

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**"Prácticas sostenibles en la construcción de edificaciones"**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presenta el bachiller:

**Estefany Montoya Bardalez**

**Asesor: Dr. Ramzy Kahhat**

Lima, Octubre de 2014

## RESUMEN

El crecimiento económico por el que vive el Perú está impulsando el sector construcción. Mientras las tecnologías y procedimientos utilizados durante la construcción satisfacen las expectativas de producción, el desarrollo no ha ido de la mano con las consideraciones sociales y ambientales involucradas en todo proyecto de ingeniería.

El objetivo de la siguiente tesis de investigación es la de impulsar el concepto de ingeniería sostenible en el sector construcción del país, mediante la propuesta de prácticas sostenibles en la construcción de edificaciones. Estas prácticas se enfocan en introducir la dimensión social, ambiental y económica en todo proyecto de ingeniería.

La metodología utilizada comprende primero la selección del proyecto de edificación: el Centro Comercial San Borja Plaza, gerenciado por Proyecta Ingenieros Civiles S.A.C., así como la observación periódica del proceso de construcción del mismo.

A partir de la observación de los procedimientos constructivos del proyecto y de entrevistas con expertos, se identificaron los recursos y materiales más empleados, los cuales fueron el punto de inicio para la revisión literaria. Dicha investigación incluye temas de sostenibilidad en la construcción, análisis de ciclo de vida de obras civiles, certificaciones ambientales de edificios, entre otros.

Además, se elaboró un cuestionario y se implementó una encuesta no probabilística a los vecinos del proyecto: residenciales y comerciales, con el fin de que la empresa mejore su relación con ellos.

La investigación realizada demostró en primer lugar, que las dimensiones ambientales y sociales no son consideradas para la toma de decisiones; que de lo contrario grandes avances se verían reflejados en el sector construcción. Especialmente incluyendo ambos ámbitos desde las primeras etapas del proyecto, como es su creación y planificación. Por otro lado, no existe el concepto de ciclo de vida y la importancia de la cadena inversa de suministros.

---

Palabras claves: sostenibilidad, medio ambiente, construcción, edificación, social, económico.

**Agradecimiento a Proyecta Ingenieros Civiles S.A.C.**

Y al Dr. Ramzy Kahhat

## INDICE

Índice de Figuras	iv
Índice de Tablas	v
<b>CAPÍTULO 1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 La construcción en el mundo y en el Perú	2
1.2 Comprendiendo la Sostenibilidad: Reflexión	5
<b>CAPÍTULO 2. Metodología</b>	<b>10</b>
2.1 Selección del proyecto de edificación.	10
2.2 Revisión literaria que incluye investigaciones relacionadas a temas de sostenibilidad en la construcción, análisis de ciclo de vida de obras civiles, certificaciones ambientales de edificios, entre otros.	12
2.3 Observación periódica del proceso de construcción del proyecto seleccionado.	13
2.4 Elaboración de cuestionario e implementación de encuesta no probabilística a vecinos residenciales y comerciales.	13
2.5 Propuesta de prácticas sostenibles en la construcción de edificaciones	14
2.6 Significancia de las prácticas sostenibles propuestas en el certificado ambiental de edificios LEED	14
<b>CAPÍTULO 3. Prácticas sostenibles durante la construcción</b>	<b>16</b>
3.1 Ámbito Ambiental	16
• Reciclado de Residuos de Acero	19
• Manejo de neumáticos al final de su vida útil	28
• Reciclado del Agua	33
• Reciclado de Residuos de Madera	37
• Ladrillos ecológicos:	45
• Techos verdes	47
• Reciclaje de Concreto	51
3.2 Prácticas sostenibles aplicadas directamente en la obra:	58
3.2 Ámbito Socioeconómico	66
<b>CAPÍTULO 4 Significancia de las prácticas sostenibles propuestas en el certificado ambiental de edificios LEED</b>	<b>78</b>
<b>CAPÍTULO 5 Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>84</b>
<b>CAPITULO 6 Referencias</b>	<b>88</b>

## INDICE DE FIGURAS

- 1.01 Producto Bruto Interno por Actividad Económica, Periodo 2012-I / 2011-I
- 1.02 Crecimiento del Sector Producción: Junio 2012
- 1.03 Pilares de la sostenibilidad
- 2.01 Master Plan del proyecto
- 3.01 Etapas del Ciclo de Vida.
- 3.02 Fases del ACV.
- 3.03 Estimación histórica de la Tasa de Recuperación para ELT'S.
- 3.04 Porcentaje destinado de acero según área
- 3.05 Demanda de Energía Primaria (MJ) para productos de acero considerando el reciclaje.
- 3.06 Impactos ambientales ocasionados por la producción de acero.
- 3.07 Resultados de los ensayos de flexión
- 3.08 Población mundial y deforestación acumulada, 1800 a 2010.
- 3.09 Límite del sistema para el análisis “de la cuna a la tumba” de la producción de productos estructurales de madera en el noroeste y sureste Pacífico de los Estados Unidos
- 3.10 Emisiones al aire de una ton de revestimiento de madera maciza en estado seco
- 3.11 Esquema del techo verde
- 3.12 Agregado fino colocado en la obra
- 3.13 Señalización del sótano 1 del proyecto
- 3.14 Vista panorámica del proyecto
- 3.15 Cilindros metálicos en la obra
- 3.16 Cuadro informativo de la distribución de cilindros metálicos por colores
- 3.17 Caja Ecológica de la obra
- 3.18 Acopio temporal de residuos de la obra
- 3.19 Aplicaciones de neumáticos desechados en parques recreativos para niños
- 3.20 Acopio temporal de desechos de acero en la obra
- 3.21 Estribos de acero prefabricado
- 3.22 Prelosas no aptas para su colocación
- 3.23 Resultados de la Pregunta 2: ¿Cuántos años tiene cumplido?
- 3.24 Correlación: Género vs. Acceso a la información
- 3.25 Resultados a y b de la Pregunta 8: ¿Mediante qué medio a usted le gustaría recibir dicha información?, ¿con qué frecuencia?
- 3.26 Resultados de la Pregunta 9: A partir del proyecto, ¿cuál de las siguientes alternativas usted clasificaría como molestia y/o impacto ambiental?
- 3.27 Correlación entre la opción escogida por los grupos de personas y la molestia y/o impacto ambiental marcada en la pregunta 9
- 3.28 Correlación: Edad vs Opinión sobre Aspectos Positivos
- 3.29 Resultados de la Pregunta 12: Marque todas las posibles consecuencias positivas que usted considera relevantes.
- 3.30 Resultados de la Pregunta 14: ¿Qué sugerencias le daría a los encargados de la obra para que la ejecución del proyecto genere el mínimo de inconvenientes posible a los vecinos?

## INDICE DE TABLAS

- 3.01 América Latina: Producción de Acero Crudo 2011 (Miles de Toneladas)
- 3.02 Resultado Experimentales sobre el contenido de perlas de acero en mezclas de concreto.
- 3.03 Resultados de Slump y ensayos de compresión
- 3.04 Energía contenida y emisiones de CO<sub>2</sub> de los combustibles.
- 3.05 Consumo de agua estimado para la etapa de operación
- 3.06 Porcentaje de eliminación de metales y otras sustancias obtenido por la depuración por ósmosis inversa
- 3.07 Recuperabilidad de Residuos de Madera
- 3.08 Descripción y tipo de mezcla de cada panel
- 3.09 Comparación de LCIA de un edificio de concreto y otro de acero
- 3.10 Propiedades de las muestras de concreto a los 28 días y 6 meses.

## CAPÍTULO 1. Introducción

A partir de la era del Antropoceno, término utilizado por primera vez por Paul Crutzen (2000), el estilo de vida del hombre cambió, se crea un desequilibrio entre el hombre y el ambiente. El desarrollo de actividades antropogénicas generó una alteración del entorno, que a lo largo de los años se ha visto reflejado en problemas como el cambio climático.

Para que el desarrollo continúe, se requieren materiales, energía, agua, etc.; pero si no se cambia la forma en que los manejamos y se hace un uso consciente de éstos, no se podrá obtener un desarrollo sostenible.

J. Sachs, asesor del Secretario General de las Naciones Unidas, defiende la adopción de nuevos planteamientos y precisa seis sectores que requieren una transformación tecnológica radical para conseguir la sostenibilidad: los bosques, la agricultura, la energía, el transporte, la construcción y la industria (Sachs, Rio+10 2011). Entre los sectores que requieren una transformación radical se encuentra la construcción, que depende de otros sectores como la energía, el transporte y la industria. Por tanto, el impacto que genera la construcción engloba otros procesos que van más allá de la zona de influencia de una obra, debido a la urgencia de materiales para su construcción.

El Perú vive actualmente un boom en la construcción debido al progreso económico en que se encuentra. Por tanto, el objetivo del estudio es proponer prácticas sostenibles para todo el ciclo de vida de un proyecto de edificación, que sean relevantes para la etapa en que nos encontramos, y que se orienten en reducir los impactos ambientales, sociales y económicos que pueda producir el proyecto, ampliando la visión a más allá del perímetro físico de la obra.

De forma general, se busca dar a conocer el concepto de ingeniería sostenible en el sector construcción del país, y que las decisiones que se toman a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto no sean en base al ámbito económico, sino que también se incluya el ámbito social y ambiental.

## 1.1 La construcción en el mundo y en el Perú

Debido al continuo crecimiento de la población y al desarrollo social y económico global, la industria de la construcción debe ir de la mano con las necesidades que se van presentando en el mundo.

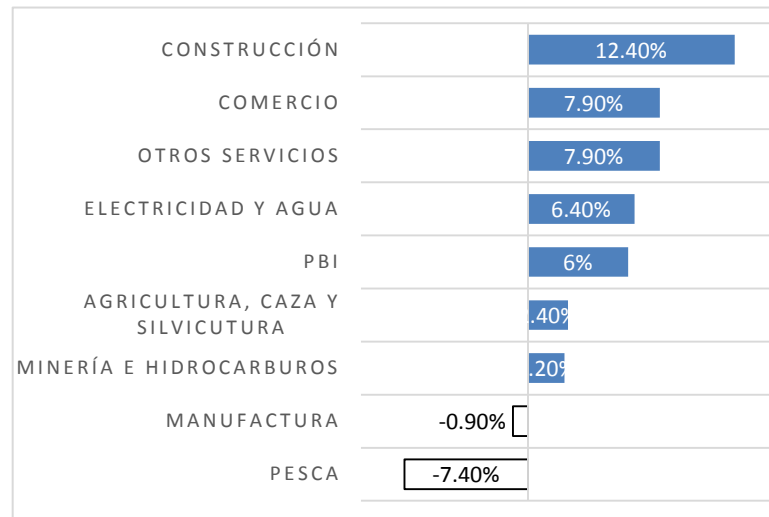
El sector construcción tiene particular importancia en el crecimiento mundial de la economía. Por ejemplo, el informe *“Global Construction 2020”*, se desprende lo siguiente: el volumen previsto de negocios para la industria de la construcción experimentará un crecimiento económico del 67% en la presente década (Pwc, 2011). Dicho crecimiento representa un aumento anual del 5,2% que supera las expectativas del crecimiento anual promedio del PBI mundial durante el mismo lapso de tiempo (Global Construction Perspectives, 2011). Buena parte de ese crecimiento lo potencian China e India, juntos representan el 38% del aumento de actividad esperado (Ver Anexo 1.1)

Además, en el 2020 se espera que la industria de la construcción represente el 13,2% del PBI mundial. Se estima que para el año 2020 los países emergentes representen el 55% de la construcción mundial, frente al 46% en la actualidad. La construcción alcanzará el 16,5% del PBI de los países emergentes en 2020, frente al 14,7% actual. Además, el crecimiento combinado de la construcción en Canadá y Australia será casi igual al crecimiento en todo el mercado de América Latina. (Global Construction Perspectives, 2011)

No sólo la economía es un aspecto influenciado por el sector construcción, también enormes cantidades de materiales y energía están embebidas en el desarrollo de una edificación, aunque los datos estadísticos aún son escasos. En general, se estima que los edificios son responsables de dos quintos del flujo de material y energía globalmente, un sexto de las extracciones de agua dulce y un cuarto del aprovechamiento de la madera (G Augenbroe, et al. 1998). Es importante analizar si lo que se obtiene del avance constructivo tiene mayor relevancia que las consecuencias que se reflejan en el ambiente.



De la misma forma, el Perú no se encuentra ajeno a este desarrollo. El Perú vive un sostenido crecimiento de la industria de la construcción desde fines de los años 90. El sector construcción crece a tasas que superan el 10% anualmente. Desde el 2006 viene creciendo en más del 14% anual, excepto en el 2009 cuando tuvo un declive ocasionado por la crisis financiera internacional. Sin embargo, se recuperó y en el primer trimestre del año 2012 el PBI fue de 12.4%, impulsado principalmente por la autoconstrucción y el creciente desarrollo de los proyectos comerciales (Figura 1.01).



**Figura 1.01:** Producto Bruto Interno por Actividad Económica, Periodo 2012-I / 2011-I

Fuente: INEI- Dirección Nacional de Cuentas Nacionales.

El crecimiento es impulsado principalmente por tres factores. Uno de ellos es el incremento de los ingresos económicos de los hogares, seguido por las facilidades para la adquisición de viviendas y finalmente el incremento en inversión tanto pública como privada destinado a infraestructura.

El aumento en la capacidad adquisitiva de los peruanos brinda la oportunidad a que cada vez más familias tengan más posibilidades de obtener una vivienda propia. Según BCRP en el 2012, en el Perú, el precio de venta promedio/ alquiler anual para el segundo trimestre del año 2011 llegó a 15.4 US\$/m<sup>2</sup>, siendo casi 5% más que el trimestre anterior, lo cual se considera un aumento considerable de un trimestre al siguiente (Ver Anexo 1.2).

Al ser Lima la capital de un país centralizado, la convierte en el foco que refleja éste boom en el sector inmobiliario. El cambio urbano se manifiesta en todos los distritos.

En la zona de Miraflores y Barranco se construyeron gran cantidad de proyectos, muchos de los cuales se hallan ya ocupados y vendidos (BBVA Research, 2012). Al ser mayor la demanda, el precio por metro cuadrado se ha visto incrementado de manera considerable. El distrito que más elevó sus precios a marzo del año 2012 fue Carabaylo, al pasar de US\$ 347 por metro cuadrado a US\$ 850 el metro cuadrado, con un alza de 94.5% respecto a marzo del 2011. Mientras que en provincias como Huaraz, en el centro se ofertan predios entre US\$ 1000 a 2000 por metro cuadrado, siendo este un caso excepcional (BBVA Research, 2012).

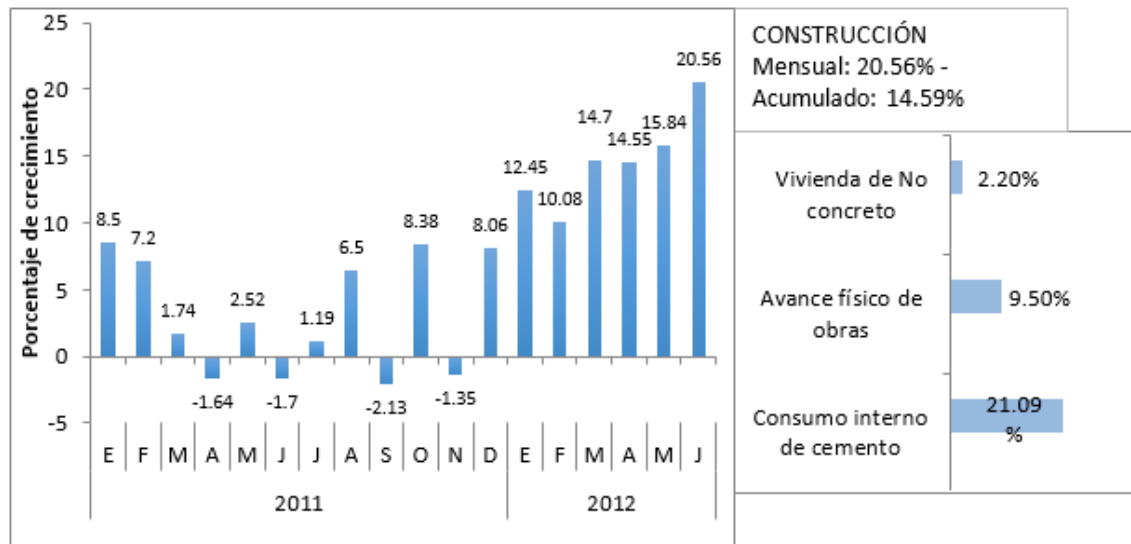
La tendencia es la edificación destinada a los sectores B y C, ubicados principalmente en el cono norte y este de Lima, reflejando el evidente ascenso. Representadas en edificios multifamiliares donde predominan los departamentos de 3 ambientes, los cuales están puestos en ejecución gracias a programas de viviendas populares como Mi Vivienda, Techo Propio, entre otros. No sólo en dichos sectores la demanda no está satisfecha, sino también en otras ciudades como Arequipa, Trujillo, Chiclayo, Piura, Ica, Cajamarca, entre otras, las cuales también son beneficiadas con los programas de viviendas de vivienda pero a menor escala.

Junto con el incremento del poder adquisitivo de las familias, otro factor que impulsa el crecimiento de la construcción son las mejores oportunidades de financiamiento para la compra de viviendas promovidos por el Estado y otras fuentes privadas del sistema financiero, asimismo, la accesibilidad de las tasas de interés y las cuotas de crédito.

La suma de los dos factores descritos anteriormente, el incremento del poder adquisitivo de las familias y las facilidades de adquisición de viviendas, da un resultado natural, como es el de mayores inversiones tanto del sector público como privado. El crecimiento en el sector continuó en el año 2012 por impulso de la inversión pública como parte de un plan de estímulo anticrisis del Gobierno, con una inversión extra de unos 10,000 millones de soles, de los cuales 5,683 millones de soles tienen que ver con proyectos ligados a la construcción. Y también por los proyectos del sector privado que se encuentran en marcha, especialmente en proyectos inmobiliarios.

Los tres factores son dependientes entre sí para que se provoque éste boom en el sector construcción, donde la producción a mediados del año 2012 llegó a 20.56%, en comparación con Junio del 2011, donde fue de 1.19% el porcentaje de crecimiento (Figura 1.02). Y se espera que tanto la mano de obra como los materiales de construcción también incrementen su precio. Según el INEI (2012), hasta Junio del año

2010, el consumo interno de cemento se incrementó un 20% respecto al mismo mes del 2009 (Anexo 1.3). Y según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en el año 2010 ya pasaba las 8,000 toneladas métricas de producción de cemento, cifra que va en aumento en los últimos años y no existe un indicador que advierta que la situación se revertirá en el futuro. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010)



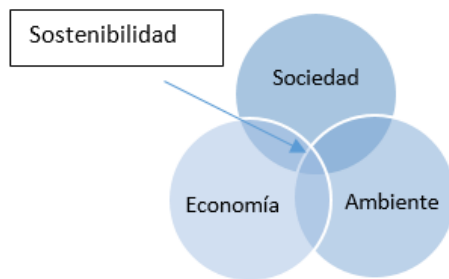
**Figura 1.02:** Crecimiento del Sector Producción: Junio 2012

Fuente: Empresas Productoras de Cemento, MEF y SUNAT, 2012

## 1.2 Comprendiendo la Sostenibilidad

Entre las diversas definiciones, desde la perspectiva de la prosperidad humana, el Informe de Brundtland de 1987, define desarrollo sostenible como la “capacidad de satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades” (ONU, 1987). Por lo tanto, se refiere al equilibrio entre una especie con los recursos de su entorno.

Inicialmente el concepto de desarrollo sostenible tuvo varias influencias, en la actualidad el principal dilema es cómo dirigir el desarrollo actual hacia la sostenibilidad. Por lo tanto, el concepto de sostenibilidad es más amplio que la protección de recursos naturales, incluye la protección de las vidas humanas en el futuro.



Para que exista un desarrollo sostenible, el desempeño de los pilares de sostenibilidad debe ser mutuamente inclusivo: ambiental, social y económico. La ejecución de los tres pilares es el llamado triple resultado (Figura 1.03).

**Figura 1.03:** Pilares de la sostenibilidad. Fuente: Elaboración propia

Estos tres pilares incluyen una serie de disciplinas, lo que proporciona diferentes interpretaciones para su definición e ideas que proponen un camino para llegar a la sostenibilidad. Al ser un concepto multidisciplinario, escoger una declaración clara que proponga un destino específico, donde todos estén de acuerdo, es una decisión difícil de tomar y que concierne a todos los involucrados, todos los seres humanos.

Al profundizar en su concepto, la sostenibilidad, no sólo se refiere al soporte de los sistemas en la Tierra, sino a todos los sistemas, situaciones y contextos, en todas las escalas que impacte. Por lo tanto, la complejidad aumenta a medida que se tiene en cuenta éstas consideraciones al tomar una decisión creída “sostenible”, porque se pueden generar innumerables desenlaces que escapaban de nuestra área de análisis debido a la dificultad de estudiarlos. Tal como explica *The Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. (2003): “La sostenibilidad se estudia y maneja a varios niveles de tiempo y espacio y en muchos contextos de organización económica, social y ambiental. Se enfoca desde la sostenibilidad total del planeta a la sostenibilidad de sectores económicos, países, municipios, barrios, casas individuales; bienes y servicios, ocupaciones, estilos de vida, etc. En resumen puede incluir el total de las actividades humanas y biológicas o partes especializadas de ellas” (Conceptual Framework Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment, 2003).

El estudio de las interacciones dinámicas entre el entorno y la sociedad ha permitido un mayor entendimiento en las últimas décadas, gracias a las ciencias del medio ambiente. Dichas interacciones deben ser analizadas en todas las escalas de tiempo y espacio. A medida que se amplía el alcance del sistema, pasando de una escala local, a una regional y hasta una global; la complejidad aumenta, requiriendo avances en cuanto a la capacidad de abordar ciertas incertidumbres, donde las decisiones tomadas frente a comportamientos, serán irreversibles.

Entre todas las definiciones de sostenibilidad y las diferentes teorías de cómo acercarnos a ella; el desafío se centra en poder saldar las necesidades humanas fundamentales, preservando el soporte vital de los sistemas del planeta. Las preguntas que salen a relucir serían: ¿cuáles serían las necesidades de la presente generación?, ¿cómo se pueden saldar esas necesidades si la tasa de crecimiento de la población continúa en aumento sin ningún control?

El principal desafío que enfrenta la sostenibilidad es el crecimiento exponencial de la población. No sólo las necesidades básicas de distintos países se encuentran aún sin satisfacer, sino que además aumenta el volumen de necesidades demandadas debido a las nuevas personas que llegan al mundo, a lo que se debe agregar los recursos extraídos de forma indiscriminada destinados especialmente para saldar el estilo de vida consumista de millones de personas.

Para llegar a un equilibrio se requiere que las necesidades de todos estén resueltas, con una distribución de recursos cuidando que la tasa de extracción de los mismos sea menor a la tasa de reposición. De modo que se preserve recursos disponibles para las siguientes generaciones.

