SUSTENTABILIDAD EN CONTRUCCIONES PORTUAIRIAS INDICADORES CON BASE EN EL ANÁLISIS DE DURABILIDAD DE LAS OBRAS DE HORMIGÓN

MONTERO, María Cecilia[1], RUMI, Lucia[2], ORTEGA, Néstor Francisco.[3]

[1] Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Bahía Blanca, www.frbb.utn.edu.ar, Ingeniera Civil, e-mail: monteromc@gmail.com
[2] Universidad Nacional del Sur, www.uns.edu.ar, Ingeniera Civil, e-mail: lucia_rumi@hotmail.com
[3] Universidad Nacional del Sur, www.uns.edu.ar, Ingeniero Civil y Doctor en Ingeniería, e-mail: nfortega@criba.edu.ar

RESUMEN

El sector de la construcción ejerce influencia sobre el crecimiento de un país. Numerosos estudios indican que la industria de la construcción es una de las más contaminantes, debido al consumo de energía y a las emisiones de CO_2. Asimismo, consume una parte importante de los recursos no renovables del planeta. El hormigón es el material más empleado y dentro de las obras que se realizan con él, unas de las más importantes son las portuarias. Por estos motivos, resulta imprescindible que se estudie la forma de prevenir y reducir los impactos ambientales negativos que se generan, en todas las etapas del proceso, teniendo en cuenta tanto el período de construcción como la vida útil de la construcción. En este trabajo se presenta una metodología para cuantificar la sustentabilidad de una construcción de hormigón en zonas portuarias, a lo largo de todo su ciclo de vida. La propuesta considera la durabilidad de las estructuras a través de la predicción de patologías, el tipo de hormigón utilizado y las características particulares que afectan a cada elemento estructural. Este modelo permite cuantificar la sustentabilidad con una metodología relativamente simple.

Palabras clave: Sustentabilidad; Vida Útil; Indicadores; Puertos; Hormigón

ABSTRACT.

The construction sector influences the growth of a country. Numerous studies indicate that construction industry is one of the most polluting due to energy consumption and CO_2 emissions. It also consumes a significant portion of the planet's non-renewable resources. Concrete is the most widely used material and in the constructions that are done with it, one of the most important are the port ones. For these reasons, it is essential to study the way to prevent and reduce the negative environmental impacts generated at all stages of the process, considering both the construction period and the service life of the construction. This paper presents a methodology to quantify the sustainability of concrete construction in port areas along the entire life cycle. The proposal considers durability of structures through the prediction of pathologies, the type of concrete used and the specific characteristics affecting each structural element. This model allows quantifying sustainability with a relatively simple methodology.

Keywords: Sustainability, Service Life, Indicators, Ports, Concrete.

INTRODUCCIÓN

La sustentabilidad es un concepto global no restringido al ámbito de la construcción, que requiere que se satisfagan una serie de criterios ambientales, así como otros de carácter económico y social.

El hormigón está compuesto básicamente por áridos gruesos y finos, cemento, aditivos y agua. Es considerado el material de construcción más empleado en la industria y dentro de las obras que se realizan con él, unas de las más importantes, por su volumen, son las portuarias. Estas obras pueden producir importantes afectaciones al ambiente, es así que, en este trabajo, se propone una metodología que emplea indicadores ambientales destinados a evaluar, en forma integral, las condiciones de sustentabilidad de una construcción portuaria, de hormigón. Estos indicadores dependen del cumplimiento de ciertos criterios, varios de ellos están basados en una serie de indicadores ambientales establecidos por la Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE, 2008).

La durabilidad es un factor relevante al momento de evaluar la sustentabilidad de un material. El diseño de las estructuras y la especificación del hormigón de la estructura y sus materiales componentes deben tener en cuenta las acciones del ambiente, los procesos de degradación de los materiales a utilizar y la vida útil en servicio requerida por el comitente. Los requisitos de durabilidad que se tendrán en cuenta son los mínimos requeridos por el reglamento Argentino CIRSOC 201 (2005), que está basado en la Norma ACI 318 (2005).

1. REQUISITOS POR DURABILIDAD

1.1 Proyecto estructural

El Proyecto debe establecer una estrategia de diseño y de mantenimiento que garantice, al finalizar su vida útil, que la estructura posea la seguridad, la aptitud en servicio y las condiciones estéticas exigidas por el Reglamento CIRSOC 201 (2005) y por el Comitente. Dicha estrategia debe estar claramente explicitada en los Documentos del Proyecto.

