536...	6.564467	7.34e-07	-8.452116	-7.766309	-8.174721
7	442.7374...	4.376491	7.57e-07	-8.423212	-7.631896	-8.103141
8	445.2549...	4.161666	7.82e-07	-8.392958	-7.496133	-8.030211

* indicates lag order selected by the criterion

LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)

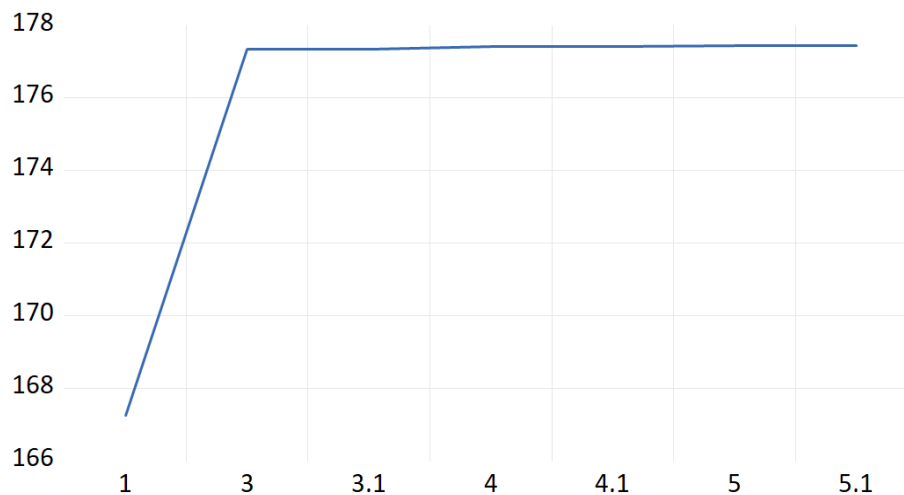
FPE: Final prediction error

AIC: Akaike information criterion

SC: Schwarz information criterion

HQ: Hannan-Quinn information criterion

Figura 12: Valores Loglikelihood de la ecuación de demanda de cemento de los modelos VEC



1: No deterministic terms. 3: Cointegrating relationship includes a constant. Short-run dynamics include a constant. 3.1: Short-run dynamics include a constant. 4: Cointegrating relationship includes a constant and trend. Short-run dynamics include a constant. 4.1: Cointegrating relationship includes a trend. Short-run dynamics include a constant. 5: Both the cointegrating relationship and short-run dynamics include a constant and trend. 5.1: Short-run dynamics include a constant and trend. Fuente: CChC.

El Cuadro 2 muestra la estimación de los coeficientes del modelo VEC. Por lo que, la elasticidad trimestral PIB de la demanda de cemento es 0.46 en el largo plazo. Es decir, por cada punto porcentual de variación anual del PIB, la demanda de cemento aumenta 0.46 % trimestral (1.8 % anual).

Cuadro 4: Estimaciones del vector de corrección de errores: Parámetro de la ecuación de cointegración

Variable	Parámetro	Valor estimado
$\ln(PIB(t - 1))$	$\left(\frac{\partial h}{\partial C}\right)^{-1}$	0.464194*
		(0.03874)
	$\left(\frac{\partial h}{\partial C} \bar{C} - \bar{h}\right)$	9.156354

* Significativo (1 % de significancia). El valor entre paréntesis corresponde al error estándar del parámetro estimado.

Al respecto, cabe mencionar que el resultado completo de la estimación del modelo VEC se encuentra en la Figura 11.

Figura 13: Selección del orden de rezagos del modelo VAR

Vector Error Correction Estimates
Sample (adjusted): 1997Q1 2022Q2
Included observations: 102 after adjustments
Standard errors in () & t-statistics in []
Lags interval (in first differences): 1 to 3
Endogenous variables: LOG(CEMENTO) LOG(PIB)
Deterministic assumptions: Case 3 (Johansen-Hendry-Juselius):
Cointegrating relationship includes a constant. Short-run dynamics include a constant.

Cointegrating Eq:	CointEq1	
LOG(CEMENTO(-1))	1.000000	
LOG(PIB(-1))	-0.464194 (0.03874) [-11.9835]	
C	-9.156354	

Error Correction:	D(LOG(CEM...	D(LOG(PIB))
COINTEQ1	-0.419589 (0.08921) [-4.70328]	-0.058956 (0.03984) [-1.47968]
D(LOG(CEMENTO(-1)))	-0.066167 (0.11015) [-0.60068]	-0.010509 (0.04920) [-0.21362]
D(LOG(CEMENTO(-2)))	0.159927 (0.10891) [1.46843]	0.112681 (0.04864) [2.31656]
D(LOG(CEMENTO(-3)))	-0.009167 (0.10489) [-0.08740]	-0.016704 (0.04684) [-0.35659]
D(LOG(PIB(-1)))	1.128861 (0.26090) [4.32675]	0.051218 (0.11652) [0.43955]
D(LOG(PIB(-2)))	0.437347 (0.28375) [1.54129]	0.010211 (0.12673) [0.08058]
D(LOG(CEMENTO(-3)))	-0.009167 (0.10489) [-0.08740]	-0.016704 (0.04684) [-0.35659]
D(LOG(PIB(-1)))	1.128861 (0.26090) [4.32675]	0.051218 (0.11652) [0.43955]
D(LOG(PIB(-2)))	0.437347 (0.28375) [1.54129]	0.010211 (0.12673) [0.08058]
D(LOG(PIB(-3)))	-0.084202 (0.27980) [-0.30094]	-0.048852 (0.12496) [-0.39093]
C	-0.010354 (0.00631) [-1.64119]	0.008517 (0.00282) [3.02284]

R-squared	0.344931	0.090725
Adj. R-squared	0.296149	0.023013
Sum sq. resids	0.184516	0.036805
S.E. equation	0.044305	0.019788
F-statistic	7.070912	1.339859
Log likelihood	177.3328	259.5495
Akaike AIC	-3.320250	-4.932344
Schwarz SC	-3.114370	-4.726463
Mean dependent	0.003515	0.008943
S.D. dependent	0.052810	0.020019

Determinant resid covariance (dof adj.)	6.12E-07
Determinant resid covariance	5.20E-07
Log likelihood	448.4770
Akaike information criterion	-8.440726
Schwarz criterion	-7.977495
Number of coefficients	18