Por lo tanto, la incógnita es cómo llegar a un equilibrio, si una variable que crece de forma exponencial es la población, en un espacio finito, es decir, haciendo uso de los recursos con los que contamos en la tierra, tanto renovables como no renovables. Por lo tanto, la única variable sujeta a modificación sería el crecimiento poblacional, se tendría que colocar un límite. Si bien, la tasa de extracción de recurso podría disminuir a medida que aumenta la conciencia y disminuye el stock de recursos no renovables, la realidad es que la población continuaría en aumento. A lo que aparece la siguiente interrogante, ¿bajo qué principios se puede tener la potestad de prohibir a una familia a que no tenga o tenga un número determinado de hijos?

Una variable no introducida en la ecuación es la tecnología. ¿Hasta qué punto se puede confiar en los avances tecnológicos para solucionar el problema? Tendría que ser vista como una herramienta que no debe asumir y hacer todo el trabajo “sucio” que el hombre ha venido ocasionando. Se debe tener en cuenta también la complejidad de aplicar las tecnologías, ya que puede generar consecuencias no deseadas debido a las escalas de tiempo y espacio relacionadas.

Existen procesos como el reciclaje de papel, plástico, acero, etc., el tratamiento de agua, y demás procesos que ayudan a los recursos a que sean reintroducidos al ciclo de vida y puedan ser aprovechados, considerando la elevada tasa de extracción de los recursos naturales. Si bien es una herramienta de ayuda, hay que observar que del total que ingresa al proceso, un porcentaje obtenido será desecho. En el reciclaje disminuye la calidad del producto según el número de veces que ha sido procesado, como por ejemplo en los plásticos. Por lo tanto no se logra un producto tal como el que se extrajo.

La siguiente variable que aparece es el problema de las necesidades de un porcentaje de la población que aún no ha sido saldada. Para lo cual se requiere mejores políticas para que las oportunidades lleguen de igual forma a todos y un cambio en la forma de gobernar de los países desarrollados para apoyar a los países en vías de desarrollo. La sostenibilidad no puede ser puntualizada por zonas. O todo el planeta se define sostenible o no, para lo cual se debe ver a la misma como una unidad y no fragmentándola por áreas.

Otra variable es el estilo de vida consumista que sostienen millones de personas alrededor del mundo. Lo cual conlleva a una extracción excesiva de los recursos naturales y a una mayor contaminación debido a los residuos sólidos que se generan continuamente. Por lo tanto se requiere de un cambio en la forma de pensar, para que sean conscientes de los impactos que genera su estilo de vida, paradójicamente con los millones de personas que no pueden saldar sus necesidades básicas.

A pesar de no existir una definición clara de sostenibilidad y de tener muchas interrogantes de cómo alcanzar la sostenibilidad, lo que sí está claro es que cada vez se necesita mayor integración entre las ciencias, lo cual se ve reflejado en muchos esfuerzos de investigación de instituciones. (Kates, et al. 2007) Y a pesar de que existan diferentes interpretaciones de sostenibilidad, estos principios deberían enfocarse en alcanzar programas, políticas y proyectos que nos ayuden a comprender mejor la sostenibilidad (Söderbaum, 2006) donde se trabaje conjuntamente con los grupos de interés involucrados.

Se deberá combinar los distintos conocimientos y aprendizajes para que los actores sociales involucrados con distintos intereses puedan ser parte del cambio a pesar de la incertidumbre y la información limitada. De modo que se reconozca los diversos puntos

de vista, en el que los stakeholders y científicos interactúen para definir inquietudes, haya una retroalimentación y se lleguen a soluciones sostenibles.

Una considerable respuesta a este desafío ha surgido de la comunidad científica a partir de varios programas mundiales y regionales de investigación ambiental, también desde redes de científicos y académicos independientes. Los esfuerzos han permitido que se lleguen a conclusiones valiosas, y el reconocimiento cada vez mayor en muchas disciplinas nos permite agregar que se requiere integración entre las mismas para poder acercarnos a la sostenibilidad. Pero es urgente ir más allá de estos avances para dar forma a una mejor comprensión de la interdependencia entre el sistema naturaleza y sociedad.

Finalmente, entre las diferentes asociaciones, sistemas de escala y consideraciones, el significado de sostenibilidad tiene diferentes interpretaciones y métodos que buscan llegar a alcanzarlo. Hoy en día, pensar en un desarrollo sostenible está muy alejado de nuestro alcance, si no se tiene en cuenta la complejidad de los sistemas, la visión de escalas, la integración de las diferentes ciencias y el principal problema: el crecimiento exponencial de la población. Se requiere de un cambio pronto, ya que los impactos producidos están en aumento y con el tiempo que transcurre aumenta la complejidad.

## CAPÍTULO 2. Metodología

La construcción de un proyecto de edificación implica un comportamiento dinámico debido al uso considerable de recursos, empleo de mano de obra y profesionales; y generación de residuos sólidos, entre otros. El análisis de su comportamiento presenta una serie de dificultades debido a la complejidad de los elementos y la interacción que existe entre ellos. De esta manera, se busca proponer prácticas sostenibles que permitan disminuir los impactos negativos ocasionados no sólo al ambiente sino a la comunidad, y que la empresa se vea beneficiada también con éstas prácticas. Es por eso que se escogieron las siguientes etapas metodológicas para proponer dichas prácticas sostenibles.

- Selección del proyecto de edificación
- Revisión literaria
- Observación periódica y entrevistas no estructuradas durante el proceso de construcción del proyecto seleccionado.
- Elaboración de cuestionario e implementación de encuesta no probabilística a vecinos residenciales y comerciales.
- Propuesta de prácticas sostenibles en la construcción de edificaciones
- Significancia de las prácticas sostenibles propuestas en el certificado ambiental de edificios LEED

### 2.1 Selección del proyecto de edificación.

El proyecto base para la propuesta de prácticas sostenibles es el Centro Comercial San Borja Plaza, gerenciado por Proyecta Ingenieros Civiles S.A.C. Está ubicado en un lote de cuatro frentes, uno hacia la Av. Javier Prado, otro hacia la Calle Morelli, el tercero hacia la calle Carpaccio y el último hacia la calle Ucello, en la Urb. San Borja I Etapa – 9no Sector, distrito de San Borja, provincia y departamento de Lima. Se desarrolló en un terreno de 21,832.00 m<sup>2</sup>, con un área construida de 162,602.00 m<sup>2</sup> y una duración de 18 meses para su construcción. (Klepel Consulting S.A.C., 2011)

Por tanto, el objetivo del estudio es proponer prácticas sostenibles para todo el ciclo de vida del proyecto de edificación, el centro comercial San Borja Plaza, que sean relevantes para la etapa del boom en el sector construcción en el que se encuentra el



Perú. Y que se orienten en reducir los impactos ambientales, sociales y económicos que pueda producir el proyecto, ampliando la visión a más allá del perímetro de la obra.

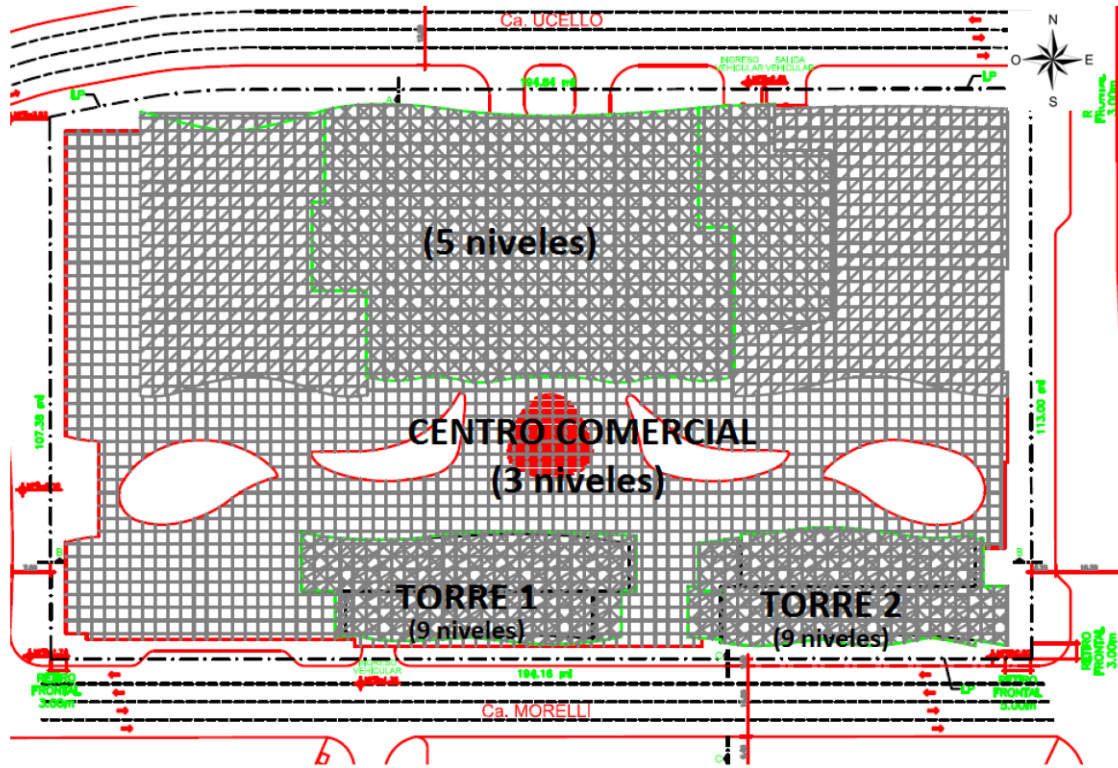
De forma general, se busca dar a conocer el concepto de ingeniería sostenible en el sector construcción del país. Y que las decisiones que se toman a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto no sean en base al ámbito económico, sino que también se incluya el ámbito social y ambiental.

Las etapas comprendidas para la realización del proyecto fueron: demolición del centro comercial existente en el terreno, el movimiento de tierras, la construcción y operación del Centro Comercial por un periodo aproximado de 50 años de vida útil. Dichas etapas producen impactos tanto positivos como negativos en el entorno y en la sociedad, por lo tanto se procura abarcar los efectos más relevantes durante su creación.

El proyecto clasificado como Comercio Zonal, encuentra a sus alrededores mayormente edificaciones comerciales, de oficinas y servicios. Fue gerenciado por la empresa Proyecta Ingenieros Civiles S.A.C. y diseñado por el estudio de arquitectura Arquitectónica.

El proyecto en estudio considera la construcción de un centro comercial que comprende un semisótano y cuatro sótanos destinados a estacionamiento, además de un área comercial desarrollada en cinco niveles, en la quinta se ubican las salas de proyecciones de cines; y finalmente dos torres de oficinas desarrolladas en nueve niveles (Figura 2.01).

Por otro lado, la distribución del centro comercial presenta dos tiendas principales, así como con tiendas menores; contará con un patio de comida y restaurantes dúplex alrededor del centro comercial. En el tercer nivel se ubica las salas de cine, siendo salas de doble altura en el cuarto nivel. Cada una de las torres de oficinas cuenta con un lobby de ingreso y un hall de ascensores y escaleras, donde en el segundo nivel se encuentra un salón destinado a usos múltiples con servicios higiénicos y desde el tercer nivel hasta el noveno se distribuyen las oficinas



**Figura 2.01:** Master Plan del proyecto

Fuente: Proyecta Ingenieros Civiles S.A.C. 2011

Modificado por: Klepel Consulting S.A.C. 2011

## 2.2 Revisión literaria.

Se realizó una revisión literaria de publicaciones en revistas científicas indizados y reportes de instituciones prestigiosas como el Instituto de Investigación de Materiales Sostenibles, Athena; por el World Business Council for Sustainable Development. Las investigaciones fueron realizadas por diferentes profesionales en diferentes tiempos principalmente desde los años 90's a la actualidad.

Además se analizó el Estudio de Impacto Ambiental realizado por Klepel Consulting S.A.C. donde se obtuvieron algunas conclusiones. Y finalmente se investigó acerca de las certificaciones ambientales más reconocidas, entre ellas LEED.

Cabe señalar que los conocimientos adquiridos por dicha información sirvieron no sólo para aprender acerca de diferentes procesos innovadores sino también de una toma de conciencia acerca de la realidad en el manejo de residuos y recursos en nuestro país.

### 2.3 Observación periódica y entrevistas no estructuradas durante el proceso de construcción del proyecto seleccionado.

El trabajo de observación periódica del proyecto se hizo a partir del mes de marzo del 2012, la obra se encontraba en la construcción del segundo nivel del sótano, por lo tanto no se pudo apreciar la demolición y movimiento de tierras del proyecto. La observación del mismo tuvo una duración aproximada de 7 meses, hasta el mes de Setiembre. La duración total de construcción del centro comercial fue de 18 meses.

La observación periódica del proyecto tuvo como finalidad identificar los procesos constructivos que puedan optimizarse en cuanto a la generación de residuos y/o reducir el volumen de materiales empleados en la obra. Las ideas fueron complementadas con entrevistas con el personal del proyecto, gracias a su experiencia y opiniones. Dichos recursos y procedimientos observados fueron el punto de inicio para realizar una búsqueda en línea, consiguiendo así más información y ampliando los temas a medida que se recopilaba mayor información de forma virtual.

### 2.4 Elaboración de cuestionario e implementación de encuesta no probabilística a vecinos del proyecto: residenciales y comerciales.

El muestreo no probabilístico, conocido también como muestreo de modelos, se caracteriza por tener muestras que no son representativas por el tipo de selección, son informales o arbitrarias y se apoyan en supuestos generales sobre la distribución de las variables de la población (Pimienta, 2000).

Entre los diferentes tipos de muestreo poblacional, el realizado en ésta investigación es el conocido como muestreo casual o fortuito, donde las muestras se integran por voluntarios o unidades muestrales que se obtienen en forma casual (Pimienta, 2000). Las personas encuestadas fueron abordadas aleatoriamente en los alrededores de la obra. Si el encuestado podía clasificarse en alguna opción de la primera pregunta se proseguía con la encuesta, y de lo contrario se terminaba con la misma. (Anexo 3.14)

Se realizaron 150 encuestas distribuidas en tres grupos: vecinos residenciales, vecinos comerciales y trabajadores de la zona. Se procuró que exista un equilibrio en cantidad de encuestados entre los tres grupos para que los resultados reflejen las opiniones de todos los afectados por el proyecto del Centro Comercial.

Luego de recopilar los datos y las opiniones en las encuestas se procedió a analizar los resultados en gráficos correspondientes para cada pregunta. Además se hicieron correlaciones entre preguntas, como por ejemplo la clasificación de grupos de personas y entre la opción escogida de mayor impacto y/o molestia por la construcción del Centro Comercial. Se procura mostrar y analizar las opciones más incidentes para poder brindar las conclusiones y prácticas sostenibles que salden las principales quejas de los involucrados de la zona.

## 2.5 Propuesta de prácticas sostenibles en la construcción de edificaciones.

Gracias a la búsqueda literaria, la observación continua, entrevistas a profesionales y encuesta realizada, se propone prácticas sostenibles que puedan ser implementadas en futuras edificaciones, teniendo en cuenta que requieren mayor profundización y tecnología disponible principalmente en otros países, pero que con dedicación podrían aplicarse en el país. Si bien, algunas de las prácticas propuestas están fuera de la aplicación directa por la empresa Proyecta, se busca que comprometan a las demás empresas que trabajan con ellos para que en conjunto se pueda llegar a los objetivos trazados.

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta que permite calcular los impactos de un producto desde la extracción de los recursos hasta su fin de vida. Se pretende ampliar la perspectiva de los impactos que producen los productos utilizados en la construcción de edificaciones. Por tanto, dependiendo del recurso empleado, se incluye los resultados de estudios de ACV, y explicar cómo el análisis de dichos resultados puede ayudar a tomar decisiones que disminuyan el impacto ambiental del recurso.

## 2.6 Significancia de las prácticas sostenibles propuestas en el certificado ambiental de edificios LEED

Finalmente, debido a que la investigación realizada fue enfocada en obtener prácticas sostenibles, dichas prácticas son comparadas con los requisitos para obtener puntaje en una certificación LEED en el rubro de Nuevas Construcciones y Grandes Renovaciones. La principal ventaja de la certificación es la de brindar reconocimiento a

la empresa por la comunidad y si bien llevar a cabo dichas prácticas implica un costo, debe verse como una inversión que será rentable en el futuro.

Además, de comparar los requisitos para obtener puntaje con las prácticas sostenibles, el objetivo del capítulo es de reconocer las limitaciones que posee la certificación LEED en comparación con el concepto de sostenibilidad, para un contexto como el Perú.

## **CAPÍTULO 3. Prácticas sostenibles durante la construcción**

El presente capítulo tiene como objetivo comprender la sostenibilidad mediante prácticas propuestas, a partir de la metodología explicada. Las prácticas buscan abarcar los tres pilares de la sostenibilidad: ambiental, social y económico. Dichas prácticas proponen su aplicación en diferentes tipos de proyecto, sin limitarse a ser implementados en los de Edificación.

### 3.1 Ámbito Ambiental

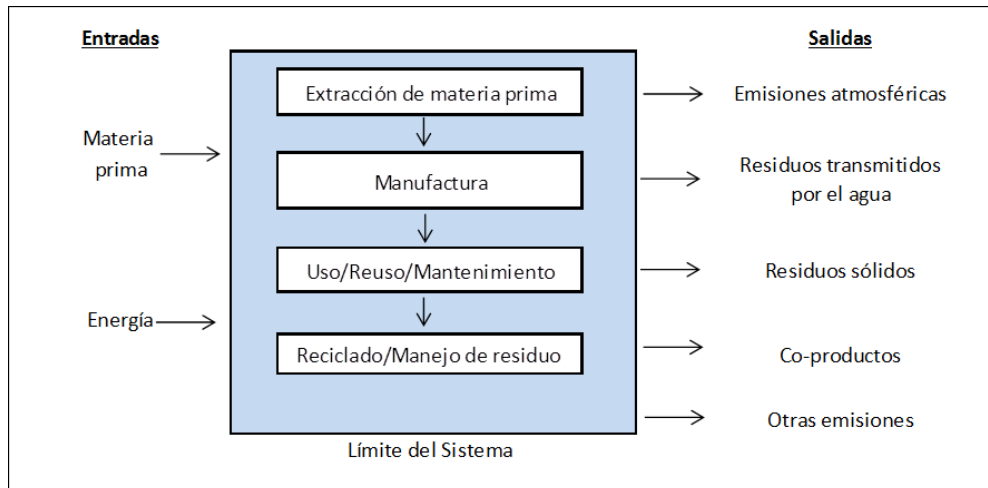
El pilar de la sostenibilidad más investigado es el ambiental. La sostenibilidad en éste ámbito se refiere al objetivo de que se mantengan las propiedades biológicas de los ecosistemas que son fundamentales para que perduren. Buscando el equilibrio entre la especie humana con los recursos de su entorno, mediante una explotación de recursos por debajo del límite de renovación del mismo.

A medida que incrementa la conciencia sobre el entorno, las industrias y negocios están evaluando cómo sus actividades y procesos afectan el medio ambiente. La sociedad ha comenzado a preocuparse por los problemas de agotamiento de los recursos naturales y la degradación del medio ambiente.

Muchas empresas han visto la conveniencia de explorar formas de avanzar más allá de cumplimiento de las estrategias de prevención de la contaminación y de los sistemas de gestión ambiental para mejorar su desempeño ambiental.

Una de estas herramientas es el Análisis de Ciclo de Vida. Según la Norma ISO 14040, es una técnica para la evaluación sistemática de los aspectos e impactos ambientales asociados a un producto en todas las etapas de su ciclo de vida, desde la adquisición de la materia prima, producción, uso y disposición final. Por eso es llamada una evaluación “de la cuna a la tumba”, en la que se incluyen las típicas mediciones de entrada/salida (Figura 3.01) (ISO, 2006). También te permite definir el alcance de estudio “de la cuna a la puerta” para analizar el producto desde la extracción de la materia prima hasta que sale de la fábrica de manufactura.

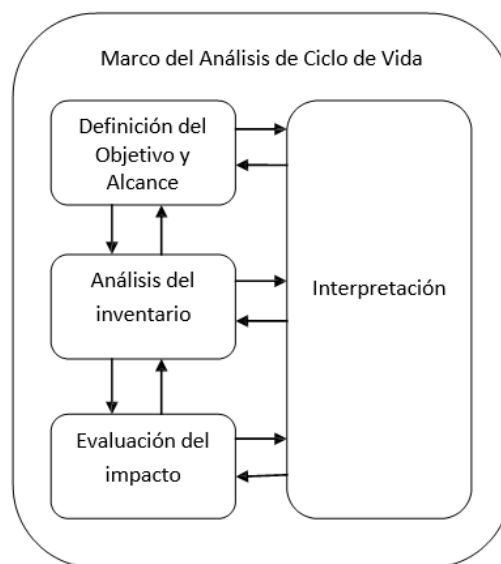
Todas las etapas son interdependientes, lo que significa que una operación da lugar a la siguiente. Para propósitos de ésta investigación, el producto es el proyecto de edificación, el Centro Comercial San Borja Plaza.



**Figura 3.01:** Etapas del Ciclo de Vida.

Fuente: Adaptado de U.S. Environmental Protection Agency, 2006

La metodología del ACV es un enfoque sistemático, gradual y que consta de cuatro etapas (Figura 3.02). Primero se debe definir desde el inicio el objetivo y el alcance del estudio. Definir los límites es una decisión fundamental, ya que lo esencial es incluir los principales procesos que generen impactos al medio ambiente. Si bien, en la herramienta se pueden incluir todos los procesos involucrados en el ciclo de vida de producto, se haría prolongado su ejecución y análisis.



**Figura 3.02.:** Fases del ACV

Fuente: ISO, 2006.

La siguiente fase LCI consiste en generar una lista cuantificada de los recursos consumidos y las emisiones durante el ciclo de vida del producto y servicio. De ésta etapa depende la confiabilidad de los resultados, ya que deben ser obtenidos de una fuente confiable.

En la etapa de Análisis del impacto se asignan los datos procedentes del inventario a las diferentes categorías de impacto. Mediante diferentes métodos de evaluación de impactos, por un lado se tiene la opción de estudiar el daño ambiental, “endpoint”, o estudiar los impactos ambientales, “midpoints”.

Finalmente, en la etapa de Interpretación se realiza el análisis y se elabora las conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones relacionado al objetivo y alcance del estudio.

### 3.3. Prácticas sostenibles propuestas desde el ámbito ambiental

El ciclo de vida una edificación está dividida en tres etapas, cada una genera impactos ambientales en diferente tiempo y dimensión. La etapa de pre uso se refiere a todas las actividades previas a la operación del proyecto, como la extracción de recursos, fabricación de la materia prima, el transporte y la construcción del Centro Comercial.

La etapa de operación es la que mayor impacto negativo ocasiona al ambiente, debido a la duración de la etapa, que depende del tiempo de vida de las edificaciones, en este caso del centro comercial 50 años de vida útil. Razón por la que se suele encontrar una diversidad de productos “amigables” con el ambiente como por ejemplo la iluminación led.

La etapa final se da luego que la infraestructura, en este caso el centro comercial, ha cumplido su vida útil, ya sea por el tiempo para la que fue diseñada o porque se desea demolerla para construir un nuevo proyecto. Ésta etapa ocasiona impactos en el medio ambiente, pero en menor magnitud que la etapa de operación. Siendo el principal problema los residuos, especialmente de concreto, que genera la demolición y que terminan en vertederos ilegales.