Los Documentos del Proyecto Estructural deben indicar:

- el tipo de ambiente al que estará expuesto cada elemento que compone la estructura.
- la vida útil de diseño y la estrategia de diseño y mantenimiento.
- la definición del tipo de hormigón a utilizar en los distintos elementos estructurales.

Resulta importante efectuar el diseño con distintos tipos de hormigón para cada elemento estructural, de acuerdo con el tipo de exposición a la que estarán solicitados. De esta manera se optimizan los recursos, favoreciendo la sustentabilidad.

1.1.1 Tipo de ambiente:

La siguiente tabla presenta parcialmente la Tabla 2.1. del CIRSOC 201 (2005), que contiene las especificaciones correspondientes a las clases de exposición generales que producen corrosión de las armaduras, específicas para zona portuaria.

Tabla 1: Clases de exposición generales que producen corrosión de las armaduras

EXPOSICIÓN				
Desig.	**Clase**	**Subclase**	**Tipo de proceso**	**Descripción del medio ambiente**
M1	**Marino**	**Al aire**	Corrosión por cloruros	• A más de 1 Km de la línea de marea alta y contacto eventual con aire saturado de sales.
M2		**Al aire**		• A menos de 1 Km de la línea de marea alta y contacto permanente o frecuente con aire saturado con sales.
		Sumergidos		• Sumergidos en agua de mar, por debajo del nivel mínimo de mareas.
M3		**Sumergidos**		• En la zona de fluctuación de mareas o expuesto a salpicaduras del mar.

Además se presenta la Tabla 2, que fue extractada de la Tabla 2.2. del CIRSOC 201 (2005), donde se muestran las clases de exposición específicas que pueden producir degradación distinta de la corrosión de las armaduras, y que pueden considerarse como tipo de exposición adicionales a las de la tabla anterior.

Tabla 2: Clases específicas de exposición que pueden producir degradación distinta de la corrosión de armaduras.

EXPOSICIÓN			
Desig.	**Clase**	**Subclase**	**Tipo de proceso**
C1	**Congelación y deshielo**	**Sin sales descongelantes**	Ataque por congelación y dehielo
C2		**Con sales descongelantes**	Ataque por congelación y dehielo y por sales descongelantes
Q1	**Ambientes con agresividad química**	**Moderado**	Ataque químico
Q2		**Fuerte**	
Q3		**Muy fuerte**	

1.1.2 Vida Útil:

El período de vida útil adoptado, debe ser justificado, cumpliendo con lo establecido en el Reglamento CIRSOC 201 (2005) como condiciones mínimas, y a través del uso de modelos de predicción de vida útil, todos estos datos deberán ser incluidos en la documentación del Proyecto de diseño Estructural.

Tabla 3: Períodos de Vida Útil

Vida Útil	
50 años	***El CIRSOC 201 contiene exigencias mínimas para lograr una vida útil en servicio de 50 años.*** Dichas exigencias son válidas para estructuras de hormigón expuesto (hormigón a la vista) sin ningún tipo de revestimiento agregado sobre la superficie del elemento estructural.
> 50 años	En los Documentos del Proyecto se deberán especificar las exigencias adicionales, más severas q las establecidas por el CIRSOC 201 (2005), necesarias para lograr la vida útil mayor a 50 años.
< 50 años	Cuando se proyecten estructuras destinadas a explotaciones industriales para una vida útil en servicio menor de 50 años, se podrán utilizar requisitos menos severos que los especificados en el CIRSOC 201 (2005).
A los efectos de cumplimentar lo establecido anteriormente se deberán utilizar ***modelos de predicción*** debidamente justificados para determinar la vida útil en servicio de la estructura sometida a las condiciones de exposición previstas en el Proyecto o Diseño Estructural.	

1.1.3 Tipo de Hormigón

A partir de la clase de exposición, se obtiene el tipo de hormigón a utilizar en cada elemento estructura, de acuerdo con la Tabla 2.5 del CIRSOC 201 (2005). Cada tipo de hormigón es caracterizado a través de su razón agua / cemento (a/c) máxima, su resistencia a compresión y la penetración de agua o succión capilar máxima admitida.

La siguiente tabla resume todos los requisitos mínimos del CIRSOC 201 (2005) a tener en cuenta en el Proyecto Estructural, y los artículos de este reglamento en los que se encuentran.