A continuación, se propone prácticas sostenibles desde el ámbito ambiental de la edificación en cuestión, teniendo en cuenta las tres etapas del ciclo de vida del proyecto.

- **Uso de acero reciclado**

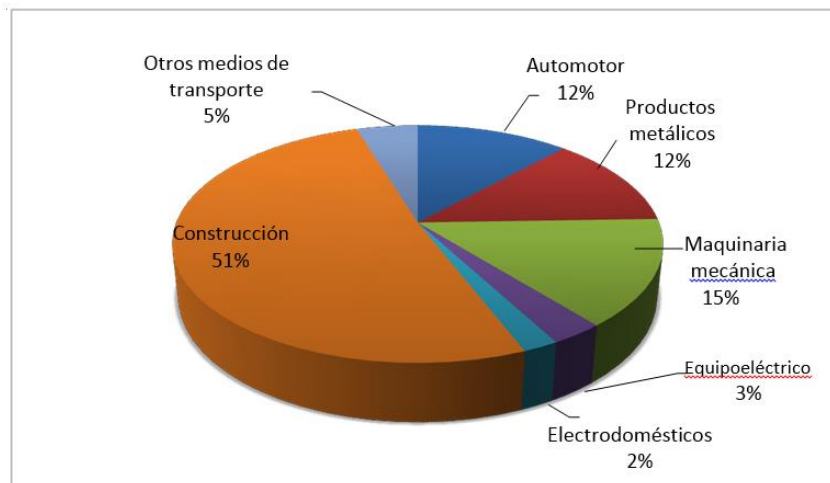
Hoy en día, la producción de acero es uno de los sectores más dinámicos de la industria de fabricación en todo el mundo. Según The World Steel Association (2012), la producción de acero para el año 2011 a nivel mundial fue de 1 518 millones de Toneladas (Anexo 3.1). Mientras que el Perú se encontró en el puesto 7 en el Ranking de Producción de Acero Crudo a nivel Latinoamérica en el año 2011, con una producción de 925 mil Ton (Tabla 3.01).

**Tabla 3.01:** América Latina: Producción de Acero Crudo 2011 (Miles de Toneladas)

	<b>País</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
<b>1</b>	Brasil	32,928	35,162
<b>2</b>	México	16,870	18,145
<b>3</b>	Argentina	5,138	5,655
<b>4</b>	Venezuela	2,207	3,070
<b>5</b>	Chile	1,011	1,620
<b>6</b>	Colombia	1,213	1,290
<b>7</b>	<b>Perú</b>	<b>880</b>	<b>925</b>
<b>8</b>	Ecuador	372	525
<b>9</b>	Guatemala	274	445
<b>10</b>	Cuba	278	290
<b>11</b>	El Salvador	64	100
<b>12</b>	Uruguay	65	80
<b>13</b>	Paraguay	59	30

Fuente: World Steel Association, 2012

En el proceso de fabricación del acero, una serie de residuos se generan en las fábricas. Aproximadamente, una tonelada de desecho se produce cuando se fabrica tres toneladas de acero. No es sólo una crisis de cantidad, sino también debido a las sustancias tóxicas generadas, como el plomo, cromo, cadmio, níquel. (WBCSD, 2012).



**Figura 3.04:** Porcentaje destinado de acero según área

Fuente: World Steel Association, 2012

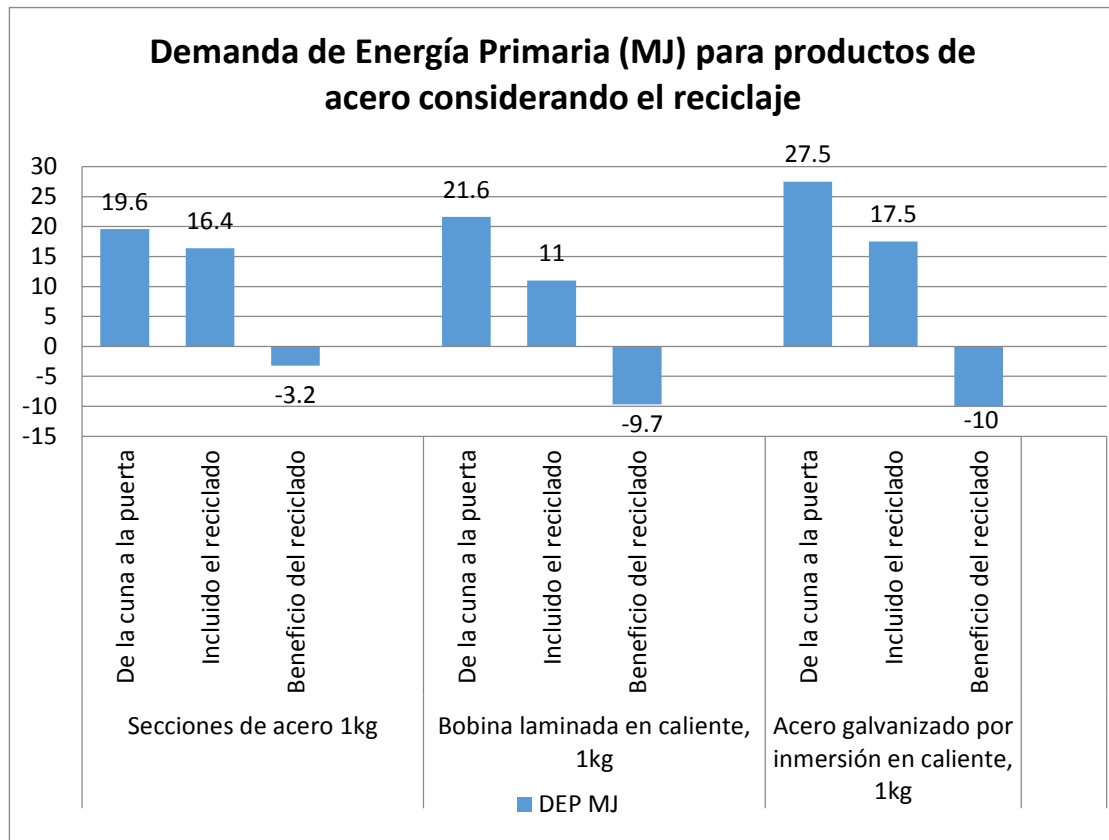
Según Worldsteel Association (2012), de todos los productos fabricados a partir de acero, el 51.2% es destinado a la industria de la Construcción, lo que nos recalca la importancia de su recuperación al finalizar su vida útil, mediante aplicaciones alternas. (Figura 3.04)

Los límites del sistema para el Inventario de productos de acero incluirán las actividades de las fábricas de acero, la producción y transporte de entradas de materias primas, fuentes de energía y otros insumos como combustible, oxígeno, nitrógeno, etc.

El World Steel Association (2012) realizó un estudio de ACV a tres productos típicos, pero con diferentes requisitos de producción y usos. La bobina laminada en caliente es generalmente procesada en productos acabados por los fabricantes y pueden ser utilizados en el transporte, la construcción, tuberías, etc. El acero galvanizado por inmersión es, generalmente, una bobina laminada en caliente que ya ha sido elaborada y tiene una capa fina de zinc para proporcionar resistencia a la corrosión. Mientras que las secciones de acero se hacen con un laminador en caliente e incluye vigas I, vigas doble T. (Anexo 3.2)

Si nos enfocamos en las secciones de vigas de acero y las barras de acero, que son las que se observaron durante la construcción de la obra, se puede concluir que las

de acero galvanizado requieren mayor demanda de energía primaria en los casos “de la cuna a la puerta” y desde la extracción de la materia prima hasta el reciclado, que las secciones de acero. Lo mismo sucede con las emisiones, por lo tanto tiene mayor potencial de calentamiento global (Figura 3.05).



**Figura 3.05:** Demanda de Energía Primaria (MJ) para productos de acero considerando el reciclaje.

Fuente: Adaptado de World Steel Association, 2011.

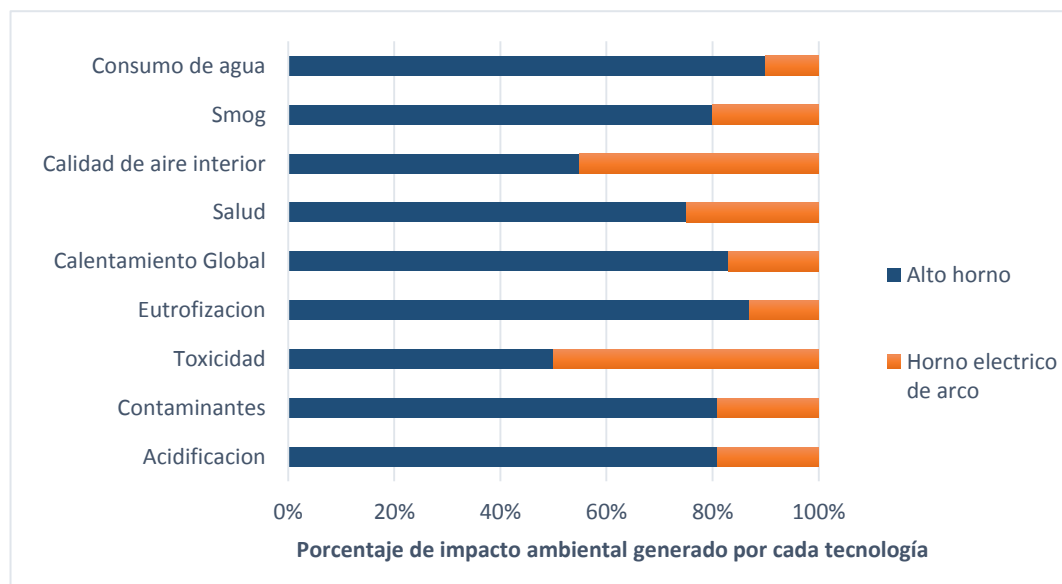
La estructura del Centro Comercial fue construida de concreto armado, es decir concreto que en su interior cuenta con barras de acero corrugado como refuerzo a las cargas de tracción que sufre la edificación. La cantidad de barras de acero corrugado fue de 6,000 ton (Klepel Consulting S.A.C., 2011), sin cuantificar el encofrado metálico utilizado para el encofrado de los elementos. Vale decir que, el volumen de acero necesario para la construcción del Centro Comercial fue considerable y de tal manera es considerado dentro de las prácticas sostenibles propuestas.

Dentro de la obra, la incidencia del acero en comparación con la de la madera, es

mucho mayor. Evidentemente el uso de acero corrugado no puede ser reemplazado en su totalidad por otro recurso, pero se podría optimizar su uso en la obra. En el caso de encofrados, se puede dar más prioridad a la madera. Especialmente en elementos que no requieran un diseño particular.

Una limitante es que las empresas que alquilan el encofrado, principalmente lo hacen de acero. Lo cual guarda relación con el tiempo de vida que tiene el encofrado de acero en comparación con el de madera, siendo éste último, de menor tiempo debido al desgaste en el número de usos. Por tanto, se debería alternar las planchas metálicas la mayor cantidad de veces que sea posible para disminuir el volumen de encofrado metálico que requiere la obra, reduciendo los costos y el impacto ambiental.

En cuanto a su producción, hoy en día el acero se realiza mediante dos métodos, el primero, a partir de materias primas, en el alto horno continuando en general con la acería con convertidores al oxígeno; y el segundo, a partir de chatarra en el horno eléctrico de arco. Un aproximado del 60% del acero producido actualmente se fabrica mediante el primero, conocido también como ruta del proceso integrado. En dicha ruta se utiliza entre 25 a 35% de acero reciclado, mientras que en el horno eléctrico de arco, es de 95% aproximadamente (Gervásio, 2009).



**Figura 3.06:** Impactos ambientales ocasionados por la producción de acero. Fuente: Informe de Sustentabilidad de la Industria Siderúrgica Mundial, 2008.

Entre los impactos ambientales ocasionados por la producción de una tonelada de acero, de acuerdo a los dos métodos descritos anteriormente, los más resaltantes son el consumo de agua, la eutrofización, los contaminantes generados. Comparando los impactos ambientales en términos porcentuales, se concluye que el horno eléctrico de arco es más “amigable” con el entorno que el alto horno (Figura 3.06).

Entre las aplicaciones más empleadas en nuestro país se encuentra el denominado “chatarreo”, donde recicladores recopilan residuos de acero para entregarlos a las fábricas como Aceros Arequipa. Procedimiento que debería ser impulsado para promover el reciclaje del acero.

Además de promover un método para reciclar el acero, otra práctica sostenible propuesta es el “Uso de perlas de acero provenientes de neumáticos desechados en concreto con cemento tipo Portland”, investigación realizada por Papakonstantinou y Tobolski (2006).

Un subproducto de los neumáticos son las perlas de acero, las cuales pueden agregarse en la mezcla de concreto. Las perlas de los neumáticos para pasajeros son hechas de alambres de acero de alta resistencia (1500-1900 Mpa) y se utilizan para asegurar el neumático a la llanta (Anexo 3.3).

En la investigación, el control de mezcla se hizo con una relación de cemento/agua/arena/agregado grueso 1:0.45:1.2:2. Se utilizó un concreto Portland tipo I/II y se obtuvo una resistencia media a la compresión a los 28 días de 40.92 MPa. No se emplearon aditivos. Las partículas de llantas desechadas utilizadas consistían en perlas de acero generadas por la trituración de los neumáticos. Las perlas de acero empleadas consistían en alambres de acero de diferentes longitudes (20 a 60mm) y diámetros (0,3 y 1,3mm) (Papakonstantinou y Tobolski, 2006).

Las perlas de acero fueron sustituidas en la mezcla de concreto en porcentajes volumétricos de 2, 4, 6 y 8%. Las muestras cilíndricas fabricadas fueron ensayadas para obtener su resistencia a la compresión y resistencia a la tracción. Se observa que a medida que aumenta la cantidad de perlas de acero en la mezcla fresca, el

slump disminuye, pero continúa siendo trabajable (slump mayor a 100 mm) (Tabla 3.02). (Papakonstantinou y Tobolski, 2006).

**Tabla 3.02:** Resultado Experimentales sobre el contenido de perlas de acero en mezclas de concreto.

Contenido de perlas de acero	Slump (cm)	Contenido de aire (%)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia a la compresión (MPa)	Módulo de Elasticidad (GPa)	Resistencia a la tracción
0%	17.8	1.7	2387	40.92	29.23	2.82
2%	16.5	1.6	2373	40.13	25.86	2.75
4%	15.3	1.6	2355	35.39	25.44	2.64
6%	14.0	1.9	2325	33.43	25.99	2.55
8%	11.4	2.1	2310	33.43	22.06	2.47

Slump: medida que indica la trabajabilidad del concreto fresco.

Fuente: Papakonstantinou y Tobolski, 2006

Mientras mayor sea la cantidad de perlas de acero en la mezcla, mayor es la pérdida en la resistencia a la compresión, de igual manera con el módulo de elasticidad y la resistencia a la tracción (Tabla 3.02). Lo que significa que la cantidad de perlas de acero en la mezcla debe tener un tope, de modo que no disminuya la rigidez del concreto, y su resistencia a la tracción y a la compresión.

Se concluye que se puede emplear perlas de acero en la mezcla de concreto, viables hasta fracciones de 4% del volumen, a pesar de que existe una disminución en la trabajabilidad con el aumento de las perlas de acero. Cuando un 2% de las perlas de acero se agregan a la mezcla, se produce una reducción mínima de la resistencia a la compresión (2%), mientras que hay un aumento considerable de la ductilidad (20%).

Por otro lado, los ensayos de tracción indican que las mezclas de concreto que contienen perlas de acero poseen una dureza mucho mayor que el de una mezcla convencional de concreto. Al fallar el espécimen, se produjo una fisura pero no hubo separación gracias a los alambres de acero que actuaron como refuerzo.

Si bien, la aplicación directa de dicha práctica sostenible propuesta no es posible, debido al estado en el que se debe de encontrar las perlas de acero para ser

agregadas a la mezcla de cemento. El objetivo es dar a conocer que existen alternativas de aprovechamiento de algunos recursos, en comparación con el desecho de los mismos. Las perlas de acero agregadas a la mezcla proporcionan ventajas mecánicas, que podrían traducirse en una disminución en el acero corrugado colocado en el concreto armado.

Otra investigación realizada por Centonze y demás, en el 2012, sobre el uso de “Fibras de acero de los neumáticos desechados como refuerzo en el concreto” fue un estudio que muestra el interés hacia el reciclado de materiales innovadores. En este caso, el uso de caucho granulado y fibras de acero, recuperados de neumáticos desechados en mezclas de concreto.

Las fibras de acero recicladas fueron recuperadas mediante un proceso de trituración de los neumáticos, seguido por un proceso electromagnético con el objetivo de separar el acero del caucho. Las fibras se caracterizan por tener una forma irregular (diámetro promedio: 0.24mm) y un largo variable (longitud promedio: 31.4mm) (Anexo 3.4).

Para la mezcla se empleó cemento Portland, agua, agregados de piedra caliza y arena; además de un superplastificante para mejorar la trabajabilidad del concreto fresco. Para propósitos comparativos realizaron cuatro mezclas: una de concreto convencional, dos de concreto reforzado con diferentes porcentajes de fibras de acero recicladas (0.23 y 0.46% del volumen) y la última, un concreto reforzado con fibras de acero industrial (0.46% de volumen). Los especímenes fueron losas de 600mm x 600mm, de 100mm de espesor.

Mediante diferentes diseños de mezcla, con una variación en la relación de volumen de fibras de acero en el concreto (losas), se evaluó la trabajabilidad, la resistencia a la compresión y a la flexión. Luego se evaluó cuatro puntos de la prueba de flexión para analizar el comportamiento al post-agrietamiento.

La contribución de las fibras de acero recicladas incrementa la resistencia a la compresión. De una mezcla controlada sin fibras de acero a una mezcla reforzada con 0.23% de fibra de acero, la  $R_c$  se elevó en un 20% aproximadamente. Además entre la mezcla reforzada con 0.23% de fibra de acero y la reforzada con 0.46% no hubo un incremento significativo en la  $R_c$ . En cuanto a la fluidez de las mezclas, las dos

mezclas reforzadas aumentaron 5mm de slump, en comparación con CMa. (Tabla 3.03)

**Tabla 3.03:** Resultados de Slump y ensayos de compresión.

<b>Tipo de mezcla</b>	<b>Slump (mm)</b>	<b>Rc (MPa)</b>
<b>CMa</b>	215	31.63
<b>RSF1a</b>	220	39
<b>RSF2a</b>	219	39.68
<b>ISFa</b>	205	29.01

Fuente: Centonze, et al. 2012

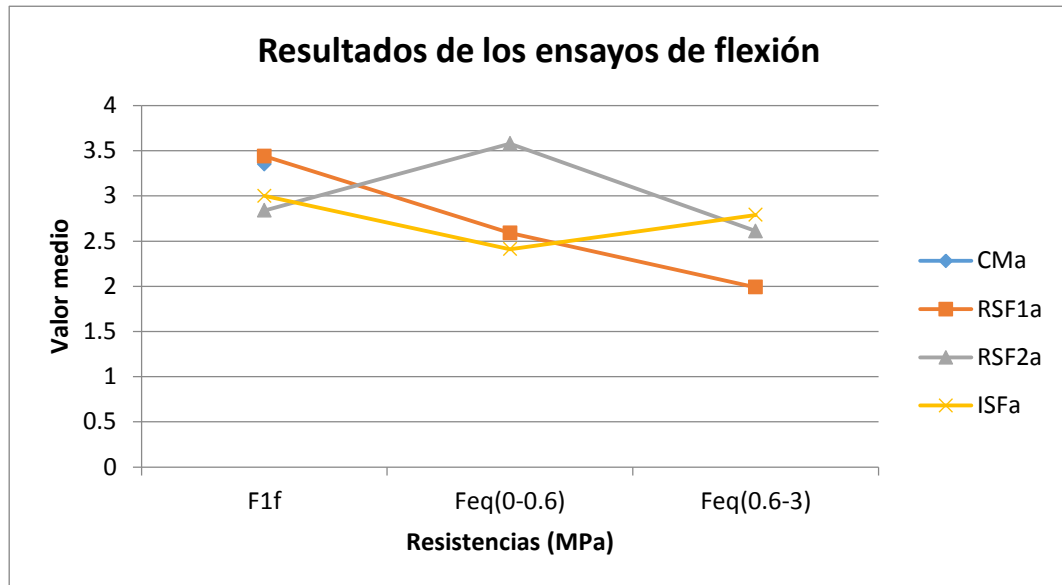
Donde: CMa: Mezcla controlada sin fibras de acero  
RSF1a: Mezcla reforzada con fibra de acero (0.23%)  
RSF2a: Mezcla reforzada con fibra de acero (0.46%)  
ISFa: Mezcla reforzada con acero industrial. (0.46%)  
Rc: Resistencia a la compresión

En cuanto a los resultados del ensayo de flexión, las cuatro muestras presentaron el mismo desplazamiento en la apertura de la grieta. Pero la resistencia de la 1ra grieta en la mezcla RSF1a fue mayor que en las demás, mientras que el menor valor fue de la mezcla RSF2a. En los casos de resistencia equivalente entre 0 y 0.6mm la mezcla RSF2a es la que tuvo mayor valor. Mientras que la resistencia equivalente entre 0.6 y 3mm sólo se produjo en las mezclas que contenían algún refuerzo de acero, siendo la más alta la mezcla reforzada con acero industrial.

En las tres mezclas reforzadas, la ductilidad inicial hasta 0.6mm fue mayor en la mezcla reforzada con 0.46% de fibra de acero, y en la ductilidad entre 0.6 y 3mm fue mayor en la mezcla reforzada con acero industrial (Figura 3.07). Por tanto, las mezclas con adiciones de fibra de acero o acero industrial mostraron un mejor comportamiento frente a los ensayos de flexión, tanto en la resistencia como en la ductilidad



La fuerza post agrietamiento se debe principalmente a la capacidad de las fibras para controlar el crecimiento y abertura de las grietas. Se puede concluir que las fibras de acero se pueden aplicar con éxito a las losas de concreto, donde tradicionalmente suelen utilizar capas de mallas de acero, que pueden ser sustituidas por las fibras de acero (Centonze, et al. 2012).



**Figura 3.07:** Resultados de los ensayos de flexión

Fuente: Centonze, et al. 2012. Elaboración propia.

Donde: F1f: Resistencia de la 1ra grieta

Feq(0-0.6): Resistencia equivalente entre 0 y 0.6mm

Feq(0.6-3): Resistencia equivalente entre 0.6 y 3mm

Por lo tanto, las fibras de acero reciclado son una aplicación innovadora para realizar losas de concreto, barreras viales y elementos prefabricados. En particular a los pavimentos de concreto, donde generalmente se utiliza refuerzo de malla de acero, se puede sustituir parcialmente por las fibras de acero reciclado.

La empresa de concreto premezclado, UNICON, cuenta entre sus productos, un tipo de concreto especial en el que adiciona fibras de acero. Lo que debería proporcionar UNICON, es la fuente de la que obtiene dichas fibras de acero. En caso no fuera acero reciclado, se podría poner en contacto con una empresa que tenga este producto.

Por tanto, al igual que la práctica sostenible que se presentará más adelante, se puede dar uso a los neumáticos desechados y a las perlas de acero que son contenidas para ser aprovechadas en diseños de concreto. Con un estudio previo de costo-beneficio de su aplicación. La idea es elegir usar productos con mejor desempeño ambiental.

- **Manejo de neumáticos al final de su vida útil**

En la etapa de construcción del proyecto, se identificó tres actividades principales: excavación, construcción del casco del centro comercial y acabados finales de la obra. En la etapa de excavación se emplearon 6 maquinarias y 10 camiones volquetes de 18m<sup>3</sup> para el transporte de residuos. Durante la construcción del casco emplearon 8 camiones mixers, 3 equipos de bombeo de concreto con brazo mecánico (Klepel Consulting S.A.C. 2011). Además durante los acabados finales y a lo largo de toda la etapa constructiva se requirió el acarreo de productos como acero, bolsas de cemento, baldosas, ladrillos, entre otros.

Al tener en cuenta toda la cadena de suministro, y la maquinaria y equipo empleado, se pretende extender las prácticas más allá del perímetro de la obra, para poder reducir los impactos ambientales asociados a dichas actividades. Por tanto, se incluye los neumáticos dentro de las prácticas sostenibles propuestas.

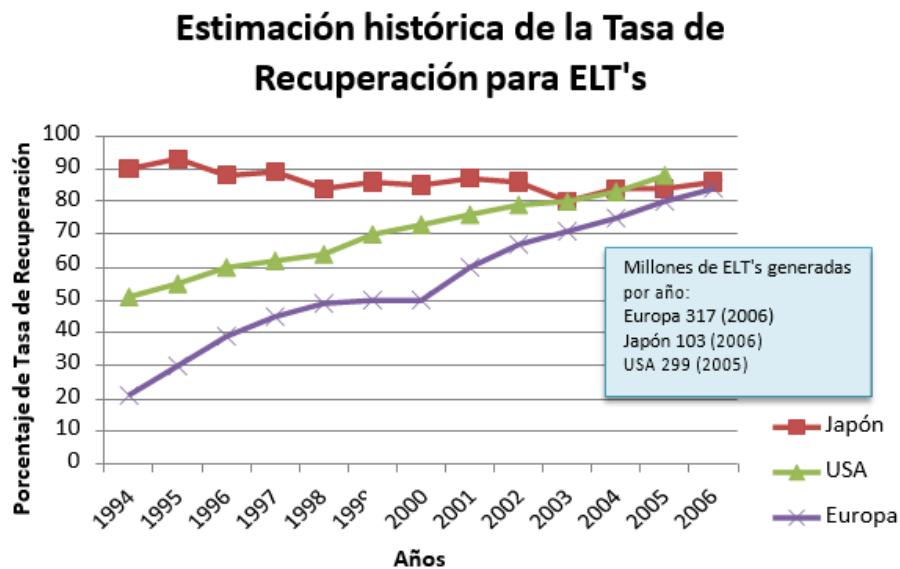
Como ejemplo se presenta los materiales necesarios para fabricar un neumático. Un neumático típico de un vehículo de pasajero contiene 30 tipos de caucho sintético, 8 de caucho natural, 8 tipos de carbón negro, cable de acero, poliéster, nylon, alambre de talón de acero, sílice y 40 diferentes tipos de productos químicos, ceras, aceites y pigmentos (WBCSD, 2010).

Casi todo el impacto ambiental del ciclo de vida de un neumático se produce durante la fase de uso, principalmente como resultado del uso de combustible del vehículo y las emisiones de dióxido de carbono debido a la rodadura. El siguiente gran impacto lo ocasiona la producción de materias primas y la fabricación del neumático. (WBCSD, 2009).

Se considera que el neumático está al final de su vida útil (End-of-life tires o ELT) cuando ya no puede ser utilizada en vehículos, después de haber sido reparado; incluye a los provenientes de todo transporte: automóviles, camiones, aviones, etc.

Aproximadamente, de los mil millones de neumáticos en todo el mundo, alrededor de 17 millones de toneladas, llegan al final de su vida útil, cada año. Éste número se ha incrementado constantemente y se espera que continúe a futuro. Además, se estima que 4 mil millones de ELT se encuentran actualmente en vertederos en todo el mundo (WBCSD, 2009).

Sin embargo, en los últimos 15 años, las tasas de recuperación de los ELT han aumentado dramáticamente en Europa y EE.UU (Figura 3.03). Japón inició programas de recuperación incluso antes. Al mismo tiempo, el costo de reciclado para el consumidor ha disminuido en algunas áreas debido al aumento de la eficiencia (WBCSD, 2009).



**Figura 3.03:** Estimación histórica de la Tasa de Recuperación para ELT'S.

Fuente: Adaptado de Managing End-of-Life Tyres. WBCSD, 2009

Los ELT's se pueden aplicar con facilidad en una amplia gama de proyectos de construcción. Se estimó que USA generó 292 millones de ELT's en el 2005, de los cuales el 53% (155 millones) fueron usados como fuente de energía y el 33% (97 millones) fueron destinados a usos en Ing. Civil. Países como Japón han aprovechado los ELT's como fuente de energía (70% de los 80 millones), mientras que en países como Canadá son destinados a usos en Ing. Civil o recuperación del material (75% de los 22 millones). (Anexo 3.5) (WBCSD, 2009).

Sustituyendo los ELT en lugar de nuevas materias primas se reduce los costos ambientales y económicos tales como: la exploración y extracción de combustibles fósiles y otras materias primas vírgenes, además el impacto asociado a la alteración de suelo; los requisitos de transporte, ya que los neumáticos se pueden encontrar en todo lugar; y se puede emplear en la mayoría de los requisitos de procesamiento para varias aplicaciones, empleadas en su totalidad o trituradas. Como por ejemplo como fuente de energía, como aditivo en el asfalto, en aplicaciones en ingeniería civil.

Una aplicación es la recuperación del material. Ya sea enteros o triturados, los neumáticos son usados de forma satisfactoria en una variedad de aplicaciones en la ingeniería civil. Como por ejemplo en terraplenes, rellenos para muros, aislamiento de carreteras, drenajes de campo, control de la erosión debido al agua de lluvia en barreras, humedales y pantanos, barreras de seguridad y en parachoques.

Los neumáticos son excelentes materiales para dichos usos, ya que son ligeros y permeables, buenos aislantes, poseen buena absorción de energía y del sonido; y son duraderos. (WBCSD, 2009)

ELT también se puede convertir en polvo o en partículas de caucho para emplearse en: asfalto modificado con caucho, reduciendo el ruido del tráfico, en pistas de atletismo, campos deportivos, productos moldeados de caucho y en aplicaciones de jardinería.

Entre las aplicaciones en la Ingeniería, una de las más empleadas es en el llamado Asfalto de caucho (Rubberized Asphalt). Según la definición del ASTM (2011), asfalto de caucho (AR) es “una mezcla de cemento de asfalto, caucho de neumático regenerado y ciertos aditivos en el que el componente de caucho es al menos el 15% en peso de la mezcla total y ha reaccionado con el cemento asfáltico lo suficientemente caliente para causar la hinchazón de las partículas de caucho”.

Asfalto de caucho se utiliza como un aglomerante en varios tipos de construcción de pavimentos de asfalto, incluyendo tratamientos superficiales y mezclas calientes. También se utiliza en selladores de grietas.

Para colocarlo sobre pavimento existente se emplea un sistema de superposición, donde se requiere colocar una capa de nivelación sobre el pavimento, encima la

membrana del asfalto de caucho con agregados (15mm) y finalmente una capa de concreto de asfalto de caucho (RAC) (Anexo 3.6). (California Department of Transportation, 2003)

El asfalto de caucho presenta beneficios en cuanto a las propiedades que atribuye al pavimento, así como las ambientales y económicas. Por ejemplo reduce la reflexión de grietas en las capas de asfalto, las cuales son causadas por movimientos verticales u horizontales en el pavimento debajo de la superposición resultante de las cargas de tráfico, temperatura y movimientos del suelo. El caucho de asfalto modificado, cuando se coloca en las membranas de estrés absorbente reduce en gran medida la aparición de la reflexión de grietas debido a sus propiedades elásticas. (Clemson University, 2002)

Además las carreteras pavimentadas con asfalto convencional requieren de mantenimiento cada cierto tiempo. Gracias a la resistencia al agrietamiento y envejecimiento por el asfalto modificado con caucho, las carreteras experimentan una vida útil más larga, reduciendo los costos de mantenimiento.

Incrementa el tiempo de vida del pavimento, ya que después de años de exposición de climas y exposiciones como la expansión, contracción, cambios de temperatura, oxidación, etc., las grietas comienzan a aparecer. Asfalto de caucho no sólo se opone a la formación de grietas sino que también posee una mayor resistencia al envejecimiento, gracias a los antioxidantes contenidos en los neumáticos (Clemson University, 2002).

También incrementa la resistencia al deslizamiento. Puede mejorar la seguridad de las carreteras gracias a que presenta una mayor resistencia al deslizamiento que el asfalto convencional. Así como, disminuye los niveles de ruido en las carreteras, que continúa aumentando a medida que aumentan los niveles de tráfico. Se ha demostrado que el asfalto modificado reduce los niveles de ruido hasta 5 decibeles.

Otro beneficio es la reducción del número de neumáticos que terminan en vertederos. Dependiendo de la aplicación, entre 500 a 2000 neumáticos desechados pueden utilizarse en cada milla de carril de pavimento. Lo cual significa que para una

sección de una milla de una autopista de cuatro carriles, entre 2000 y 8000 de neumáticos pueden ser empleados.

Otra aplicación es el aprovechamiento de ELT's como combustible. El combustible derivado de neumáticos (Tire derived fuel o TDF) es una de las opciones para los ELTs, el cual se utiliza principalmente en los hornos de cemento, pero también en centrales térmicas, fábricas de pulpas de papel, fábricas de acero y las calderas industriales. Ésta opción permite aprovechar el potencial calórico del neumático al final de su vida útil.

Los hornos son cada vez mejor equipados para consumir ELT como combustible suplementario y a la vez estar en conformidad con las Normas de Emisión Atmosféricas del 2008 (WBCSD,2009). Los neumáticos tienen un alto contenido de energía y son una fuente igual o mejor que muchos otros combustibles sólidos; que junto con los crecientes costos de energía y conciencia ambiental de los últimos años, han llevado a un incremento del uso de TDF.

El contenido de energía de un neumático es uno de los mayores (32 GigaJoule/Ton), luego del aceite Diesel, Gas Natural y Coque de Petróleo. En cuanto a emisiones de CO<sub>2</sub>, está entre las más bajas. (Tabla 3.04)

**Tabla 3.04:** Energía contenida y emisiones de CO<sub>2</sub> de los combustibles.

Combustible	Energía	Emisiones	
	(GigaJoule/Ton)	kgCO <sub>2</sub> /Ton	kgCO <sub>2</sub> /GigaJoule
<b>Neumáticos</b>	32.0	2,270	85
<b>Carbón</b>	27.0	2,430	90
<b>Coque de Petróleo</b>	32.4	3,240	100
<b>Aceite Diesel</b>	46.0	3,220	70
<b>Gas Natural</b>	39.0	1,989	51
<b>Madera</b>	10.2	1,122	110

Fuente: Adaptado de Managing End-of-Life Tyres. WBCSD and there in. 2009

Los hornos de cemento son capaces de utilizar los neumáticos en cualquiera de sus formas, enteros o triturados. Para otros usos, como en las fábricas de pulpa y

papel, los cables de acero a menudo tienen que ser removidos, y pueden ser un subproducto valioso.

El empleo de neumáticos al final de su vida útil como combustible es una alternativa que debe ponerse en práctica siempre y cuando haya un ambiente controlado de las emisiones producidas durante la quema de los mismos. Los usuarios pueden incorporar TDF en planificaciones a largo plazo, de tal manera que ventajas económicas significativas se puedan obtener. Si bien, tienen ventajas, en comparación con otros materiales empleados como combustibles y a menos que se tomen las medidas ambientales necesarias, se recomienda su uso en aplicaciones de ingeniería civil u otros que recuperen el material.

Se debe tener en cuenta el poco desarrollo de la industria de reciclaje en el país. No se tiene información sobre el destino de la disposición final de los neumáticos en el Perú. Probablemente las empresas que fabrican neumáticos tengan un sistema de reciclado en sus plantas industriales, lo cual debería ser accesible para todo el que desee disponer de sus neumáticos desechados.

- **Uso de Agua reciclada**

La etapa que mayor consumo de agua produce es durante la operación del Centro Comercial, debido al uso de los servicios higiénicos y restaurantes del lugar. Para tener una idea, el consumo de agua diario estimado durante la etapa de operación, se estima que sería de aproximadamente 83.81 m<sup>3</sup> (Tabla 3.05). Es decir, en un año llega a ser de 30,590 m<sup>3</sup> y en 50 años, que es el tiempo de vida del Centro Comercial, llegaría a unos 1 529 532 m<sup>3</sup>.

**Tabla 3.05:** Consumo de agua estimado para la etapa de operación

<b>Ambientes</b>	<b>N° personas o área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Total dotación diaria (l/día)</b>	<b>Consumo estimado de agua (m<sup>3</sup>/día)</b>
Centro Comercial (personas)	9,126	54,756	54.76
Oficinas (personas)	1,400	28,000	28.00
Depósitos (área estimada)	2,100	1,050	1.05
Total			83,81

Fuente: Adaptado de Klepel Consulting SAC, 2011

Según el WBCSD, en el año 2000 la demografía era de 6 billones de personas, mientras que se proyecta que para el año 2050 será entre 8 a 10 billones. A medida que aumenta la población, la demanda de éste recurso también se ve incrementado (WBCSD y UTEP, 1998).

Una de cada seis personas hoy en día no cuenta con un adecuado acceso a agua, y más del doble carecen de saneamiento básico (Grand Challenges for Engineering, 2008). Sin ir muy lejos, en algunas zonas de la misma capital, no poseen redes de agua potable y desagüe. Si estos son los problemas que enfrenta la población en la actualidad, se requiere medidas inmediatas para el futuro.

Estudios realizados por SEDAPAL indican que, a pesar que en algunos años disminuye el consumo de agua en Lima Metropolitana respecto al anterior, la tendencia es ascendente. Además que el sector Doméstico es el que mayor consumo realiza de Agua Potable, seguido por el sector Comercial y Estatal. (Anexo 3.7)

El consumo del agua potable en las actividades cotidianas del hombre genera dos tipos de aguas: las aguas negras y las aguas grises. Las aguas negras, también llamadas aguas residuales, servidas o cloacales; es el tipo de agua que se encuentra contaminada con sustancias fecales y orina; producto de su uso para servicios higiénicos, es procedente de desechos orgánicos de humanos o de animales. Es vital su manejo con sistemas de desagüe, tratamiento, etc; porque de lo contrario genera serios problemas de contaminación.

Por otro lado, las aguas grises son producto de actividades domésticas producto del lavado de utensilios, ropa y de la ducha, por lo tanto no contienen sustancias fecales y orina. El consumo en las áreas de bajos recursos puede ser bajo como de 15-20 litros por persona por día, mientras que en zonas más acomodadas puede generar 10 veces más.

El contenido de nutrientes en las aguas grises, en comparación con las aguas negras, es relativamente bajo. En algunos casos puede haber altas concentraciones de fósforo, pero los niveles de nitrógeno son siempre bajos (Ridderstolpe, 2004).

Para el sistema de tratamiento se necesita un armado de tuberías para la recolección



y transporte de las aguas grises. A diferencia del sistema de aguas negras, se puede emplear tuberías de menor diámetro, ya que no hay necesidad de transportar residuos de inodoro. Para evitar la obstrucción de la grasa, los tubos deben ser instalados directamente (sin cuellos o depresiones) con un gradiente de al menos 0.5%.

Uno de los procedimientos para el tratamiento de aguas grises proporcionado por una empresa española llamada Soliclima consiste en un sistema que posee el tamaño aproximado de un armario y que puede instalarse rápidamente en la obra (Anexo 3.8). Primero se realiza el filtrado, al momento en que entra el agua en el depósito, está compuesta de dos fases correspondientes a dos cámaras diferentes, donde las partículas de mayor tamaño son recogidas mecánicamente y expulsadas a las aguas residuales.

Posteriormente, en los depósitos de reciclaje se realiza un tratamiento biológico con bio-agentes, donde se descompone las partículas de suciedad. En esta etapa, el agua tratada es bombeada cada tres horas a la siguiente fase.

Finalmente, en su camino hasta el depósito de almacenaje, se realiza la esterilización, donde el agua es sometida a los rayos ultravioleta mediante una lámpara ultravioleta que la desinfecta, según las indicaciones de la Directiva Europea 73/160 EWG de agua de uso doméstico. Si la cantidad de agua necesaria es más elevada que la almacenada, se puede incorporar agua de la red potable para garantizar el suministro. Para su uso es solamente necesario disponer de un sistema de tuberías que separe por un lado el agua potable y por el otro el agua reciclada.

Otro procedimiento es mediante la depuración de agua por ósmosis inversa. El fenómeno de la Ósmosis se produce cuando se ponen en contacto dos fluidos con diferentes concentraciones de sólidos disueltos, los cuales se mezclarán hasta que sea una concentración uniforme. Pero si estos fluidos están separados por una membrana permeable, el fluido de menor concentración pasará a través de ella a uno de mayor concentración (Squires, Cowan, Wood, 1983).

Para poder purificar el agua se necesita realizar el proceso contrario, es decir, ósmosis inversa. Que consiste en un tipo de depuración de aguas mediante una

membrana semipermeable. El tamaño de los poros de esta membrana es tan pequeño que no deja pasar las partículas en suspensión contenidas en el agua, pero sí las moléculas de agua; para lo cual es necesario presurizar el agua a un valor superior al de la presión osmótica.

La empresa Soliclima cuenta con un sistema llamado CM+, de un tamaño similar al del CPU de una computadora (Anexo 3.9). El cual elimina altos porcentajes tanto de metales pesados como de otras sustancias dañinas, tales como sulfatos o bicarbonatos (Tabla 3.06).

**Tabla 3.06:** Porcentaje de eliminación de metales y otras sustancias obtenido por la depuración por ósmosis inversa

<b>Depuración por ósmosis inversa</b>			
<b>% de eliminación de metales</b>		<b>% de eliminación de otras sustancias</b>	
Bario	98%	Bicarbonatos	94%
Cadmio	96%	Magnesio	96%
Cromo	99%	Níquel	96%
Mercurio	83%	Sulfatos	99%
Nitratos	77%	Taninos	97%
Plomo	82%	Zinc	97%
Cobre	98%		

Fuente: Empresa Soliclima

Durante la construcción de la obra se observó que el mayor consumo de agua se destinaba para higiene de los trabajadores, en especial en las duchas diarias luego de la jornada de trabajo. El número de trabajadores que intervinieron en la etapa de construcción del proyecto fue de aproximadamente 3,600 durante los 18 meses de dicha etapa (Klepel Consulting, 2011). Es decir, 200 trabajadores al mes, que durante los 6 días de la semana de trabajo utilizaron la ducha, empleando 20 litros por ducha. Es decir, 96,000 l al mes y 1 728 000 l durante la etapa de construcción.

Las aguas grises pueden ser empleadas para otros fines, tales como la cisterna del inodoro, el lavado de caminos, paredes y vehículos, además de ser suministro de agua fría para lavadoras y riego de césped y jardines. Particularmente en la obra, durante la etapa de construcción, tanto el procedimiento por ósmosis inversa como por el de rayos ultravioleta, puede ser

colocado en los baños de los trabajadores de construcción, como cisterna del inodoro. Ya que el personal de construcción cuenta con inodoros y duchas para su limpieza en un área especial, a diferencia de otros proyectos donde se emplea baños portátiles.

Por otro lado, durante la etapa de operación del proyecto, el agua gris tratada puede ser aprovechada no sólo como suministro para los inodoros, el cual significaría un ahorro considerable debido al flujo de personas que utilizarán los servicios higiénicos; sino también para la limpieza de las instalaciones. Por tanto, la aplicación de las prácticas propuestas puede ser implementada en la etapa de acabados, en las instalaciones sanitarias, realizando las conexiones necesarias para poder aprovechar las aguas grises en los servicios higiénicos públicos del centro comercial.

Se puede hacer un estudio comparativo entre las prácticas propuestas con el costo económico y ambiental que genera el manejo de las aguas grises en la actualidad los proyectos que gestiona Proyecta Ingenieros Civiles S.A.C. Por el ámbito ambiental, no hay duda que el reciclaje de las aguas residuales produce un impacto mucho menor que la derivación de las mismas al sistema de alcantarillado. Y por el ámbito económico, la empresa ahorrará el consumo de agua destinado a la higiene de sus trabajadores.

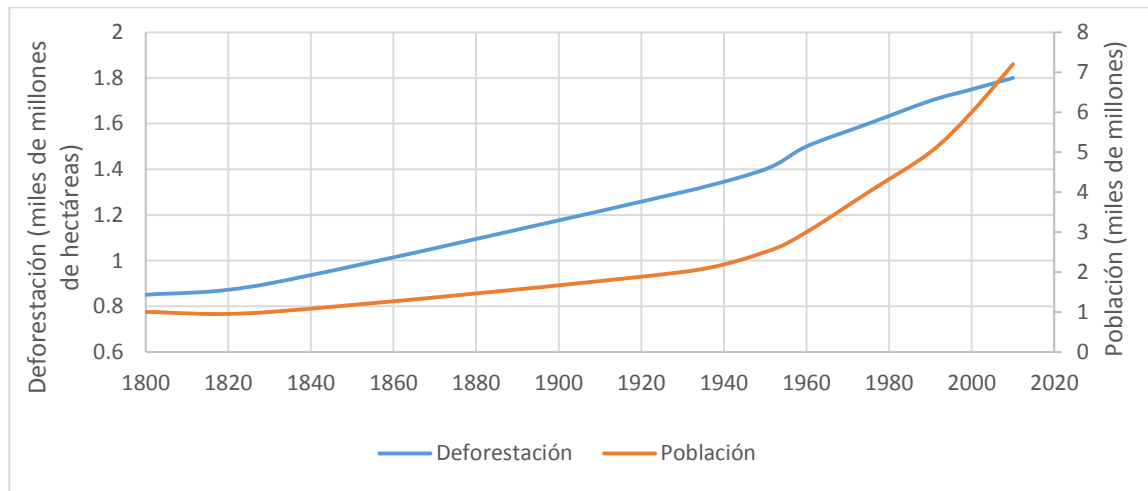
Mediante la implementación de las dos prácticas de tratamiento de aguas grises propuestas, se disminuirá de manera notable el volumen de agua potable empleada tanto durante la etapa de construcción como en la etapa de operación del Centro Comercial, siendo ésta última la que mayor impacta en el consumo de agua potable. Debido a la cantidad de personas que utilizarán los servicios higiénicos y también los restaurantes que darán servicio en el Centro Comercial.

- **Uso de Madera reciclada**

Durante la construcción del proyecto se observó el uso de la madera principalmente para sistemas de encofrado, junto con el acero, entre otras finalidades del material. Éste fue usado en un volumen de 2,000 pie<sup>2</sup> (Klepel Consulting S.A.C., 2011).

La madera requiere ser utilizado doce veces aproximadamente para ser considerado un residuo. En la obra, la madera era empleada principalmente como encofrado, al igual que el de tipo metálico. Y debido a la magnitud del proyecto, se requiere grandes volúmenes de encofrado, tal incidencia en la obra es el punto de partida para considerar este recurso dentro de las prácticas sostenibles.