Tabla 4: Resumen de requisitos mínimos por durabilidad en la etapa de Proyecto Estructural

Requisitos del Proyecto Estructural		**CIRSOC 201(2005)**
En todos los casos	• Máxima ***razón agua/cemento.*** (*)	*(Tabla 2.5)*
	• Mínima ***resistencia.*** (*)	*(Tabla 2.5)*
	• ***Contenido mínimo de cemento.***	*(Art. 5.1.5)*
	• Penetración máxima de agua o absorción capilar máxima.	*(Art. 2.2.11)*
Cuando corresponda	• Contenido mínimo de aire intencionalmente incorporado.	*(Tabla 2.5. y Art. 5.1.2)*
	• Resistencia frente al ataque por sulfatos y otras acciones químicas.	*(Art. 2.2.4 a 2.2.6. y 2.2.10 y Tablas 2.3. y 2.4)*
	• Resistencia frente al ataque por agua de mar.	*(Art .2.2.4 a 2.2.7. y 2.2.10. y Tablas 2.3. y 2.6)*
	• Inhibición de la reacción álcali - sílice.	*(Art. 2.2.9)*
(*) Se deberán adoptar las ***resistencias*** y las ***razones agua/cemento*** más restrictivas de entre las establecidas por durabilidad *(Tabla 2.5)*, por resistencia *(Tabla 2.7)* y por requisitos especiales *(Tabla 2.8).*		

Tabla 4 (Continuación): Resumen de requisitos mínimos por durabilidad en la etapa de Proyecto Estructural

Requisitos del Proyecto Estructural		CIRSOC 201(2005)
Condiciones adicionales	• Respetar los ***recubrimientos*** mínimos de armaduras.	*(Art. 7.7)*
	• Asegurar el control de deformaciones, para evitar que el ***ancho de fisuras*** alcance valores críticos que afecten la durabilidad de las armaduras.	*(Art. 9.5)*
	• Utilizar diseños geométricos que impidan la permanencia de agua sobre los elementos estructurales no sumergidos o enterrados.	
	• Evitar los diseños geométricos con aristas vivas en los elementos estructurales que estarán sometidos a acciones de congelamiento y deshielo o agresividad química fuerte o muy fuerte.	
	• Explicitar, para el período de servicio, un plan de inspecciones sistemáticas destinadas al reconocimiento temprano de daños o indicios de daños y su oportuna reparación.	

1.2 Requisitos de ejecución

Complementando las indicaciones establecidas en los requisitos del Proyecto Estructural, durante la construcción de la estructura se debe cumplir con las siguientes condiciones para asegurar la vida útil en servicio de la estructura:

Tabla 5: Resumen requisitos mínimos por Durabilidad en la etapa de Ejecución

Requisitos de Ejecución	CIRSOC 201(2005)
• Seleccionar los materiales.	*(Capítulo 3)*
• Determinar las proporciones de las mezclas.	*(Art.5.2)*
• Producir y colocar en obra el hormigón en forma adecuada.	*(Art. 5.3 a 5.7)*
• Proteger y curar al hormigón en forma adecuada.	*(Art. 5.10 a 5.13)*

2. METODOLOGÍA

La metodología propuesta se desarrolla con el fin de evaluar los impactos producidos durante la construcción de la obra, subdividiéndolos, para el estudio, en dos tipos:

- Impactos de los materiales y productos básicos empleados en la elaboración del hormigón. Como resultado de este análisis se obtendrá el *Índice de los Productos Básicos (IPB).*
- Impactos adicionales, que están relacionados con el proceso constructivo. Como resultado se tendrá el *Índice del Proceso Constructivo (IPC).*

Finalmente, se ensamblan estos dos tipos de impactos obteniendo un solo índice, llamado *Índice de Sustentabilidad del Hormigón en Obras Portuarias (ISHOP)*:

$$ISHOP = 0{,}5 \cdot IPB + 0{,}5 \cdot IPC \qquad (1)$$
$$0 \leq ISHOP \leq 1$$

2.1 Definición del Índice de Productos Básicos

El *IPB* se basa en el índice *ICES*, correspondiente al método de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE, 2008). Para ello, se tuvo en cuenta el contexto existente en Argentina, tanto las normativas de calidad (ISO 14001, 2004), como los medios y distancias de transporte. En este trabajo se consideró que es uno de los aspectos de mayor importancia para la ponderación de los indicadores, a diferencia de lo que marca la normativa española y se incluyó la consideración de la vida útil de la obra portuaria.