El incremento de la demografía y la actividad económica viene de la mano con mejores tecnologías para manipular la naturaleza. La deforestación es una de las transformaciones antropogénicas de la superficie terrestre más significativas. Estimaciones indican que en los pasados 5 000 años, la desaparición de terreno forestal a nivel mundial se ha elevado a 1 800 millones de hectáreas, lo cual conlleva a un promedio neto de pérdida de 360 000 hectáreas al año (Williams, 2002).



**Figura 3.08:** Población mundial y deforestación acumulada, 1800 a 2010.

Fuente: FAO, 2010

El crecimiento de la deforestación ha ido a la par con el aumento demográfico. Hasta antes de 1950 el ritmo de la deforestación adelantaba al de la población y desde entonces empezó a disminuir, siendo el primero superado por la población en aproximadamente el año 2010 (Figura 3.08).

Un estudio producido por USDA Forest Service (2010) encontró que, en 1993, un total de 60.4 millones de toneladas de productos de madera fue consumida en la industria de la construcción de los Estados Unidos, de los cuales 7.1 millones de toneladas de

residuos de madera fueron generados. De esta cantidad, el 67% (6.3 millones de toneladas) es potencialmente recuperable (Tabla 3.07).

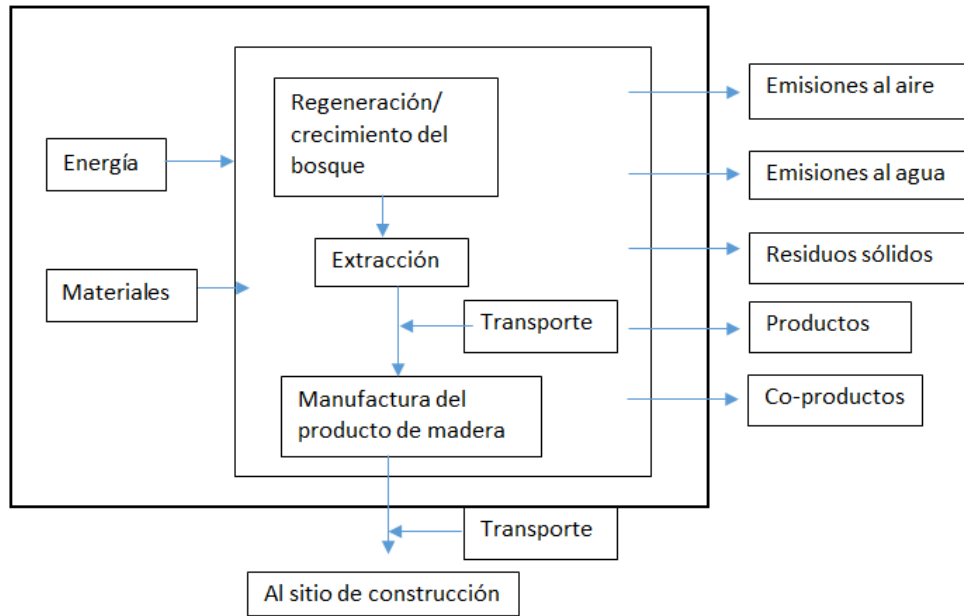
**Tabla 3.07:** Recuperabilidad de Residuos de Madera.

<b>Sector</b>	<b>Residuos de madera generada (104 ton métricas)</b>	<b>Cantidad Potencialmente Recuperable</b>	<b>Cantidad Recuperada Actualmente</b>
<b>Demolición</b>	25	7.5% (30%)	No data
<b>Residuos Sólidos Municipales</b>	13.7	7.4 (60%)	1.3 (9%)
<b>Nuevas Construcciones, remodelación y reparación</b>	6.7	5.9 (88%)	No data
<b>Madera aserrada</b>	82.1	82.1 (100%)	77.4 (94%)

Fuente: USDA Forest Service and there in, 2010.

Además, con una adecuada gestión forestal se puede luchar contra el cambio climático. La FAO ha estimado que la retención mundial de carbono producida por la disminución de la deforestación, entre otras políticas, podría compensar en un 15% las emisiones de carbono originadas por los combustibles fósiles en los próximos 50 años. La destrucción de bosques libera en la atmósfera unos 6 mil millones de toneladas de dióxido de carbono al año (FAO, 2012).

Una herramienta que nos ayuda a entender la dimensión del impacto que tiene determinado producto sobre el medioambiente durante todas sus etapas de vida, es el Análisis de Ciclo de Vida. En este caso, para la elaboración de un producto de madera requiere “entradas” como la energía y materiales, y genera “salidas” como emisiones al aire, al agua, residuos sólidos, etc. (Figura 3.09)

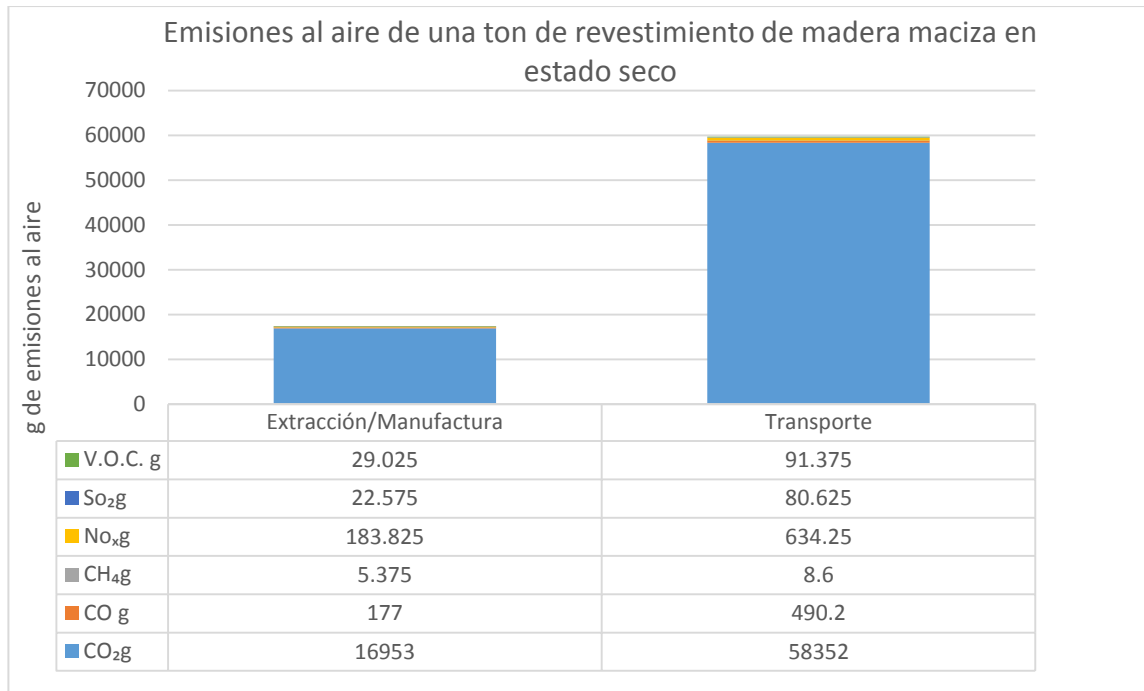


**Figura 3.09:** Límite del sistema para el análisis “de la cuna a la tumba” de la producción de sistemas estructurales de madera en el noroeste y sureste Pacífico de los Estados Unidos.

Fuente: Puettmann y Wilson, 2006

Un estudio realizado por Meil (1998) estandarizó los resultados para la producción de una tonelada de revestimiento fabricado seco en horno, calculando según ésta “unidad” la energía requerida para cada proceso así como las emisiones al aire y la tierra.

En cuanto al uso de energía (MJ) la Extracción/Manufactura, es decir la tala, requiere una menor cantidad de energía, en comparación con el transporte, en ambos tipos de revestimiento. Aproximadamente un 40% menos de combustible Diesel. Mientras que en emisiones al aire, la etapa que más impacta también es el Transporte. El Dióxido de Carbono es el gas que más se emite, tanto en la etapa de Extracción/Manufactura como en el Transporte. Dentro del ACV se considera también las emisiones a la tierra, que son los residuos provenientes del proceso de Extracción/Manufactura. (Figura 3.10)



**Figura 3.10:** Emisiones al aire de una ton de revestimiento de madera maciza en estado seco.

Fuente: Meil, 1998

A partir de la Figura 3.10, se puede observar que la etapa que mayor impacta en el medio ambiente es el Transporte, en relación a las emisiones al aire. Por tanto, el uso de madera impactaría menos si se reduce la distancia transportada del producto.

Lamentablemente, la tala de árboles es una actividad necesaria que no se puede evitar. Por lo tanto, se debe pensar en tecnologías que permitan la recuperación de éstos desechos. Una alternativa es el uso de la madera como Biomasa. Biomasa es el material orgánico renovable que proviene de árboles, plantas y desechos de animales o proveniente de la agricultura, del aserradero y de los residuos urbanos. Siendo el recurso de energía más frecuente y el combustible más popular en Estados Unidos para la calefacción. Además, Asia es el mayor consumidor de madera como fuente de energía en el mundo.

Dado el avance en la industria, no es de extrañar que las tecnologías para la conversión de la madera en energía estén bien establecidas. Ya sea para calefacción, calor para un proceso, producción de electricidad, ningún otro tipo de

combustible se ha utilizado en tanta variedad de sistemas. (Energy Efficiency and Renewable Energy, 2004)

Una práctica sostenible es el uso de pellets de madera como biomasa. El pellet es un gránulo cilíndrico fabricado a partir de residuos de madera, que mide entre dos y tres centímetros y está cada vez más requerido para emitir calor y generar electricidad (Anexo 3.10).

Para el año 2006, el consumo de pellets de madera en Europa era de 5 millones de toneladas y para el año 2007 era de aproximadamente 13 millones de Toneladas. (Dance, 2007). A pesar de las buenas perspectivas que ofrece, sólo dos empresas sudamericanas están produciendo y exportando el nuevo combustible: la brasileña Battistela Industrial y Comercio (BIC), y la chilena Eco-Pellets.

La capacidad de generación de energía de los pellets de es la siguiente:

- ✓ 1 kg de pellets proporciona 4,7 kWh
- ✓ 1 kWh de calor requiere 0,21 kg de pellets
- ✓ En promedio, el costo de un kWh de calor con pellets es de 3,7 centavos de dólar, mientras que con petróleo es de 5,7 centavos de dólar, es decir, la calefacción con pellets es 35% más barata.
- ✓ En las viviendas, el costo de 1 kWh de calefacción con pellets alcanza a 4,5 centavos de dólares; a nivel de grandes consumidores (distritos municipales, por ejemplo) el costo es de 3,8 centavos de dólar; y en la industria, donde se utiliza pellets de baja calidad, el costo alcanza a 2,5 centavos de dólar.

En cuanto a las obras de Proyecta Ingenieros Civiles S.A.C., dados los beneficios energéticos que tiene la madera, los residuos de madera que se generan en las obras pueden ser vendidos a un intermediario para que gestione su uso como combustible en industrias. Podrían pedir a cambio un certificado que garantice el reciclaje de la madera. El certificado puede ser presentado al cliente y canjeado por bonos ambientales debido a las consideraciones tomadas a favor del medio ambiente.

Otra aplicación de los residuos de madera es su uso como agregado en el compuesto de madera-cemento. Es un compuesto que se utiliza comercialmente desde hace más de 60 años, son en su mayoría utilizando hebras de madera (excelsior) cortadas de la sección de troncos verdes. Han sido utilizadas principalmente para la



pared interior y los paneles del techo, atribuyendo beneficios como la estética, resistencia al fuego y atenuación del sonido. (Wolfe y Gjinolli, 2009)

Las partículas de madera extraídas de desechos no tienen la uniformidad o longitud del excelsior, pero se puede utilizar con un aglomerante de cemento para la fabricación de paneles de construcción. La percepción común de que la resistencia del concreto y durabilidad estarán comprometidas por la adición de materia orgánica presenta un obstáculo importante para la aceptación de materiales compuestos de madera - cemento en aplicaciones como las estructurales (Wolfe y Gjinolli, 1999).

**Tabla 3.08:** Descripción y tipo de mezcla de cada panel.

No.	Espesor (mm)	Condición	Composición de la mezcla				Presión (kPa)
			Madera (kg)	Cemento (kg)	CaCl <sub>2</sub> (kg)	Agua (L)	
1	178	Tratado	73	135	5.7	70	60
2	152	Tratado	73	128	5.9	68	120
3	160	No tratado	70	130	5.9	91	120
4	152	Tratado	70	135	5.6	70	120

Fuente: Wolfe y Gjinolli, 1999

La investigación de Wolfe y Gjinolli (1999) tuvo como objetivo evaluar la viabilidad de desarrollar productos de ingeniería, que explotara las propiedades únicas de los materiales compuestos de madera-cemento. Mediante la fabricación de cuatro paneles, ligeramente diferentes en densidad. Tres fueron hechos con madera tratada con CCA (Arseniato de cobre cromatado), conservante de la madera.

Además, se agregó CaCl<sub>2</sub> como acelerador de la hidratación de cemento (Tabla 3.08). De los cuatro, las muestras del panel 1 mostraron mejor resistencia al deterioro por los ciclos de congelación y descongelación. Comparando los valores de tenacidad para los ensayos realizados, se encontró que el material no tratado en el Panel 3 tenía los menores índices promedio en compresión y flexión. Mientras que entre los tratados con CCA, el panel 4 alcanzó mejores propiedades de resistencia. (Wolfe y Gjinolli, 1999).

En conclusión, compuestos generados por la unión de cemento Portland y partículas de residuos de la construcción en madera presentan un potencial para su

uso en ingeniería, pero no como sustituto directo de los materiales estructurales convencionales. Su fuerza como material de ingeniería parece radicar en su capacidad de absorber energía. El hecho de que la madera tratada con CCA no mostrara problemas de incompatibilidad sugiere que se puede proporcionar un uso para dicha madera (Wolfe y Gjinolli, 1999).

Como ingeniería de valor, Proyecta Ingenieros Civiles S.A.C. podría proporcionar al cliente una propuesta donde incluye los desechos de madera dentro de la mezcla de concreto, sólo para elementos no estructurales. Esto podría realizarse si se realiza un estudio ambiental y económico previo, de modo que se garantice que no genere sobrecostos y reduzca los impactos ambientales.

Una consecuencia directa del aprovechamiento de los residuos de madera es la reducción de su disposición en vertederos. No sólo como volumen ocupado sino también el transporte que acarrea. Así como una reducción de costo de disposición en rellenos sanitarios. Dichos costos se pueden evitar, generando ahorros que, junto con los ingresos por la venta de los materiales recuperados de desechos de madera pueden ser acreditados para cubrir los costos de procesamiento relacionados con la recuperación.

Habría una disminución de las emisiones de carbono proveniente de la generación de combustible. Aprovechando la energía proveniente de la madera, se puede sustituir el empleo de considerables cantidades de combustible fósiles, necesarios para la fabricación de materiales de construcción, entre ellos el cemento, la madera, plásticos, etc. De modo que se requiere tecnología para la recuperación de dicho residuo, mejorando el desarrollo socioeconómico, ya que es necesaria la mano de obra para la construcción y manejo de plantas procesadoras de dicho residuo.

Por otro lado, se debe tener en cuenta algunos factores que afectan la factibilidad de su reciclaje. Un condicionante de su uso es la contaminación. Al utilizar la madera como elemento estructural, como encofrado o parte de la arquitectura, estará en contacto con otros materiales y elementos, los cuales pueden afectar su calidad. Que van desde las reacciones químicas debido a tratamientos con preservativos como el arsénico; hasta las reacciones biológicas produciendo hongos y mohos.

Otra condicionante es la economía y volatilidad del mercado. La economía del reciclaje de la madera, depende de varios componentes, incluyendo el tipo de producto a producir a partir del residuo, disponibilidad en cuanto a cercanía del recurso, y los gastos de clasificación y limpieza. Lo más importante es que el recurso reciclado debe competir favorablemente en comparación con los costos de materias primas alternativas.

Debido a que el residuo de madera es generada por una variedad de fuentes, la calidad, tipo, especie, sequedad y nivel de contaminación, puede variar significativamente. Dicha variabilidad puede requerir sistemas de procesamiento más complejos que pueden afectar las propiedades del producto final.

El desecho de la madera existe en todos los lugares. Debido a que los costos de transporte son altos en relación con el valor de éste material desechado, la principal limitante son las instalaciones de procesamiento, de las que no se cuenta en el país. Los impactos debido al transporte dependerán de la locación de las plantas procesadoras, que suelen ubicarse en los perímetros de la ciudad, a diferencia de las obras de edificaciones.

Existen muchos obstáculos técnicos y económicos que superar, pero hay indicios que los desechos madereros reciclados pueden desempeñar un papel cada vez mayor en la producción de una gran variedad de productos a base de madera. Dos dificultades que merecen especial atención son: primero, el desarrollo de una infraestructura que pueda entregar un recurso limpio; y el segundo, el desarrollo de normas y definiciones que ayuden a los fabricantes y proveedores para un comercio y uso más racional de éste recurso.

- **Ladrillos ecológicos**

En el centro comercial, como mampostería estructural se utilizó ladrillos de concreto. Siendo empleados unos 50,000 millares de ladrillos en su estructura. La estructura del proyecto fue de concreto armado, pero la separación de áreas se hizo mediante mampostería y muros de drywall

Según estudios en el 2010, el ladrillo emitió 0.186 kg de CO<sub>2</sub> por metro cuadrado, asumiendo un tiempo de vida de 50 años. Mientras que la cantidad de carbón embebido en un ladrillo es de 0.244 ton por ton de ladrillo. (Brick Development

Association, 2011). Además estudios señalan que la fabricación tradicional de ladrillos cocidos conlleva a un coste energético de 4186,8 MJ por ton de ladrillo, cocidos a una temperatura entre 900 y 1200 °C (Oti et al, 2009)

Por lo tanto, los ladrillos ecológicos o ecoladrillos son una opción económica, amigable con el entorno y realizable. Son ladrillos fabricados con materiales que no perjudican el ambiente y su fabricación también es más amigable, en comparación con los ladrillos tradicionales.

El empleo de recursos naturales provenientes de subproductos como cultivos agrícolas e industriales, implica una serie de beneficios como la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del proceso de cocción. Además el reciclado de aditivos residuales como son las fibras vegetales o animales contribuye a un ahorro considerable en el uso de energía, empleando sólo el 15% de energía para la cocción de un ladrillo de arcilla (CalStar Products, 2012).

Otra ventaja es su capacidad de aislar el frío y el calor, lo que conlleva a una reducción de energía durante la etapa de operación, lo cual se puede compensar en el caso que la fabricación del ladrillo sea más costosa.

Los ladrillos ecológicos son clasificados según el tipo de materiales que lo conforman. Una de las propuestas más conocida que se encuentra en marcha: son los ladrillos con residuos del cultivo de arroz. En un estudio realizado por Cabo en el 2011, emplearon cal hidráulica natural, cemento Portland como aditivo de referencia, cascarillas de arroz procedentes de la cosecha y las cenizas de la cáscara de arroz, subproducto de la generación de biomasa; como materiales para la fabricación de ladrillos. Y como base se usó un tipo de arcilla, marga gris, considerado un suelo que presenta propiedades físicas no apropiadas para el caso como la alta plasticidad, baja trabajabilidad, baja permeabilidad.

La etapa experimental fue planteada en cuatro fases, donde elaboraron muestras a tres niveles de compactación: 10 MPa, 5 MPa y 1 MPa, además de la muestra de referencia hecha con cemento Portland. De la primera fase concluyeron que la densidad seca máxima aumenta a medida que se aumenta el nivel de compactación, mientras que el porcentaje de humedad disminuye (Cabo, 2011).

En la segunda fase, se seleccionaron las tres muestras de la primera fase que superaban el ensayo de absorción. Los ensayos de resistencia a compresión simple

reflejaron que las tres combinaciones a diferentes edades de curado mejoran la resistencia del suelo sin aditivos. Siendo mayor la resistencia alcanzada por el cemento Portland que por la cal hidráulica. Por otro lado, las combinaciones que contenían cal hidráulica soportaban mejor el ensayo de absorción. En la tercera y cuarta fase incorporaron los aditivos residuales (4 y 8%), a la mezcla de suelo y cal hidráulica a dos niveles de compactación (5 y 10 MPa). En la tercera fase se ensaya la resistencia mecánica, donde se observa que aumenta la resistencia a medida que avanza la edad de curado, siendo la de 10 MPa la que tiene mayor pendiente. Obteniendo mayores resultados la mezcla con 8% de cenizas de cáscara de arroz.

Mientras que en la cuarta se fabricó el ladrillo ecológico con todos sus componentes, agregando las cáscaras de arroz (hasta 5%). Ensayos mostraron que la adición de la cáscara produce pérdida de resistencia a la mezcla, pero mantiene los niveles de resistencia (Cabo, 2011).

Se concluyó que la mezcla más adecuada según los ensayos era la conformada por un tipo de suelo arcilloso, 5% de cal hidráulica natural, 8% de cenizas de cáscaras de arroz (residuo producto de la biomasa) y un 5% de cascarillas de arroz (subproducto de la cosecha). El llamado ecoladrillo cumpliría con los requerimientos mecánicos para ser usado en mampostería como material portante, destinado de preferencia a la tabiquería interna. Además de propiedades como su baja densidad y su capacidad de aislamiento (Cabo, 2011).

Su aplicación representa ventajas en cuanto a la reducción de materia prima, ya que el subproducto de la cosecha y un residuo producto de la biomasa puede ser destinado a otro, los ecoladrillos. Sin embargo, se presenta una dificultad para su aplicación en proyectos de edificación en el Perú. Debido a que los productos que se encuentran en el mercado son los ladrillos de arcilla convencionales, no con adiciones como la cáscara de arroz.

- **Techos verdes:**

El rápido crecimiento de la ciudad facilita la construcción de más infraestructura. Pero así como el desarrollo brinda beneficios, también existen desventajas debido a la generación de CO<sub>2</sub>, disminución de las áreas verdes y el efecto isla de calor, que

representa la acumulación de calor debido a grandes cantidades de concreto en las zonas urbanas. Los techos pueden representar hasta el 32% de la superficie horizontal de áreas construidas (Frazer, 2005), área que podría aprovecharse mediante la construcción de techos verdes, con un buen diseño que reduzca los impactos que produce.

Durante la etapa de uso, los edificios producen el mayor impacto ambiental y está relacionado, principalmente, por el gasto energético relacionado con su acondicionamiento térmico (Nemry y Uihlein, 2008). Aunque inicialmente, la construcción de los techos verdes, implica mayor costo que un techo convencional, puede llegar a ser más económico a lo largo de su vida útil gracias a la energía almacenada y la longevidad de las membranas del techo (Kohler 2003).

Los ecosistemas creados dependen de tres principales componentes: el tipo de vegetación, el medio donde crecen (sustrato) y las membranas que lo conforman. Existen tres tipos de sistemas de techos verdes: el sistema completo, instalado como una parte integral del techo, incluido la membrana del techo; el sistema modular, donde módulos cultivados en otro lugar son instalados sobre el techo; y la manta de vegetación precultivada, donde las membranas de cultivo, vegetación, manta de drenaje y barreras de raíces son desenrolladas sobre el techo existente como una alfombra (Anexo 3.11) (Minke, 2004)

Entre los beneficios que conlleva la implementación de los techos verdes está la disminución de las superficies pavimentadas. Y las plantas no sólo tienen el beneficio de captar el CO<sub>2</sub>, sino también pueden filtrar el polvo, partículas de suciedad y partículas nocivas.

Además, durante un clima caluroso, los techos verdes tienen la propiedad de reducir la transferencia de calor a través del techo, reduciendo la demanda de energía del sistema de refrigeración (Minke, 2004).

Investigaciones demuestran que las raíces y ciertos microorganismos tienen la capacidad de atravesar impermeabilizaciones de bitumen. Por lo tanto se debe colocar capas adecuadas, soldadas con aire caliente y alta frecuencia; y dependiendo de la

vegetación a colocar, resistencia y trabajabilidad se puede escoger entre una serie de membranas como: membranas polímero-elastómero-bituminosas, membranas de PVC, membranas de polietileno, etc. (Minke, 2004)

Para mejorar la protección del sistema, se coloca una capa de arena para absorber movimientos o cuando el nivel de la base para membrana de hermeticidad es desigual. Dicha capa se coloca bajo la membrana de hermeticidad. Y para poder absorber el agua excedente, almacenar la necesaria y darle dirección para dirigirla se necesita una capa de drenaje, que puede conformarse por geonets, materiales minerales porosos y livianos, granos gruesos, arcilla expandida y materiales reciclados de escoria y ladrillo (Minke, 2004)

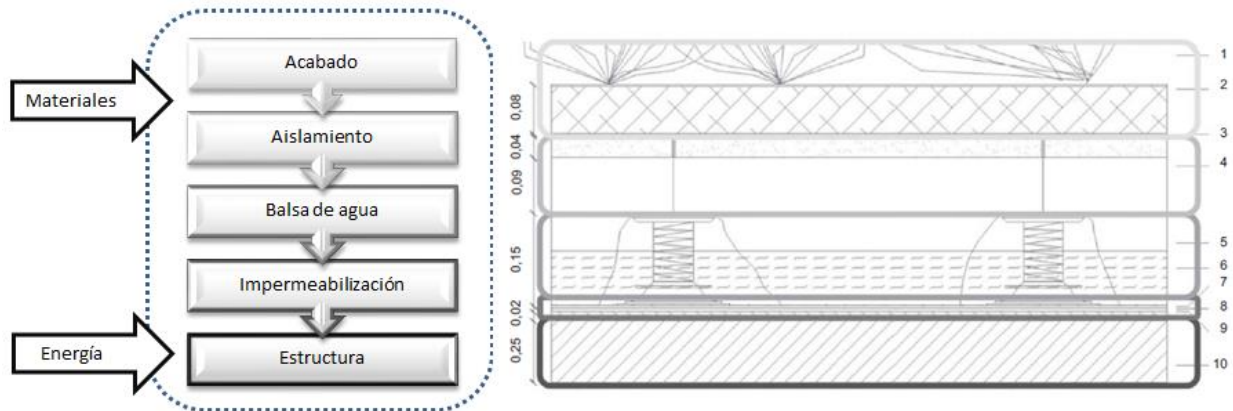
El medio donde crece la vegetación debe cumplir con los requisitos, dependiendo del tipo de plantas usadas. Como por ejemplo los nutrientes que contenga, el tipo de granulometría, en algunos casos que no sea muy arcilloso, o que no contenga demasiado humus y la capacidad de almacenar agua. La elección del sustrato y vegetación deberá ir de la mano para que el sistema funcione. Entre los criterios de elección, se debe tener en cuenta una serie de parámetros como la inclinación del techo, el espesor y tipo de sustrato, el clima del lugar, si estará bajo sombra, etc. (Minke, 2004).

Un componente importante es el mantenimiento. Si se presenta algún factor no previsto luego de haber colocado el techo verde como el excesivo crecimiento se debe dar mantenimiento.

El estudio de los techos verdes ha sido abordado como estrategia de reducción del impacto ambiental, enfocando el análisis del comportamiento térmico y energético del edificio durante su etapa de operación. Si bien se han obtenido resultados favorables en relación a los ahorros energéticos (Rivela et al, 2012), se debe tener en cuenta los impactos generados en las otras etapas de vida útil. Debido a la complejidad del comportamiento dinámico de los proyectos de construcción, como es la cadena de suministros.

Un estudio realizado por Rivela y demás (2012) emplea la metodología de ACV con el objetivo de cuantificar el impacto ambiental de los materiales que componen el techo

para diferentes contextos climáticos de España, desde la extracción de las materias primas hasta la salida de fábrica de los materiales, es decir un análisis de la “cuna a la puerta”. El esquema de composición del techo verde en estudio se muestra en la Figura 3.11.



**Figura 3.11:** Esquema del techo verde.

Donde:

Función	Elemento	kg/m2
Acabado superficial	1. Vegetación	1.00
	2. Sustrato	47.87
	3. Filtro sintético	0.26
Aislamiento	4. Capa de concreto con poliestireno extruido	69.71
	5. Soportes	1.41
Balsa de agua	6. Balsa de agua	140.00
Impermeabilización	7. Lámina PVC	1.55
	8. Filtro sintético	0.30
	9. Mortero de regulación	50.17
Soporte estructural	10. Losa de concreto	470.72
	<b>TOTAL</b>	<b>785.11</b>

Fuente: Rivela et al, 2012

Entre los resultados obtenidos, el subsistema “aislamiento” y “acabado superficial” son los responsables de la mayor contribución en las categorías de “Agotamiento de la capa de ozono” (95%), “Calentamiento global” (55), “Agotamiento de recursos abióticos” (55%), “Acidificación” (50%) y “Oxidantes fotoquímicos” (45%). Mientras que el subsistema “acabado superficial” es el principal contribuyente al impacto en



“Toxicidad humana” (65%) y “Ecotoxicidad acuática marina” y “Ecotoxicidad terrestre”, alrededor de 45% (Rivela et al, 2012).

En el subsistema de “acabado superficial” compuesto por fieltro, empleado como mecha de riego, está asociado a la fabricación del poliéster. Actualmente se está empleando este tipo de fieltro por su probada durabilidad (Rivela et al, 2012), pero se recomienda el estudio de otras alternativas que pueda reducir el impacto debido al mismo. De igual manera con el “aislamiento”, formado por la capa de concreto con poliestireno extruido, por lo que el uso de otro material aislante permitiría alcanzar una reducción del impacto de dicho subsistema.

Por tanto, si bien los beneficios de la implementación de techos verdes en edificaciones aportan una reducción del gasto energético, entre otras ventajas; se debe tener en cuenta los impactos producidos por los componentes necesarios para su conformación. Con un diseño ecológico, que incluya alternativas al uso de fieltro y el poliestireno extruido, los impactos ambientales se verán reducidos.

- **Reciclaje del concreto**

Al mirar a nuestro alrededor podemos observar que el concreto está en todos lados. Colegios, viviendas, hospitales, estadios, carreteras e infinidad de obras emplean este material. Según el WBCSD (2009), el concreto es el segundo material más consumido en el sector construcción, después del agua. Se estima que aproximadamente 25 billones de toneladas de concreto son producidos globalmente cada año

El concreto es extremadamente durable si es que se realiza una buena mezcla, vibración, buen curado y se protege de los factores que podrían afectar su durabilidad como los cloruros, climas extremos, humedad, etc. Sin embargo, se crean nuevas necesidades, estamos constantemente cambiando y los residuos son generados, debido a que las obras poseen un tiempo de vida limitado.

Una evaluación del impacto ambiental y la comparación del inventario de ACV entre la construcción de edificaciones con concreto y con acero arrojó que la fase de uso, en ambos casos, produce mayor impacto que la construcción de los materiales, ya sea acero o concreto. El consumo de energía del ciclo de vida del acero es aproximadamente el 75% la del concreto; y las emisiones medioambientales del concreto menos de la mitad que las del acero (Tabla 3.09). Los resultados del ACV

permiten tomar decisiones para poder reforzar los beneficios que brinda un producto y reducir o sustituir los impactos que genera.

**Tabla 3.09:** Comparación de LCIA de un edificio de concreto y otro de acero.

	Concreto		Acero	
	Materiales de Construcción (%)	Fase de uso (%)	Materiales de Construcción (%)	Fase de uso (%)
<b>Energía potencial de agotamiento</b>	0.17	0.83	0.13	0.95
<b>Potencial de calentamiento global</b>	0.2	0.8	0.12	0.92
<b>Impacto en el ambiente atmosférico</b>	0.22	0.78	0.14	0.91
<b>Impacto en el ambiente atmosférico urbano</b>	0.13	0.87	0.06	0.95
<b>Total</b>	0.72	3.28	0.45	3.72
	<b>4</b>		<b>4.19</b>	

Fuente: Adaptado de X Zhang, Z Su, Z Huang, 2007

Durante la fase de uso, la energía requerida por el aire acondicionado en el edificio de acero es 12% más que en el edificio de concreto. Por tanto, en el consumo de energía del ciclo de vida y las emisiones ambientales de los materiales de construcción, la estructura hecha con acero es superior a la del concreto (Tabla 3.09).

Si bien estos datos obtenidos son a partir de un estudio comparativo entre un edificio de oficinas hecho de concreto y otro hecho de acero, los resultados para cada etapa pueden ser aprovechados para el diseño de un proyecto basándose en la reducción de los impactos e impulsando los puntos favorables. Por ejemplo, se podría construir un Centro Comercial de Acero donde se aproveche las corrientes de aire y se diseñe para que emplee el mínimo de aire acondicionado, debido a que el aire acondicionado es una de las principales fuentes de energía de un edificio de acero. También, se podría implementar el sistema de techos verdes para reducir el uso de aire acondicionado.

Según estudios, alrededor de 1.300 millones de toneladas de residuos son generados en Europa cada año, de los cuales el 40% o 510 millones de toneladas de residuos son provenientes de la construcción y demolición. Estados Unidos produce alrededor de 325 millones de toneladas de éste residuo y Japón alrededor de 77 millones. Debido a que China e India ahora producen y emplean más del 50% del concreto del mundo, su generación de residuos será también significativa mientras continúe el desarrollo.

Existe una vasta diferencia en los procesos constructivos alrededor del mundo, pero se estima que el contenido de concreto en los residuos de la construcción y demolición (C&DW, siglas en inglés) se encuentra entre 20 a 80% (WBCSD, 2009).

La recolección de datos acerca de reciclaje de concreto se ha visto extendida debido al creciente interés y preocupación por el desarrollo sostenible. El reciclaje de concreto y la generación de residuos del sector no son un tema reciente, más bien es una problemática que debería estar analizada en cada proyecto que emplee el material en cuestión.

Se requiere una evaluación de todos los beneficios de desarrollo sostenible que brinda el reciclado de concreto. Es decir, se debe ampliar la visión y colocar al concreto en el contexto del impacto ambiental de otros materiales. El concreto posee un alto impacto ambiental con respecto a los materiales empleados en su fabricación, como la fase de producción del cemento. El transporte y en todas las etapas de producción es la segunda causa de impacto.

El concreto puede emplearse en una variedad de aplicaciones constructivas. Una opción es su aplicación como agregado. Su uso como agregado grueso en base de carreteras, pavimentos y en sub-base es el más común. Investigaciones han concluido que el concreto reciclado de una cierta calidad y composición incorporado en las capas de la sub-base y base permite que el grosor de éstas se reduzca debido a las buenas propiedades de rodamiento del material. (WBCSD, 2009).

Se ha encontrado que cuando se utiliza en la base y en la sub-base, el material cementante sin consolidar en el concreto reciclado cuenta con una adhesión superior a la que posee el agregado virgen. Por lo tanto la resistencia es incrementada, proporcionando una base muy buena para la construcción de nuevos pavimentos. (WBCSD, 2009)

El principal beneficio de su reciclaje es la reducción de residuos depositados en vertederos y la degradación del entorno asociada a la actividad. El reciclado de concreto no sólo significa una disminución en la generación de residuos sino también en la cantidad de terreno que son perturbados y áreas vírgenes que pueden ser conservadas.

La sustitución de recursos vírgenes y la reducción asociada a los costos ambientales implicados en la extracción de la naturaleza constituye otro beneficio del reciclaje del concreto. Se debe tener en cuenta que los recursos necesarios para la producción del concreto son no renovables y su fabricación tiene altos impactos ambientales, especialmente el cemento.

A menudo, el concreto puede ser reciclado en el área de demolición o construcción, o cerca de las áreas urbanas donde puede ser reusado. Lo que conlleva a la reducción de costos de transporte, así como los costos en el uso de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub>. Su larga vida útil puede ser un beneficio sostenible en comparación con otros materiales. Algunos estados de los Estados Unidos han estimado ahorros de hasta 50-60% usando agregado reciclado en comparación con agregado nuevo (WBCSD, 2009).

En el caso de Centro Comercial San Borja, se tuvo que demoler la estructura del centro anterior. Para futuros proyectos, se puede llegar a un acuerdo con constructoras que cuenten con las instalaciones para su segregación y chancado. Especialmente constructores que realicen obras civiles fuera de la ciudad y que tienen plantas chancadoras instalaciones de uso exclusivo para la obra. Habría que utilizar una herramienta como el ACV para verificar que los impactos ambientales generados, como el transporte, no excedan a los generados por la disposición en vertederos. Y de la misma manera, que como en las otras prácticas se puede pedir un certificado para ser canjeado por un bono.

Otra aplicación como agregado grueso es en la mezcla de concreto. Comúnmente se piensa erróneamente, que el agregado de concreto reciclado no debe usarse en concreto estructural. Si bien normas y regulaciones consideran las limitaciones físicas del agregado de concreto reciclado, también deberían promover su uso adecuado.

Un estudio realizado por el National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) en los Estados Unidos, concluyó que hasta un 10% de Agregado de Concreto Reciclado o Recycled Concrete Aggregate (RCA) es conveniente como sustituto del agregado virgen para la mayoría de aplicaciones de concreto, incluyendo concreto estructural (Obla, K et al, 2007).

Mientras que, investigaciones del Reino Unido muestran que el RCA, al igual que las conclusiones obtenidas por los Estados Unidos, puede usarse en diferentes aplicaciones

de concreto, pero hasta un 20%. Directrices del Estado Australiano indican que hasta un 30% del RCA puede emplearse en concreto estructural, asegurando ninguna diferencia notable en cuanto a trabajabilidad y resistencia en comparación con el agregado natural (WBCSD, 2009).

Por tanto, investigaciones demuestran que su aplicación en el concreto es viable. Se debe tener en cuenta que el agregado de concreto reciclado posee cemento, por lo tanto, su reuso en el concreto tiende a tener mayor capacidad de absorción y menor resistencia que un agregado virgen (WBCSD, 2009). Por consiguiente, algunas veces es necesario agregar cemento a la mezcla. Las propiedades físicas del agregado reciclado dependen tanto de la calidad como de la cantidad de mortero incluido en la mezcla.

Un claro ejemplo del uso de agregado reciclado en concreto premezclado es el llamado “Boral green concrete”, el cual ha sido usado en una serie de edificios en Australia, incluyendo la segunda casa del Green Building Council (WBCSD, 2009).

Un estudio realizado por Etxberria y demás en el 2007 tuvo como objetivo examinar la dificultad de obtener la misma resistencia a la compresión en el concreto con altos porcentajes de agregado reciclado y concreto convencional.

En dicho estudio el agregado reciclado obtenido de la trituración de concreto fue usado en la producción de concreto. Cuatro diferentes dosificaciones de concreto con agregado reciclado fueron producidas con un porcentaje de 0%, 25%, 50% y 100% de RCA, respectivamente.

**Tabla 3.10:** Propiedades de las muestras de concreto a los 28 días y 6 meses.

	Resistencia a la compresión (Mpa) 28 días	Resistencia a la compresión (Mpa) 6 meses	Resistencia a la tracción (Mpa) 28 días	Resistencia a la tracción (Mpa) 6 meses	Módulo de elasticidad (Mpa) 28 días	Módulo de elasticidad (Mpa) 6 meses
<b>CC</b>	35.53	42.54 (+19%)	2.84	3.64 (28%)	32,129	32,437
<b>RC25</b>	38.79	46.28 (19%)	3.01	3.88 (29%)	32,840	31,427
<b>RC50</b>	39.42	44.4 (13%)	3.36	3.65 (8.6%)	32,505	29,758
<b>RC100</b>	38.26	38.66 (1%)	2.79	3.28 (18%)	28,635	27,063

Fuente: Etxeberria, et al 2007

Donde RC: Concreto con RCA

CC: Concreto convencional

La evolución de la resistencia a la compresión fue diferente en todos los concretos. Se descubrió que, con respecto al concreto convencional, la resistencia a la compresión medida a los 28 días se incrementó a 19%, comparándola con la medida a los 6 meses. El mismo incremento en la resistencia a la compresión se obtuvo en el concreto con 25% de agregado reciclado (Tabla 3.10).

Sin embargo, cuando el porcentaje de agregado reciclado empleado fue incrementado, la resistencia a la compresión no fue acentuada a tal grado. Lo cual puede ser una consecuencia de la acumulación de cemento en la superficie de los agregados, produciendo una baja relación de agua/cemento y una efectiva zona de transición interfacial (ITZ, siglas en inglés), El ITZ es mucho más denso que la pasta antigua (mortero adherido), consecuentemente lo hace más débil (Anexo 3.12) (Etxeberria, et al 2007).

El agregado de concreto reciclado posee una mayor resistencia a la tracción que en el concreto convencional, excepto por el concreto donde se empleó un 100% de agregado reciclado.

Por el contrario, el Módulo de Elasticidad de concreto con agregado reciclado fue reducido cuando el porcentaje de agregado reciclado fue incrementado. Consecuencia esperada, ya que el agregado reciclado es más propenso a la deformación que el agregado virgen. Además, cabe resaltar que el módulo del concreto depende significativamente del módulo de los agregados.

La falla del concreto deriva de su punto más débil. En este caso, de concretos de resistencia media, es propiamente del agregado reciclado. A diferencia de concretos convencionales de resistencia media, donde su punto más débil es la interface.

En conclusión, en cuanto a las propiedades del agregado reciclado, el concreto triturado por impacto en la trituradora alcanza un mayor porcentaje de agregado grueso reciclado sin mortero adherido. A partir de sus propiedades físicas, su calidad es aceptable para emplearlo como agregado secundario en la producción de concreto. Se debe considerar su capacidad de absorción y el nivel de humedad.

Por lo tanto, el agregado reciclado debe usarse en concretos con poca o mediana resistencia a la compresión (30-45 MPa). Concretos que poseen esta resistencia media, hechos con un 25% de agregado reciclado alcanzan las mismas propiedades mecánicas que un concreto convencional usando la misma cantidad de cemento y con la misma relación w/c (agua:cemento).

Para que un concreto con 50% de agregado reciclado alcance la misma resistencia a la compresión a los 28 días de un concreto convencional requiere entre 4-10% menos w/c y de 5-10% más cemento. Sin embargo, la resistencia a la tracción del agregado reciclado puede ser mayor que el concreto convencional.

Si bien, en otros países se ha demostrado su viabilidad. El mercado peruano no cuenta con plantas clasificadoras y trituradoras para poder implementar la práctica sostenible. Se requiere la tecnología adecuada de modo que la calidad no se vea afectada, y para llegar a esa condición de residuo, el precio es elevado.

Entre las mejores prácticas para su recuperación, se debe tener en cuenta tres aspectos claves. Primero, es esencial una óptima clasificación del material proveniente de la construcción y la demolición. Segundo, el empleo de procesadores energéticamente eficientes, prestando atención a la potencial contaminación acústica, atmosférica y del agua. Y finalmente, un análisis comparativo de procesamiento en el lugar frente a uno alejado.

El método más empleado para el reciclado de concreto seco y endurecido es el de triturado. Clasificadoras y trituradoras móviles a menudo se instalan en los alrededores de la obra permitiendo el proceso in-situ. (Anexo 3.13)

Otra forma más viable de aprovechar el concreto al final de su vida útil es reusarlo en su forma original. Como por ejemplo en bloques en su forma original, o cortarlo en partes más pequeñas y tiene incluso, menos impacto ambiental (WBCSD, 2009). Se debe considerar que existe un mercado limitado donde emplear esta opción.

Diseños mejorados de edificios permiten el reuso de losas y también los que transforman edificios sin la necesidad de demolerlos. Losas de concreto que poseen el núcleo hueco son más fáciles de desmantelar, siendo la duración normalmente constante, haciéndolos buenos para su reuso (WBCSD, 2009).

Por ejemplo, Tailandia emplea desechos de concreto para hacer bloques de pavimento, macetas y bancos para el uso de la comunidad. También se encontró que concreto reciclado de la construcción es un buen material para ser usado en arrecifes artificiales en Chesapeake Bay, Estados Unidos, en la restauración de bancos de ostras (WBCSD, 2009).

Algunas incertidumbres de las aplicaciones del concreto al finalizar su vida útil, son que la calidad del agregado reciclado depende directamente de la calidad del concreto original y que cualquier condición excepcional pudo afectar al concreto. En un estudio holandés, se encontró en concreto reciclado infiltración de bromo y cloro. En Japón, en residuos de concreto se podía encontrar cromo hexavalente y plomo, producto del cemento; esto podría causar contaminación de suelo (WBCSD, 2009).

En la actualidad, el sector constructor peruano se encuentra en la etapa de crecimiento, donde es preferible económicamente, y porque es la única opción en el mercado, la demolición de las estructuras para ser dispuestas en vertederos. Si de alguna manera, la empresa puede recuperar bloques de concreto para ser usados por la Municipalidad como macetas y bancos, o que se reingrese partes del concreto demolido al concreto ciclópeo. Los impactos de éste porcentaje reusado serán eliminados y habrá una contribución al medio ambiente por parte de la empresa.

### 3.2 Prácticas sostenibles aplicadas directamente en la obra:

Proyecta Ingenieros Civiles S.A.C. ofrece entre sus servicios la Gestión del Diseño, como Ingeniería de Valor. Una recomendación para que las prácticas propuestas se puedan llevar a cabo, es la formación de un área de Investigación y Desarrollo. Donde se pueda analizar la viabilidad de las prácticas propuestas o proponer mejoras a las mismas para su adaptación según los recursos de determinada empresa. Especialmente, en el caso de proyectos EPC (Engineering, Procure and Construction) la empresa podría plantear una alternativa de ingeniería al cliente, como valor agregado.



El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) es un estudio que busca disminuir los impactos ambientales, si es que se cumple con los Planes de Mitigación y Prevención expuestos en el informe. Los encargados del proyecto deben identificar las medidas que se puedan aplicar rápidamente en la obra.

Una medida de prevención presentada en el EIA del proyecto, es la instalación de una malla atrapa polvo durante toda la etapa de construcción del proyecto. También, el



humedecer la zona previa a la demolición y/o movimiento de tierras, así como el agregado fino que es almacenado en la obra (Figura 3.12). Los volquetes que transportan agregado hacia la obra o que se retiran de la obra con residuos provenientes de la excavación, deben humedecer previamente el material y ser transportado con mallas para evitar las emisiones de partículas. Éstas son prácticas para la disminución de emisión de polvo.