Cabe destacar la importancia del cumplimiento de los requisitos mínimos relacionados con durabilidad exigidos por el Reglamento CIRSOC 201 (2005), en la elaboración del Proyecto Estructural y en la etapa de Ejecución de la obra, enunciados en la Tabla 4 y 5, respectivamente. Se define como "Índice de Productos Básicos" (*IPB*) de una construcción, al resultado de aplicar la siguiente expresión:

$$IPB = b \sum_{i=1}^{n} CCi \cdot Vi \qquad (2)$$

Donde:

- *b:* Coeficiente de contribución por extensión de la vida útil.
- CC_i : Coeficiente compuesto.
- V_i: Coeficientes de valor obtenidos para cada criterio.

2.1.1 Vida útil

La "vida útil" es un concepto directamente asociado a la durabilidad de las estructuras, que tiene importancia en términos de sostenibilidad, por ello se puede decir que cuanto más largo es el periodo de vida útil de una edificación, más rápido se "amortizan" los impactos producidos durante su construcción, de los insumos energéticos y del consumos de recursos materiales asociados (EHE 2008).

Un material de construcción sustentable es aquel que minimiza su impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida. Existen dos aspectos importantes referidos a la energía: la inicial de la construcción y la utilizada durante la vida útil. Para el caso del hormigón, la energía inicial incluye la requerida para la fabricación del cemento, extracción de agregados, elaboración del hormigón, transporte y colocación en obra. En el caso de la energía empleada durante su vida útil, se contempla la necesaria para el mantenimiento, operación, reparación, restauración, o reemplazo de los materiales. Dado que un hormigón durable, requiere muy escaso mantenimiento a lo largo del tiempo, resulta que la energía empleada durante la fase de

utilización del mismo es mínima. Esto justifica la importancia del cumplimiento de los requisitos de durabilidad para alcanzar los máximos estándares de sustentabilidad.

El CIRSOC 201 (2005) contiene exigencias mínimas para lograr una vida útil de 50 años. En caso de considerar un período de vida útil diferente, éste deberá ser justificado a través de modelos de predicción y tomando las medidas adicionales necesarias para garantizar el mismo. A su vez, este valor afectará al coeficiente *b* de contribución por extensión de la vida útil, el cual valora la extensión de la vida útil nominal de la estructura, por encima del valor mínimo especificado.

$$b = 0{,}2439 \cdot t^{0{,}3618} \qquad (3)$$

- *t:* Vida útil realmente contemplada en el proyecto para la estructura.

2.1.2 Coeficiente compuesto

$$CCi = \alpha i \cdot \beta i \cdot \gamma i \qquad (4)$$

- α_i, β_i y γ_i: Coeficientes de ponderación de cada criterio. Se adoptaron los mismos coeficientes que los correspondientes a la norma española (Tabla 1) (EHE 2008).

Tabla 6: Coeficientes de ponderación del *IPB*

COEFICIENTES						
α_i		β_i		γ_i		*CCi*
Productos	0,60	Tipo y optimización de los productos básicos	0,55	Caracterización del hormigón	0,50	0,165
				Caracterización del acero	0,50	0,165
		Preservación de recursos	0,45	Empleo de áridos reciclados	0,33	0,089
				Optimización del cemento	0,50	0,135
				Optimización del hormigón	0.17	0,046
Medidas para reducir los impactos	0,40	Impacto en el entorno humano	0,25	Control de impactos	1,00	0,100
		Impacto en el ambiente	0,75	Gestión de residuos	0,67	0,201
				Gestión del agua	0,33	0,099

2.1.3 Determinación de los valores *Vi* para materiales y productos básicos

En el caso de los materiales y productos básicos para la construcción de la obra, este valor se obtiene a partir de los datos del tipo de material, su cantidad y calidad, distancia y tipo de transporte utilizado, multiplicando la puntuación *(Pi)* correspondiente a cada ítem (Tabla 7).