**Figura 3.12:** Agregado fino colocado en la obra.  
Fuente propia

Toda decisión de compra de materiales debe incluir el impacto ambiental además del aspecto económico, esto con ayuda de la herramienta del Análisis de Ciclo de Vida. En el mercado, los materiales para acabados son los que mayor información técnica cuentan. Por ejemplo, en el caso de las pinturas, de preferencia utilizar las que son a base de agua

Es una práctica tradicional que durante la construcción se tenga en cuenta la cadena de suministro tradicional, desde el proveedor de materiales, pasando por su fabricación y que el producto llegue a manos del cliente, sin que se tome en cuenta los impactos ambientales, como es el caso del transporte del material o producto a su destino. Pero no se tiene en cuenta los beneficios de una cadena inversa de suministros, donde se realice un reciclado o reuso del producto desechado.

En cuanto a la generación de residuos sólidos, primero se debe promover una cultura de reducción de la fuente entre los trabajadores de la obra. La reducción de la fuente

es poner en práctica medidas como las compras o utilizar la materia prima de manera que se reduzca la cantidad de basura creada, siendo una cultura de prevención de residuos.

Muchas veces, por la premura del proyecto, emplean retazos de materiales para actividades temporales. Por ejemplo, cuando el operario carpintero está encofrando un elemento y le falta un retazo, si no hay cerca material del tamaño que necesita, corta una plancha o listón de madera según el requerimiento, en vez de poder usar los residuos de otros encofrados.



**Figura 3.13:** Vista panorámica del proyecto. Fuente propia

Durante la construcción del proyecto, se observó que había una buena señalización de los accesos (Figura 3.13), las áreas de trabajo estaban ordenadas y los puntos temporales de acopio de material estaban bien delimitados (Figura 3.14).



**Figura 3.14 y 3.15:** Izquierda - Señalización del sótano 1 del proyecto. Derecha - Vehículos pesados con material que llega a obra. Fuente propia

También fuera de la obra, en sus alrededores, la señalización a los peatones debe ser visible. Debe haber un obrero que se encuentre recibiendo y dirigiendo los vehículos pesados que lleguen al proyecto, para evitar el tráfico y posibles accidentes con los peatones. Se debe implementar un horario y planificar diariamente la llegada de material para que no se genere la congestión entre los volquetes que lleguen (Figura 3.15).

En las Figura 3.16 y 3.17 se observa que se aplicaron medidas de prevención para minimizar la generación de residuos sólidos mediante la habilitación de cilindros metálicos para el almacenamiento temporal de residuos.



**Figuras 3.16 y 3.17:** Izquierda - Cilindros metálicos en la obra. Derecha - Cuadro informativo de la distribución de cilindros metálicos por colores. Fuente propia

Si bien, las áreas de acopio temporal de residuos estaban bien delimitadas, se podría mejorar su segregación con los cilindros, que muchos de ellos estaban vacíos. Además, las Cajas Ecológicas, es un servicio certificado por DIGESA para hacerse cargo de los residuos reaprovechables provenientes de la obra como ladrillos, mezcla de concreto, residuos de la demolición y escombros, mas no de residuo contaminado como basura (cartón, madera, plástico, tecnopor, entre otros). Pero lo que se observó en la obra, fue que las Cajas Ecológicas eran utilizadas para todo tipo de residuo (Figuras 3.18 y 3.19). Una recomendación para poder aprovechar todos los residuos generados y disminuir el volumen que es derivado a los botaderos, es la óptima segregación de los mismos.

Una manera de mejorar la segregación es mediante la capacitación constante a los trabajadores de la obra. Todas las mañanas se brindan charlas de seguridad y medio ambiente en las obras con una duración aproximada de 15 minutos. La mayoría de las charlas están enfocadas a la seguridad de sus trabajadores, lo cual es adecuado; pero también se debe incluir con más frecuencia algunas medidas para mejorar la segregación de los residuos, como el correcto uso de los cilindros metálicos.



**Figuras 3.18 y 3.19:** 3.17 (izquierda) Caja Ecológica de la obra. 3.18 (derecha) acopio temporal de residuos de la obra. Fuente propia

Por tanto, se recalca la importancia de Planes de Manejo de Residuos. Como por ejemplo, en el caso de los neumáticos, las obras pueden aprovechar en llegar a un acuerdo con los proveedores y hacer un Plan de Reciclaje de Neumáticos. La empresa podría actuar de intermediaria entre los proveedores e industrias como Cementos Lima, para que utilicen los neumáticos desechados en sus hornos o con empresas como TDM que se especializan en geosintéticos, emulsiones asfálticas y demás. Para poder aprovechar el neumático como fuente de energía o como agregado en el asfalto de caucho (Rubberized Asphalt). De aplicarse ésta práctica, las industrias podrían darle un certificado a la empresa asegurando el destino de dichos neumáticos.

El cliente suele otorgar bonos por plazo o reducción de costo durante la construcción del proyecto. Pero también los certificados podrían canjearse por bonos otorgados por el cliente y ser empleados en el cálculo de KPI (Key Performance Indicator) o Indicadores Claves de Desempeño, en la categoría Ambiental.

En caso, los proveedores no estén dispuestos a unirse en la iniciativa. Pueden otorgar sus neumáticos desechados a la empresa y que ellos lo vendan a recicladores,



intermediarios o directamente a empresas que puedan emplear este desecho como combustible o agregado en aplicaciones civiles. A cambio de un certificado entregado por la empresa que está reutilizando los neumáticos en sus plantas, que garantice que los neumáticos hayan sido empleadas para tal finalidad.

Además de Centros Comerciales, Proyecta Ingenieros Civiles S.A.C. también ha realizado proyectos Educativos y Edificios Multifamiliares. Otra forma de reusar los neumáticos desechados, por las subcontratas y captados por la empresa, es incluyéndolos en los parques recreativos para niños (Figura 3.20). Se puede incluir en las estructuras de los juegos como también ser triturados en pequeñas partes y que sirvan de superficie, como sustituto del césped.



**Figura 3.20:** Aplicaciones de neumáticos desechados en parques recreativos para niños.

Fuente: Google imágenes

Además, otra de las aplicaciones más empleadas en nuestro país se encuentra el denominado “chatarreo”, donde recicladores recopilan residuos de acero para entregarlos a las fábricas como Aceros Arequipa. Procedimiento que debería ser impulsado para promover el reciclaje del acero. En la Figura 3.21 se observa la cantidad de acero que es desechada y colocada posteriormente en las cajas ecológicas.



**Figura 3.21:** Acopio temporal de desechos de acero en la obra. Fuente propia.



Si bien, el residuo siempre se va a generar, una manera de disminuir el volumen producido es mediante el pedido de elementos de acero a la medida como los estribos (Figura 3.22). Otra ventaja es la eliminación del tiempo de armado en las instalaciones de la obra y sólo se considera el acarreo y tiempo de colocación.

**Figura 3.22:** Estribos de acero prefabricado. Fuente propia

Otra medida, que se utilizó en la obra, fue el uso de prelosas. Consiste en losas de concreto prefabricadas de 15cms que se apoyan sobre las vigas, para su posterior vaciado. Las ventajas en cuanto a producción, es la reducción de los tiempos de encofrado, así como los de colocación, ya que se hace directamente con la torre grúa. También se elimina el tiempo de armado del acero inferior, porque viene incluido en la prelosa. En cuanto a las ventajas ambientales, se reduce los residuos provenientes de las mezclas de concreto, así como del acero, debido al acero inferior.



**Figura 3.23:** Prelosas no aptas para su colocación.

Fuente propia

Para que haya una reducción de los residuos generados, el control de calidad por el que pasan los productos debe ser el óptimo. Especialmente en los productos prefabricados, si se encuentra una prelosa en mal estado o que no cumple con las especificaciones técnicas cuando llega recién a la obra (Figura 3.23), se pierde tiempo hasta que puedan prefabricar otro y sea acarreado a la obra, por tanto todo el avance programado se atrasa. También, el producto rechazado es devuelto en modo de residuo.

Una práctica que se podría implementar es que un ingeniero vaya a las industrias que fabrican dichos productos prefabricados como prelosas o estribos para verificar que cumplan con las condiciones, de modo que cuando lleguen a la obra no haya pérdida de tiempo y de material, así como los viajes de la prelosa hacia la obra. Por lo tanto, en el caso que empresas no puedan crear un área de Investigación y Desarrollo, se debe reforzar la cultura de cuidado ambiental. Los principales personajes que se encuentran en contacto con el proyecto son los trabajadores, con capacitaciones constantes e Ingenieros de Prevención de Riesgo y Gestión Ambiental (PdRyGA) que recalquen diariamente no sólo la seguridad sino también la buena administración de los recursos y segregación de los residuos sólidos.

La cultura por el cuidado ambiental debe ser inculcada en todas las áreas del proyecto, ingenieros de producción, de calidad, de PdRyGA, oficina técnica. Si hay oportunidad

de comparar entre productos, las decisiones de compra deben tener en cuenta el ámbito económico y también, el ambiental.

Según algunas de las prácticas recomendadas en el presente estudio, el proyecto, que suele estar dividido por frentes de trabajo, puede recibir algún bono o premio por incluir entre sus preocupaciones no sólo la producción de su frente, sino también la preocupación por el ambiente. Al finalizar el proyecto, el frente que obtuvo mejores resultados se reparte el premio entre todos los involucrados.

### 3.3 Ámbito socioeconómico:

La sostenibilidad en el ámbito social y económico se alcanzaría cuando las inversiones y beneficios del desarrollo fuesen distribuidos equitativamente entre todos, sin dejar de lado el potencial desarrollo de las generaciones futuras. De modo que exista una gestión adecuada en los recursos, que mantenga continuo el sistema económico.

La encuesta no probabilística sobre el proyecto San Borja Plaza se realizó con el objetivo de conocer las opiniones de los encuestados no sólo sobre la etapa de construcción del proyecto, sino también sobre la etapa de operación del mismo. Poder mejorar la relación de la empresa con los vecinos, clientes y trabajadores de alrededor, mediante prácticas que se puedan aplicar gracias a los resultados obtenidos en la encuesta. Además, mediante la encuesta se busca obtener conclusiones sobre el ámbito social y económico, pilares que aún no habían sido investigados en la presente tesis. Dichas conclusiones se obtienen gracias a que las encuestas recopilan información de las percepciones de los vecinos, incluyendo los impactos económicos de la construcción del proyecto.

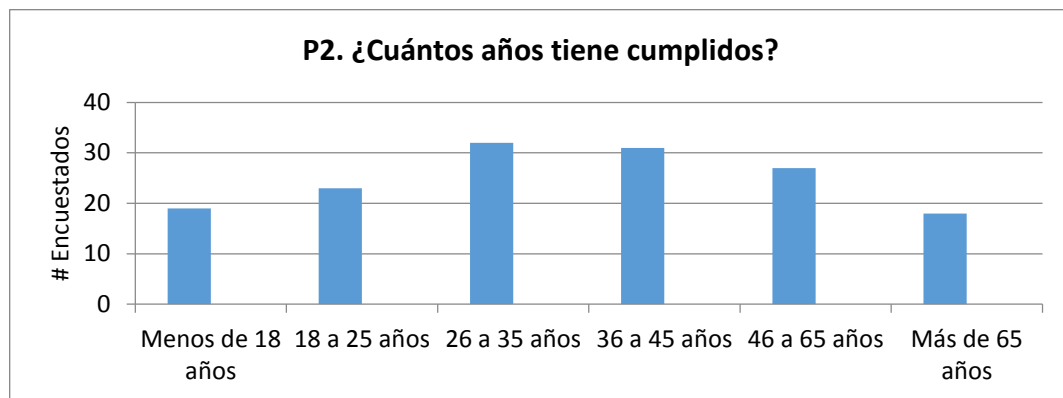
Mediante el programa estadístico SPSS, se obtuvo la significancia entre las variables no paramétricas mediante el coeficiente Tau\_b de Kendall, utilizado para establecer si dos variables pueden considerarse como dependiente estadísticamente. El programa realiza una simulación Montecarlo, que consiste en correr “n” veces variables aleatorias y obtiene el resultado que mayor probabilidad tiene de ocurrir, es decir, si la Significancia fue menor que 0.05, hay relación entre las variables; y por tanto, si es mayor, no hay relación entre ellas. A lo largo del capítulo se irá introduciendo las



correlaciones entre variables que tengan un valor de significancia menor a 0.05 (Anexo 3.15).

La encuesta (Anexo 3.14) estuvo dirigida a tres grupos específicos de personas: vecino residencial de San Borja (59 personas), trabajador en algún negocio ubicado en los alrededores del proyecto (48 personas) y cliente de algún negocio ubicado en los alrededores del proyecto (43 personas), siendo un total de 150 personas encuestadas. Si bien algunos encuestados podían clasificarse en dos grupos, se les pidió que escogieran uno, para poder agruparlos en una pregunta filtro que luego sería correlacionada con otra pregunta informativa. Ésta primera pregunta filtro permitirá más adelante brindar algunas apreciaciones sobre las opiniones de los encuestados.

Además, se clasificó a los encuestados según su edad, procurando tener una distribución equitativa de los seis grupos de edad (Figura 3.23). Cabe resaltar que los encuestados clasificados en los grupos de más edad tuvieron mayor predisposición para responder la encuesta.



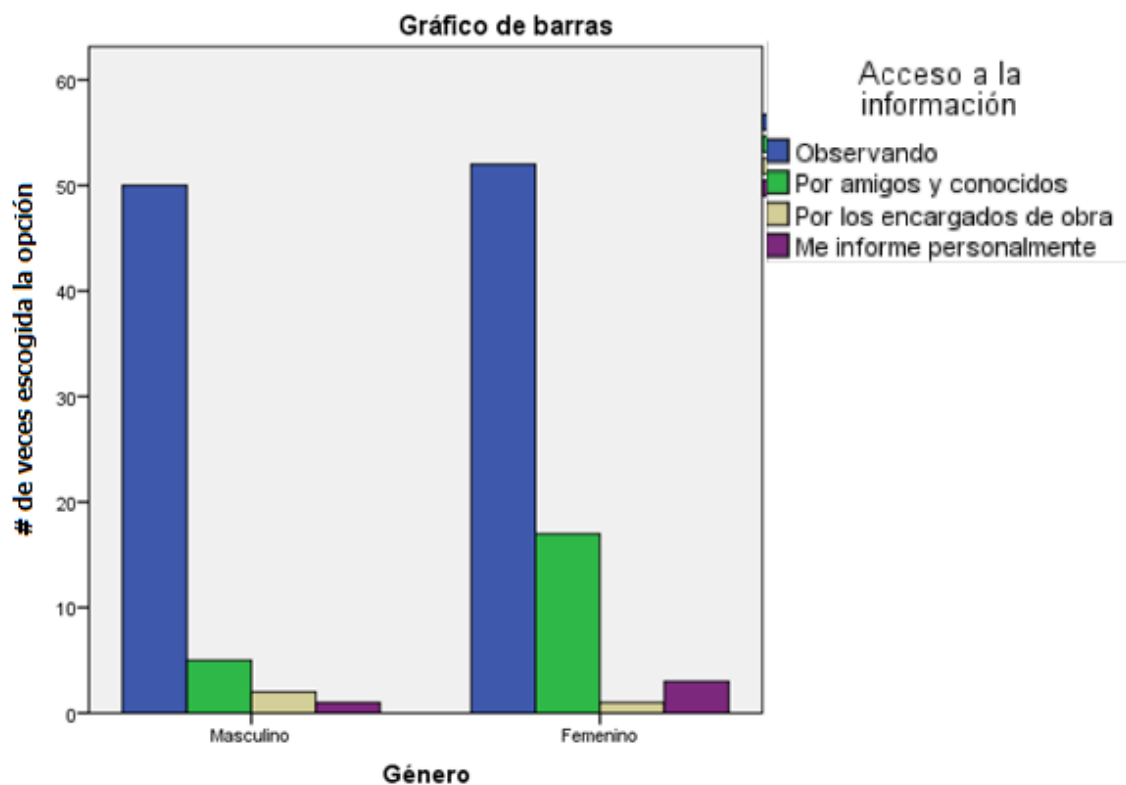
**Figura 3.23:** Resultados de la Pregunta 2: ¿Cuántos años tiene cumplido?

Fuente: Elaboración propia

La tercera pregunta es la clasificación del encuestado en el sexo Femenino o Masculino. En cuanto al nivel de instrucción, que fue la pregunta 4, la mayoría de los encuestados (32%) tienen universitaria completa, el 18% cuenta con secundaria incompleta, aprox. El 21% tiene secundaria completa/superior no univ. Incompleta, mientras que el 24% cuenta con superior no univ.completa/uni. Incompleta y casi el 5% tiene postgrado.

En cuanto al grado de información del proyecto, casi el 60% respondió que conoce POCO del mismo y casi el 20% consideró que conoce NADA del proyecto. Es decir, el 80% opina que no es suficiente la información que tiene del proyecto. Por lo tanto, el 20% restante conoce BASTANTE de la obra.

En cuanto a la forma como obtuvo la información, aproximadamente el 74% opina que lo que conoce del proyecto lo obtuvo observando sus actividades. Y mientras algunos consideraban que no conocían nada (Pregunta 5) marcaban la opción que la información obtenida era mediante la observación de las actividades y de igual manera con las opciones poco, bastante y mucho, es decir, puede ser subjetivo cómo clasificaban el conocimiento que tenían de la obra. Por tanto, la proyección que la obra da a los vecinos es muy importante para que ellos puedan formar un juicio sobre el proyecto.



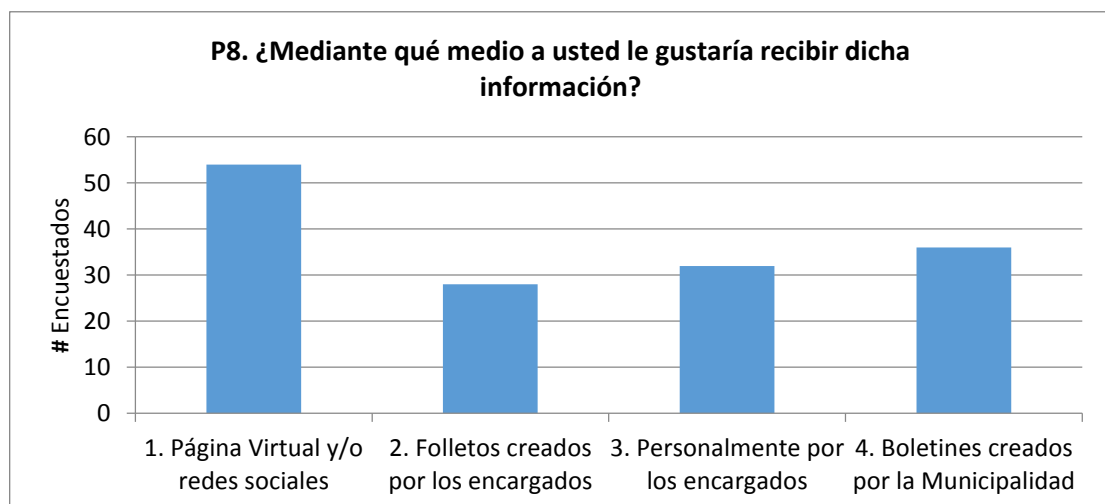
**Figura 3.24:** Correlación: Género vs. Acceso a la información

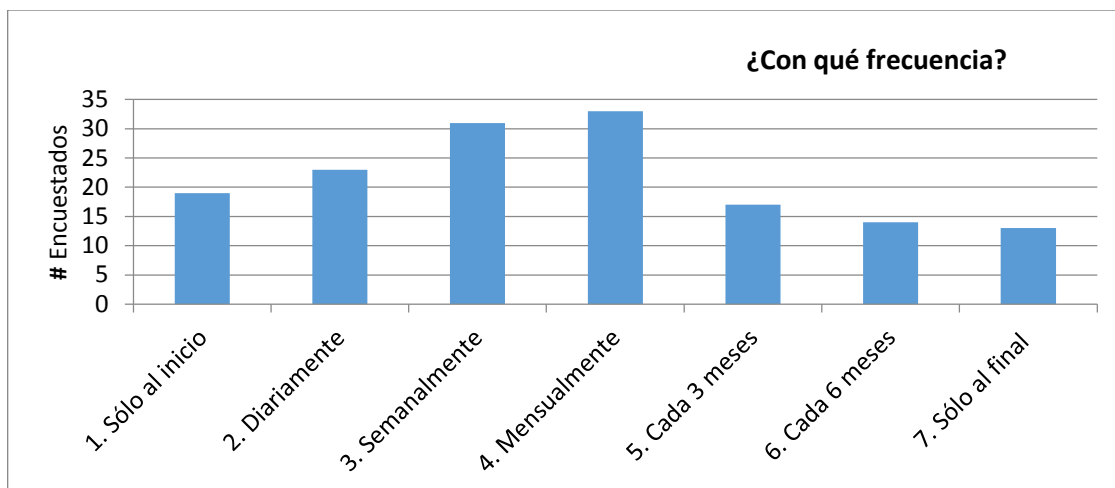
Fuente: Elaboración propia

Las mujeres (17) obtuvieron información por amigos y conocidos en mayor proporción que los hombres (5). También, el hecho que el 6% haya obtenido información mediante los encargados de obra y se haya acercado personalmente, especialmente mujeres, muestra el interés por el proyecto (Figura 3.24). Así como, algunas personas, clasificadas en los dos grupos de mayor edad, comentaron que buscaron información en Internet. Estos resultados nos indican que de brindar información, en cualquiera de sus formas, ésta será difundida mediante comunicación hablada, de “boca a boca”, ya que la segunda opción más marcada fue Por amigos y conocidos.

A la pregunta de si le gustaría estar más informado acerca de las actividades, el 63% respondió que sí les gustaría, porcentaje elevado de personas interesadas en saber más del proyecto; mientras que al 37% no les gustaría. Por lo tanto, la importancia de la pregunta radica en el hecho que si bien algunos consideran que conocen poco o nada del proyecto, también opinan que no les gustaría estar más informados. Entonces al 63% que sí le gustaría se podría implementar medidas para que obtengan más información y que las dudas que les son generadas puedan ser suprimidas.

De esta manera, la siguiente pregunta nos ayuda a conocer de qué manera le gustaría al encuestado recibir información del proyecto. Al 36% le gustaría mediante una *Página virtual y/o redes sociales*, al 24% mediante *Boletines creados por la Municipalidad*, mientras que al 19 y 21% mediante *Folletos creados por los encargados* y *Personalmente por los encargados*, respectivamente. Ésta última sería la más difícil de llevar a cabo debido a los recursos que implica como por ejemplo organizar el lugar, la fecha y hora que sea adecuada para los encargados como para los vecinos/clientes/trabajadores (Figura 3.25).





**Figura 3.25:** Resultados a y b de la Pregunta 8: ¿Mediante qué medio a usted le gustaría recibir dicha información?, ¿con qué frecuencia?

Por lo tanto, una recomendación sería realizar un blog o página en alguna red social como Facebook o Twitter, el cual se encuentre colocado como un vínculo en la página de la Municipalidad de San Borja para que puedan acceder con facilidad. En la página virtual o red social no sólo se tendría la oportunidad de mostrar los avances del proyecto, sino que los vecinos podrían opinar y brindar algunas recomendaciones, molestias y/o sugerencias para tener en cuenta, de manera que los vecinos se sientan identificados y parte del proyecto.