Tabla 7: Determinación de los valores *Vi* para *IPB*, en materiales y productos básicos

Caracterización del hormigón		$V_1 = P_{11} \cdot P_{12} \cdot P_{13}$		
Tipo de hormigón		Prefabricado	Elaborado en planta externa	Elaborado en planta, en obra
		$P_{11} = 1$	$P_{11} = 0{,}7$	$P_{11} = 0{,}5$
Transporte	**Distancia**	$P_{12} = 1{,}9846\text{x}^{-0{,}67}$ x: distancia de transporte [Km]	$P_{12} = 3{,}158\ \text{x}^{-0{,}67}$ x: distancia de transporte [Km]	$P_{12} = 1$
	Tipo	Tren → $P_{13} = 1$ Camión → $P_{13} = 0{,}7$ Para dist. < 100 Km $P_{13} = 1$	$P_{13} = 1$	$P_{13} = 1$
Caracterización del acero		$V_2 = P_{21} \cdot P_{22} \cdot P_{23}$		
Calidad: Cumple ISO 14000		Si → $P_{21} = 1$	No → $P_{21} = 0{,}7$	
Transporte	**Distancia**	$P_{22} = 19{,}39\ \text{x}^{-0{,}67}$ x: distancia de transporte [Km]		
	Tipo	Tren → $P_{23} = 1$	Camión → $P_{23} = 0{,}7$	
		Para distancias menores a 100 Km, $P_{23} = 1$		
Empleo de áridos reciclados		$V_3 = P_{31} \cdot P_{32} \cdot P_{33} \cdot P_{34}$		
Cantidad: Se permite hasta un 25% de agregados reciclados.		Aridos reciclados/Totales $\leq 25\% \rightarrow P_{31} = 0{,}04\text{x}$ x: Aridos reciclados/Totales, en peso		
Calidad: Cumple con CIRSOC 201, aplicado a un Hormigón con agregados reciclados.		Si → $P_{42} = 1$	No → $P_{42} = 0{,}7$	
Transporte	**Distancia**	$P_{43} = 5{,}8357\ \text{x}^{-0{,}67}$ x: distancia de transporte [Km]		
	Tipo	Tren → $P_{44} = 1$	Camión → $P_{44} = 0{,}7$	
		Para distancias menores a 100 Km, $P_{44} = 1$		
Optimización del cemento		$V_4 = P_{41} \cdot P_{42} \cdot P_{43} \cdot P_{44} \cdot P_{45} \cdot P_{46}$		
Cantidad: *x*: cantidad cemento, en peso, por m^3 de Hormigón [Kg/m^3]		$x \leq 380\ \text{Kg/m}^3 \rightarrow P_{41} = 0{,}0235x - 7{,}7059$ $x > 380\ \text{Kg/m}^3 \rightarrow P_{41} = -0{,}0143x - 6{,}2857$ $0 \leq P_{41} \leq 1$		
Calidad: Cumple ISO 14000		Si → $P_{42} = 1$	No → $P_{42} = 0{,}7$	
Transporte	**Distancia**	$P_{43} = 19{,}39\ \text{x}^{-0{,}67}$ x: distancia de transporte [Km]		
	Tipo	Tren → $P_{44} = 1$	Camión → $P_{44} = 0{,}7$	
		Para distancias menores a 100 Km, $P_{44} = 1$		
Adiciones: Se utilizan cementos que contienen un porcentaje de adiciones:		$> 20\% \rightarrow P_{45} = 1$	$\leq 20\% \rightarrow P_{45} = 0{,}7$	
CO_2: La planta cuenta con alguna certificación o compromiso ambiental para la reducción de CO_2 en el proceso de fabricación.		Si → $P_{46} = 1$	No → $P_{46} = 0{,}7$	

Tabla 7 (Continuación): Determinación de los valores *Vi* para *IPB*, en materiales y productos básicos

Optimización del hormigón		$V_5 = P_{51} \cdot P_{52}$		
Calidad: Cumple ISO 14000		Si → $P_{51} = 1$	No → $P_{51} = 0,7$	
Uso de adiciones: % en peso del cemento	**Cenizas volantes**	12% → $P_{52} = 0,34$	24% → $P_{52} = 0,67$	35% → $P_{52} = 1,00$
	Humo de sílice	4% → $P_{52} = 0,34$	8% → $P_{52} = 0,67$	12% → $P_{52} = 1,00$
En caso de usar otras adiciones, se deberán estudiar las cantidades y sus efectos.				

2.1.4 Determinación de los valores *Vi* en medidas para reducir los impactos

Se evalúa la aplicación o no de determinadas medidas para reducir los impactos, a través de una puntuación (Tabla 8).

Tabla 8: Valores de puntuación para reducir los impactos del *IPB*

Sub-ítem	**Puntuación de respuestas**	
	Positivas	**Negativas**
Control de impactos	0,20	0,00
Gestión de residuos	1,00	0,00
Gestión del agua	0,50	0,00

La sumatoria de las puntuaciones será multiplicada por el coeficiente de ponderación correspondiente a cada sub-ítem, tal como se indica en la Figura 1.

2.1.5 Cálculo del *IPB*

En la Figura 1 se presenta un resumen del método de obtención del índice *IPB*.

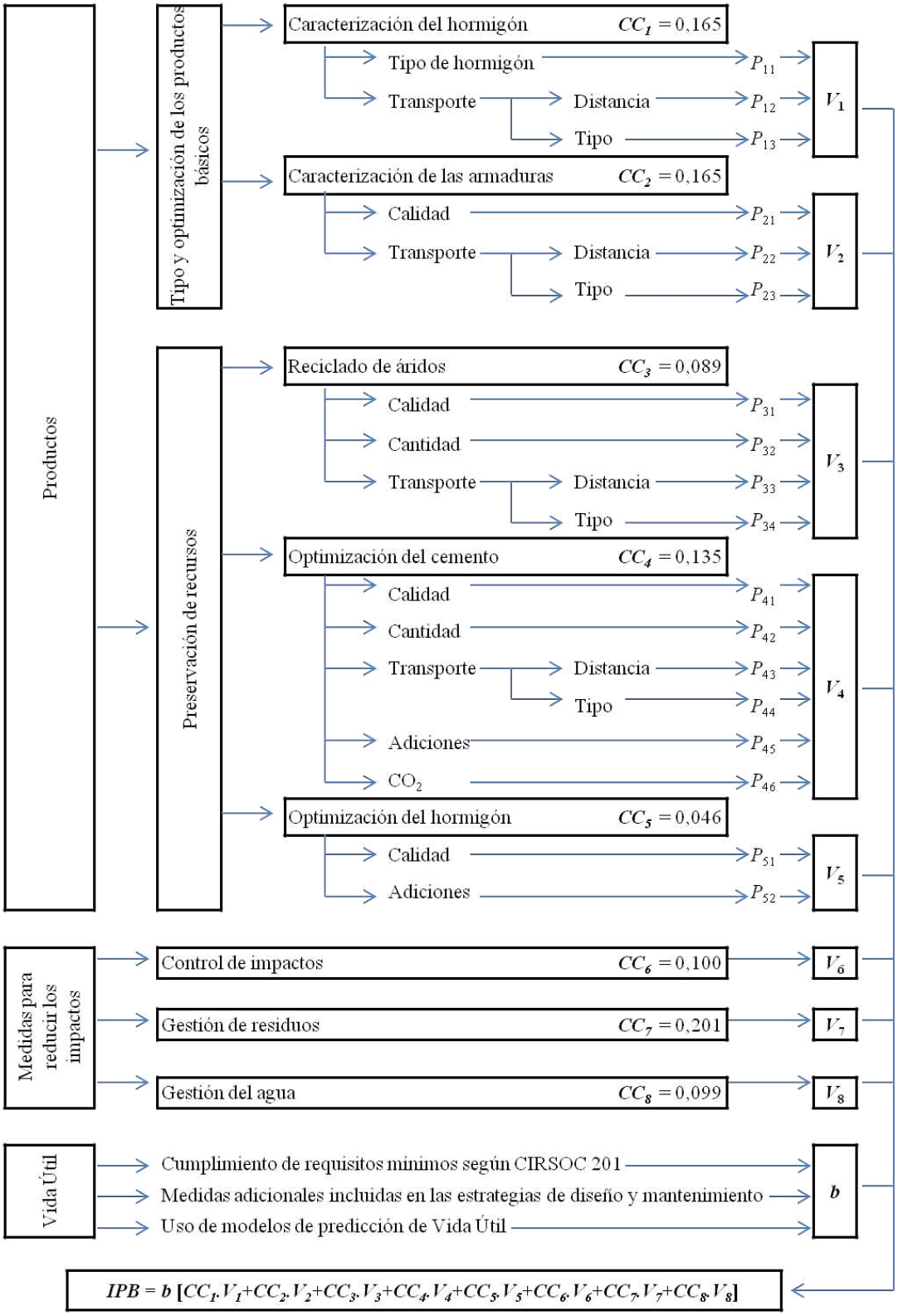

Figura 1: Determinación del *IPB*

2.2 Definición del Índice del Proceso Constructivo

Se define como "Índice del Proceso Constructivo" de una construcción al resultado de aplicar la siguiente expresión:

$$IPC = \sum_{i=1}^{n} Cp \,.\, (1 - {}^{Ii}/_{9}) \qquad (5)$$

dónde:

- *Cp*: Coeficiente de ponderación de cada impacto, tiene en cuenta la importancia relativa de cada impacto estudiado. Estos valores fueron adoptados a partir del estudio de opiniones de expertos, realizado a través de la técnica cualitativa grupo focal o "grupo de discusión" (focus group). La experiencia se realizó en una reunión de un grupo de investigadores expertos en la temática.

Tabla 9: Coeficientes de ponderación para el *IPC*

IMPACTOS			***Cp***
Uso eficiente de la energía	Consumo de energía	Equipamiento móvil	0,04
		Máquinas / Herramientas	0,05
		Calefacción / Enfriamiento de oficinas	0,05
	Iluminación de la obra	Consumo de energía	0,03
		Contaminación lumínica	0,03
	Transporte	De carga	0,05
		De personal	0,03
Gestión de residuos	Hormigón / Acero		0,04
	Obras complementarias	Residuos de demolición	0,05
		Residuos de excavación	0,03
		Instalación del obrador	0,03
	Residuos especiales / peligrosos		0,05
	Residuos sólidos urbanos		0,04
Agua	Consumo del agua	Consumo humano	0,06
		Consumo obras	0,06
	Afectación del agua	Aguas subterráneas	0,06
		Aguas superficiales	0,06
Atmósfera	Ruidos molestos		0,05
	Olores		0,05
	Calidad del aire	Emisiones de gases de efecto invernadero	0,07
		Material particulado	0,07

- I_i: Valor promedio de los impactos producidos sobre el medio físico (*If*), biótico (*Ib*) y antrópico (*Ia*). En el caso de que el impacto no aplique sobre alguno de los medios, simplemente se anulará, promediando los valores restantes.

$$Ii = \frac{If + Ib + Ia}{3} \qquad (6)$$

3.2.1- Determinación de los impactos

Los impactos sobre cada medio se evaluarán sumando las puntuaciones correspondientes a las siguientes categorías (Tabla 10):

Tabla 10: Categorías para la ponderación de los impactos

Categorías	Descripción	Puntuación(*)		
		1	2	3
Intensidad (I)	Según la intensidad con la que actúe sobre el ambiente.	Bajo: Para un impacto cuyo efecto producirá un perjuicio limitado en el sector afectado.	Medio: Para un impacto cuyo efecto producirá una destrucción o desaparición del factor en la zona.	Alto: Para un impacto cuyo efecto implique una destrucción casi total del factor en la zona.
Extensión (E)	Se considera la superficie afectada por el mismo.	Inferior: Para un impacto en una superficie inferior a la extensión de la obra.	Total: Para un impacto en una superficie similar a la extensión de la obra.	Superior: Para un impacto en una superficie superior a la extensión de la obra.
Duración (D)	Tiempo que el impacto o sus efectos permanecen en el ambiente.	Inferior: Para un impacto en un tiempo inferior a la duración de la obra.	Total: Para un impacto en un tiempo similar a la duración de la obra.	Superior: Para un impacto en un tiempo mayor a la duración de la obra.
(*) Se puntuará con cero en el caso de considerar un impacto nulo o despreciable.				

3.2.2- Impactos a evaluar

En la Tabla 11 se presentan los principales impactos considerados, generados durante el proceso constructivo y una breve descripción de los mismos.

Tabla 11: Descripción de los Impactos a analizar

Impacto	Descripción
Uso eficiente de la energía	Conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y el producto final obtenido. Esto se puede lograr a través de la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de gestión y de hábitos culturales de los actores sociales involucrados. (Howland, 1987), (Cepeda Gutiérrez, 2008)
Gestión de residuos	Está relacionado con acciones normativas, operativas, financieras, de planificación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, considerando desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr: beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a la realidad de cada lugar. (Ley 25.916) (Ley 25.831)
Agua	Consumo de agua utilizado en la obra, en las instalaciones complementarias y dentro de las restantes obras que se desarrollen en el puerto. También se pondera la afectación sobre las aguas subterráneas y superficiales. (Dadon, 2009) (Ley 25.688)

Tabla 11(Continuación): Descripción de los Impactos a analizar

Atmósfera	Incidencia en la emisión a la atmósfera de contaminantes que pueden afectar a la salud de las personas expuestas. Entre estos contaminantes se destacan: el material particulado en suspensión presente en las obras y demoliciones, junto con los contaminantes propios de las emisiones del tráfico de vehículos, dentro de la obra y para abastecer a la misma. (Guía ambiental para terminales portuarias, 2009)

3.2.3. Cálculo del IPC: En la Tabla 12 se resume el método de obtención del Índice del Proceso Constructivo (*IPC*), conteniendo la información presentada en todo el ítem 3.2.

Tabla 12: Determinación del *IPC*

INDICE DEL PROCESO CONSTRUCTIVO														
IMPACTOS			***Cp***	**Medio físico**			**Medio biótico**			**Medio antrópico**			**TOTALES**
				I	**D**	**E**	**I**	**D**	**E**	**I**	**D**	**E**	
Uso eficiente de la energía	Consumo de energía	Equipamiento móvil	0,06										
		Máquinas / Herramientas	0,06										
		Calefacción / Enfriamiento de oficinas	0,03										
	Ilumina-ción de la obra	Consumo de energía	0,03										
		Contaminación lumínica	0,02										
	Transporte	De carga	0,06										
		De personal	0,04										
Gestión de residuos	Hormigón / Acero		0,08										
	Obras comple-mentarias	Residuos de demolición	0,06										
		Residuos de excavación	0,04										
		Instalación del obrador	0,03										
	Residuos especiales/peligrosos		0,13										
	Residuos sólidos urbanos		0,06										
Agua	Consumo del agua	Consumo humano	0,02										
		Consumo obras	0,05										
	Afectación del agua	Aguas subterráneas	0,03										
		Aguas superficiales	0,10										
Atmósfera	Ruidos molestos		0,05										
	Olores		0,01										
	Calidad del aire	Emisiones de gases de efecto invernadero	0,02										
		Material particulado	0,02										

INDICE DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

3. Conclusiones

Como se ha podido apreciar en este trabajo, en general, las consideraciones ambientales relacionadas con las obras de hormigón y, en particular, para las obras portuarias, son una importante herramienta que puede contribuir a mejorar la sustentabilidad de las mismas.

Para su elaboración, fue necesario en primer lugar, la caracterización sistémica del espacio bajo análisis. Esta tarea facilitó la posterior identificación de las variables centrales de análisis, que sirvieron de línea de base para la formulación de los indicadores destinados a evaluar y monitorear la sustentabilidad. Se espera que la concreción de estos objetivos posibilite la adopción de estrategias de gestión sustentables, de quienes tienen en su poder, la toma de decisiones que mejoren o mantengan las condiciones de sustentabilidad en zonas portuarias.

La aplicación del índice *ISHOP* permite cuantificar la sustentabilidad de una construcción de hormigón, en este caso portuaria, con una metodología relativamente simple. La propuesta se basa en aplicar un conjunto de indicadores ambientales destinados a evaluar sustentabilidad de este tipo de obras, los que dependerán del cumplimiento de ciertos criterios de sustentabilidad y durabilidad.

En este tema se continuará trabajando, con el fin de verificar el modelo propuesto con distintos casos testigos y así realizar los ajustes necesarios para ampliar la validez del mismo.

4. Bibliografía

Dadon J.R., Manejo Costero República Argentina, Gestión de Espacios Costeros, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires. 2009.

Guía ambiental para terminales portuarias, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible, Ministerio de Transporte. República de Colombia. 2006.

Howland J.J., Ahorro de recursos energéticos en la preparación, transporte y vertido de la mezcla de hormigón. Revista mensual Información a Dirigentes. Cuba, septiembre 1987.

Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08). Ministerio de Fomento. Gobierno de España. 2008.

Ley 25.916 – Gestión integral de los residuos sólidos urbanos, Organismo Provincial para Desarrollo Sostenible de la Prov. de Buenos Aires. 2004.

Ley 25.831 – Régimen de libre acceso a la Información Ambiental, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 2004.

Ley 25.688 – Régimen de Gestión Ambiental de Aguas, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 2002.

Cepeda Gutiérrez M., Mardaras Larrañaga I., Cuantificación energética de la construcción de edificios y el proceso de urbanización. Revista Conarquitectura. 2009.

Norma ISO 14001, Sistemas de Gestión Ambiental Requisitos con orientación a su uso. International Organization for Standarization (ISO). 2004.

CIRSOC 201, Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Reglamento 2005. http://www.inti.gob.ar/cirsoc/201.htm

Norma ACI 318 Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05). 2005.