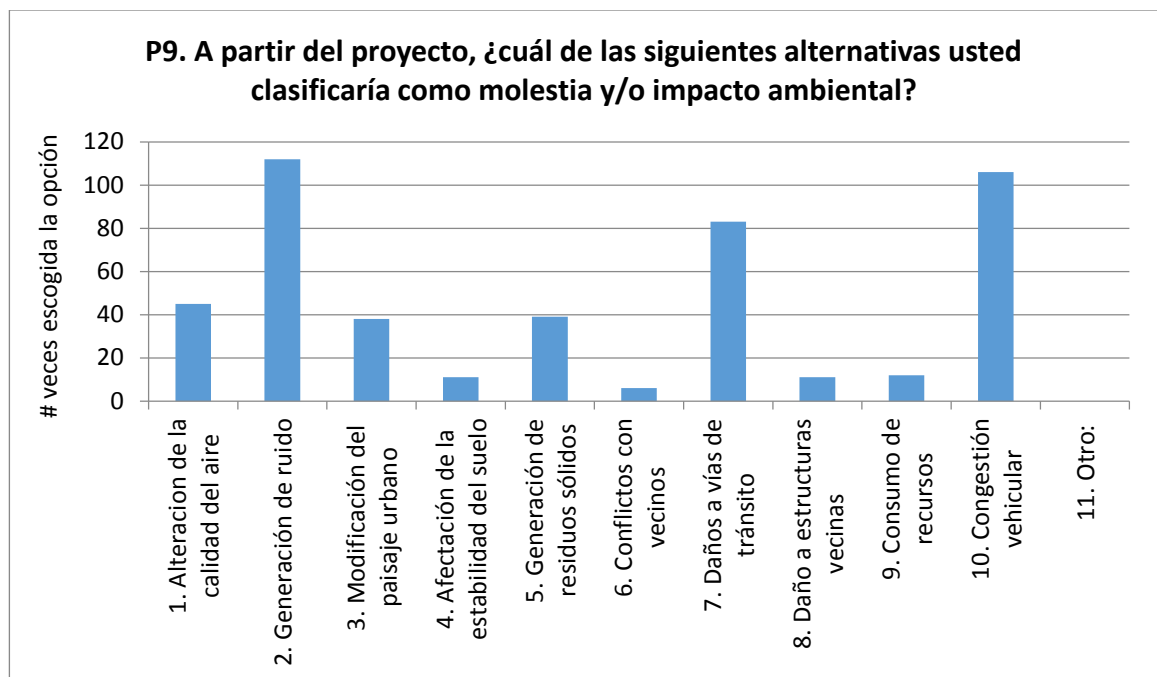
En la página, también se podría informar cuando algunas vías estén congestionadas debido a la llegada de material así las personas pueden tomar sus precauciones. Además pueden informar los beneficios que tendrá el próximo Centro Comercial a inaugurarse, por ejemplo qué tiendas habrá, qué restaurantes y qué novedades en comparación con otros Centros Comerciales tendrá. La persona encargada de administrar las páginas de las redes sociales sería un Community Manager, que se ocupe de responder rápidamente las consultas o quejas de los vecinos y pueda transmitir las principales a los encargados del proyecto; así como captar a otras páginas o usuarios que aumenten la popularidad de la página.

Como también hay encuestados interesados en obtener información del proyecto en forma de boletines, el Community Manager podría crear un artículo recopilando las consultas y quejas de los vecinos en las redes sociales. La misma empresa podría

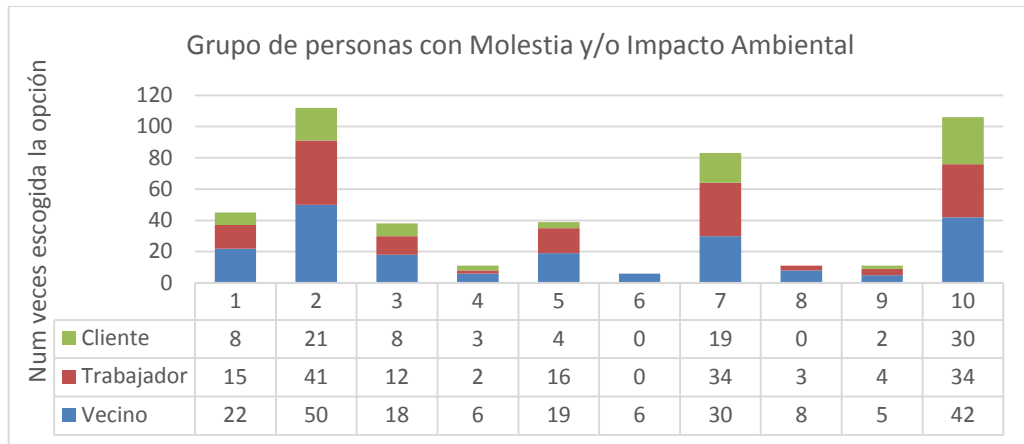
llegar a un acuerdo con la Municipalidad para que incluyan dicho artículo en los boletines que suelen enviar cada cierto tiempo.

En relación a la frecuencia del medio para recibir la información, las respuestas estuvieron distribuidas en las siete opciones, siendo la más escogida la frecuencia mensual con 22%. A partir del medio escogido para brindar información, resulta complicado decidir la frecuencia. Si es que se decide abrir una página virtual y/o red social se podría otorgar avisos de los avances según el progreso de la obra y la importancia de éstos avances, y así las personas podrían preguntar y comentar sin tener un tiempo predeterminado.

A partir de la Pregunta 9 (Figura 3.26) se conoce las percepciones que tienen los encuestados en cuanto a obras de construcción en general y también sobre la obra en particular, San Borja Plaza. En relación a las molestias y/o impactos ambientales, las más marcadas fueron la *Generación de ruido*, los *Daños a las vías de tránsito* y la *Congestión vehicular* con 75, 56 y 71%, respectivamente. Estando las dos últimas relacionadas, ya que el daño a las vías de tránsito puede generar congestión vehicular.



**Figura 3.26:** Resultados de la Pregunta 9: A partir del proyecto, ¿cuál de las siguientes alternativas usted clasificaría como molestia y/o impacto ambiental?



**Figura 3.27:** Correlación entre la opción escogida por los grupos de personas y la molestia y/o impacto ambiental marcada en la pregunta 9

Realizando una correlación entre la pregunta filtro Condición del Encuestado y la Pregunta 9, sobre las molestias y/o impacto ambiental, la opción *Generación de ruido*, fue la que tuvo mayor incidencia dentro del grupo de los vecinos (Figura 3.27). Probablemente porque es la persona que más relación tiene con la obra, es decir, las 24 horas de los 7 días está consciente de lo que sucede alrededor, a diferencia de los otros grupos de personas.

Por disposición municipal, las obras de construcción deben respetar un horario de lunes a sábado o de lo contrario, se les impone una multa. Antes de iniciar la construcción de la obra, se podría organizar una reunión, no sólo con las autoridades municipales, sino también con los vecinos o junta vecinal, y poder Informar a todos los involucrados sobre los trabajos a realizarse. Probablemente se pueda llegar a un acuerdo sobre las horas más recomendadas para efectuar ciertos trabajos. Es entendible que debido a la premura del avance de la producción se dificulta llevar a cabo la recomendación, pero con un Plan Diario teniendo en cuenta la idea previa, podría haber avances significativos.

Se debe realizar controles de monitoreo ambiental en cada etapa de construcción identificada: demolición, construcción del casco y acabados. Según los resultados del monitoreo de ruido de las zonas o actividades más incidentes se puede implementar medidas para reducir el nivel de ruido. Por ejemplo, durante la actividad de corte de ladrillos silico-calcáreo, en la obra éste se realizaba en las zonas más despejadas, especialmente el perímetro de la obra debido a la cantidad de partículas que emitía. Se

podría tener un área destinada a dicha actividad que no esté en el perímetro del proyecto, pero que cuente con un extractor de aire para que no genere polución.

En cuanto a la opción *Daños a vías de tránsito*, el trabajador fue el que más veces escogió ésta opción, y en segundo lugar el vecino, lo cual tiene sentido, ya que son los que más experimentan el tráfico ocasionado ya sea para salir de sus hogares para dirigirse a su centro de trabajo, en caso de los vecinos, o de forma contraria, en el caso de los trabajadores que laboran en la zona. Y en la opción *Congestión vehicular* se encuentra a los vecinos del distrito y a los trabajadores de la zona como los más incidentes para marcar ésta opción.

Una medida para disminuir la molestia debido a la *Congestión vehicular* es evitar almacenar provisionalmente los residuos provenientes de la demolición y/o construcción fuera del perímetro del terreno, así como material que llega a obra (agregado fino y grueso, bolsas de cemento, barras de acero corrugado, etc). Se debe implementar señales visibles de precaución para el tránsito de peatones, así como un obrero que dirija el tránsito de vehículos pesados que lleguen y se retiren de la obra. Además, finalizando con la construcción del proyecto, las vías de tránsito que fueron dañadas deben ser reparadas.

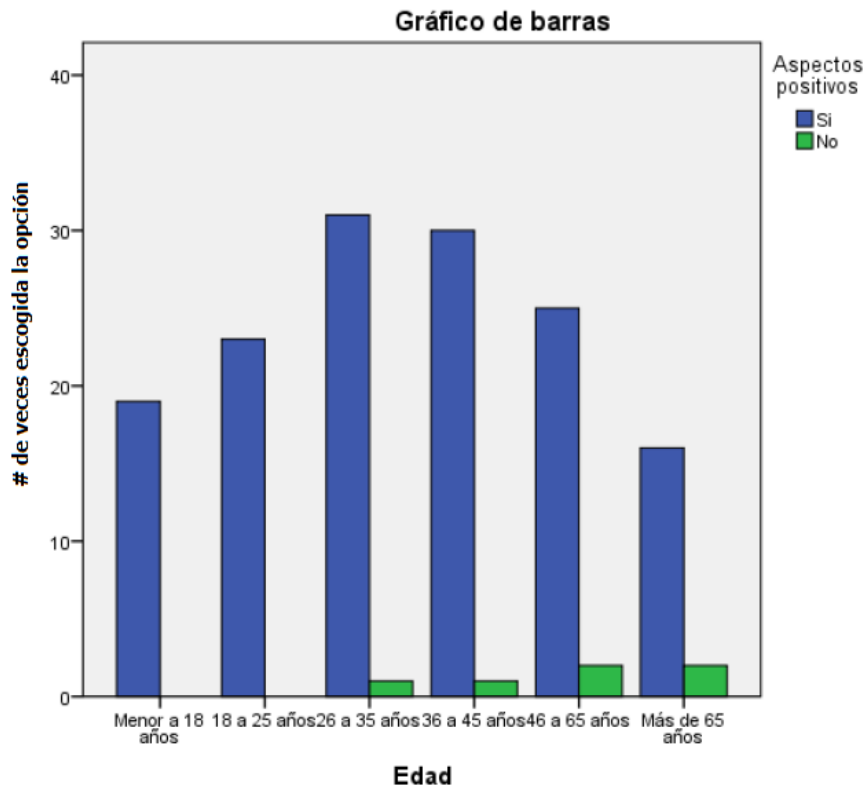
De las opciones marcadas en la pregunta 9, se les pidió al encuestado clasificar sus molestias y/o impacto ambiental según una escala de importancia donde el 1 es *No es Importante*, el 2 es *Poco Importante*, el 3 es *Importante*, el 4 es *Muy Importante* y el 5, *Extremadamente importante*.

Para las escalas 3 (*Importante*) y 4 (*Muy importante*), las molestias y/o impactos ambientales más marcados, al igual que en la pregunta anterior, fueron: *Generación de ruido*, *Daños a vías de tránsito* y *Congestión vehicular*.

Por la velocidad con la que avanza la construcción de la obra y las interferencias que se presentan día a día, se entiende que es complicado trazar un horario para cada proveedor y que no haya cruces entre ellos. Se recomienda saber con anticipación la hora y día en la que llegará un suministro para poder tener la zona habilitada, tanto en el perímetro como dentro de la obra. Así como una cuadrilla de acarreo definida, no sólo conformada por los Riggers sino también por un peón que apoye las labores. En caso los proveedores no respeten el horario de entrega que ellos han confirmado se puede aplicar una sanción definida y acordada por ambas partes en el contrato.

Aunque no fue una de las opciones más marcadas entre los encuestados, la Molestia y/o Impacto: *Conflicto con vecinos*, nos muestra que los grupos de edad desde los 36 años hacia arriba han marcado por lo menos una vez a la opción como *Importante*, mientras que los menos a 36 años no hubo ningún encuestado que lo marcara (Anexo 3.16). Por tanto, se debe enfocar las prácticas a las personas mayores, según su preferencia de acceso a la información.

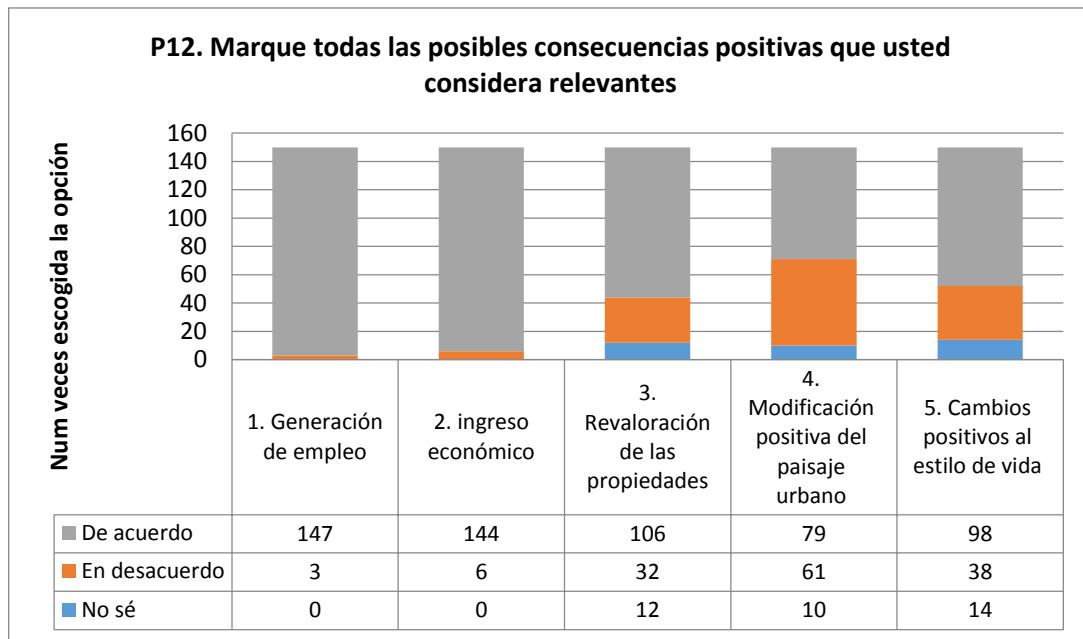
Por otro lado, el 96% de los encuestados opina que la ejecución del proyecto traerá consecuencias positivas, opinión que predomina en un 100% en los grupos de edad más jóvenes (Figura 3.28). Lo cual nos indica, que a pesar de las molestias y/o impactos ambientales marcados anteriormente, la percepción de las obras de construcción es que traen consecuencias positivas. Aun así se podría mejorar la gestión de la obra durante su ejecución para que la percepción del vecino/cliente/trabajador sea considerado en los límites afectados, especialmente en las personas mayores.



**Figura 3.28:** Correlación: Edad vs Opinión sobre Aspectos Positivos



Además de recopilar los Impactos y Molestas principales percibidas por los vecinos, se incluyó una pregunta de Consecuencias Positivas. La pregunta 12 (Figura 3.29) demostró que la mayoría de las personas consideran que el proyecto traerá consecuencias positivas. En ésta pregunta se muestran cinco opciones que podrían clasificarse como consecuencias positivas, según la opinión del encuestado, mediante tres grupos: De acuerdo, En desacuerdo y No sé.



**Figura 3.29:** Resultados de la Pregunta 12: Marque todas las posibles consecuencias positivas que usted considera relevantes.

Las opciones *Generación de empleo* e *Ingreso económico* son las que mayor aceptación tuvieron como consecuencias positivas con 98 y 96%, respectivamente. En cuanto a la revaloración de las propiedades, el 71% estuvo *De acuerdo*, el 21% estuvo *En desacuerdo* y el 8% escogió *No sé*.

En *Modificación positiva del paisaje urbano*, el 53% manifestó estar *De acuerdo* con la consecuencia positiva, mientras que el 41% marcó la opción *En desacuerdo* y el 6% escogió *No sé*. Los valores evidencian que la opinión de los encuestados estuvo distribuida entre estar de acuerdo que la opción es una consecuencia positiva y estar en desacuerdo.

Para la quinta opción, *Cambios positivos al estilo de vida*, el 66% escogió la opción *De acuerdo*, mientras que el 25% marcó *En desacuerdo*. Y el 9% marcó *No sé*.

Manifestaron que el principal cambio sería el tráfico que generaría el Centro Comercial en operación, mientras que otras 6 personas en la opción *Otros* agregaron un impacto positivo, que fue Seguridad.

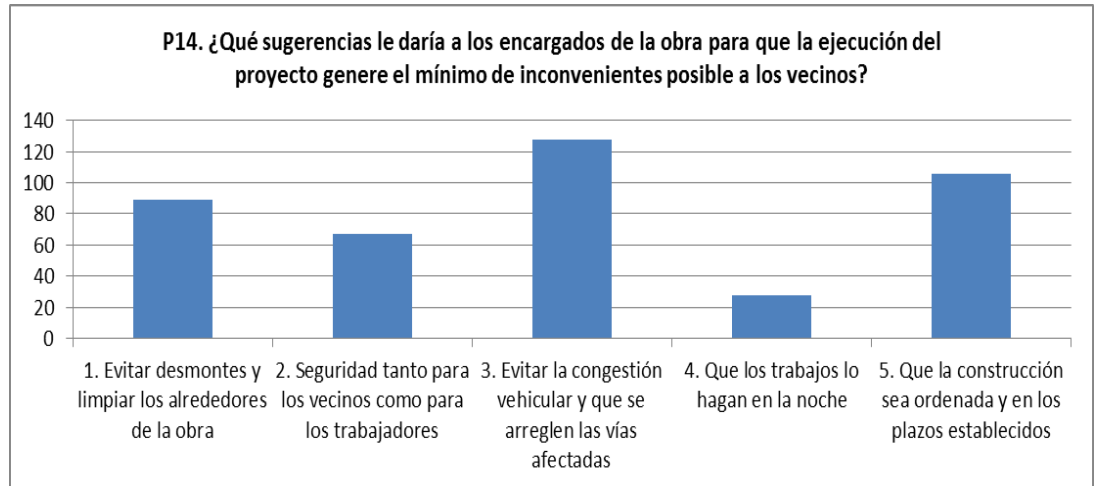
En la opción *Cambios positivos al estilo de vida*, se observa cómo los jóvenes son los que más se adaptan a los cambios, en este caso la construcción de un gran Centro Comercial (Anexo 3.17). Ya que prácticamente el 100% Menos de 18 años estuvo De acuerdo, de la misma manera con el grupo de 18 a 25 años. Éste porcentaje fue disminuyendo a medida que aumentaba el rango de edad. En el grupo de 46 a 65, 13 aprobaron la opción como Cambio positivo, mientras que 8 estuvieron *En desacuerdo* y 6 estuvieron indecisos (Opción *No sé*). Resultados que se sostienen con la relación entre la Edad y opinar si o no a la pregunta si considera que habrá consecuencias positivas (Figura 3.28)

Finalmente, según los porcentajes obtenidos de cada opción, se puede observar que de las cinco opciones presentadas, todas fueron clasificadas como consecuencia positiva por la mayoría. Además, unas seis personas agregaron la opción Seguridad como otra consecuencia positiva.

En cuanto a la percepción del encuestado sobre los requisitos impuestos por la Municipalidad de San Borja para garantizar la protección del Medio Ambiente y de los vecinos, el 63% considera que no es suficiente dichos requisitos (Anexo 3.18). Demostrando inconformidad por la gestión de la Municipalidad con las obras de construcción.

La última pregunta (Figura 3.30) presentaba 5 sugerencias a los encargados para que la ejecución de la obra genere el mínimo de inconvenientes a los vecinos. La opción más marcada fue: *Evitar la congestión vehicular y que se arreglen las vías afectadas* con 85% del total; *Que la construcción sea ordenada y en los plazos establecidos* con 71% del total. Las cuales están directamente relacionadas con las Molestias y/o impactos ambientales más escogidos en la pregunta 9.

Por lo tanto, las sugerencias más marcadas en la pregunta 14 es un punto de partida para crear un plan donde se tome en cuenta la percepción de los vecinos sobre el impacto que genera la construcción del proyecto. Como inicio se puede analizar la viabilidad de las prácticas propuestas en el presente capítulo, las cuales dependerán de cada escenario en el que se ubique el proyecto.



**Figura 3.30:** Resultados de la Pregunta 14: ¿Qué sugerencias le daría a los encargados de la obra para que la ejecución del proyecto genere el mínimo de inconvenientes posible a los vecinos?

La principal sugerencia es considerar el ámbito social lo más anticipado posible, desde el planeamiento del proyecto. Los encargados de la construcción de la edificación deben considerar al vecino como una herramienta con la cual trabajar en conjunto, antes de ser visto como un obstáculo en la producción.

## **CAPÍTULO 4: Significancia de las prácticas sostenibles propuestas en el certificado ambiental de edificios LEED**

LEED es una certificación internacional de edificios verdes, acrónimo de *Leadership in Energy and Environmental Design*, fue creado en 1998 por el U.S. Green Building Council, el cual se encuentra conformado por un grupo de profesionales de todas las áreas relativas a la construcción. Consiste en una aplicación voluntaria, basada en un conjunto de parámetros o normas que se deben tener en cuenta desde la planeación de la edificación, si es que se desee obtener más puntaje. Dicho método busca promover el respeto por el ambiente en la industria de la construcción y el reconocimiento de dicho esfuerzo. (USGBC, 2012)

Las edificaciones que pueden aplicar a la certificación se dividen en nueve estándares: para Nuevas Construcciones y Grandes Renovaciones, Desarrollo de Núcleo y Fachada, para Colegios, Casas, Interiores Comerciales, Centros Médicos, para Desarrollo Urbanístico, Nueva Construcción de Retails, y Operación y Mantenimiento de Edificios Existentes. (USGBC, 2012)

En un principio se establecen siete categorías en todos los estándares que son: *Sustainable Sites* (parcelas sostenibles), *Water Efficiency* (uso eficiente del agua), *Energy and Atmosphere* (eficiencia energética y atmosférica), *Materials and Resources* (materiales y recursos), *Indoor Environmental Quality* (calidad del aire interior), *Innovation in Design* (Innovación en el proceso de diseño) y *Regional Priorities* (prioridades regionales). El cumplimiento obligatorio de cada categoría es denominado *Prerequisites* y si se desea obtener más puntaje se cumple con los requisitos en la sección de *Credits*.

Dependiendo del puntaje obtenido se otorga diferentes grados de certificación LEED: Certificación (40 a 49 puntos), Plata (de 50 a 59 puntos), Oro (60 a 79 puntos) y Platinum (80 puntos a más).

Por un lado, la certificación LEED significa un esfuerzo en solucionar la problemática de cómo construir teniendo en cuenta el entorno y trabajar junto con el ambiente. A pesar que los objetivos planteados son muy positivos y que al parecer buscan cubrir todos los aspectos necesarios para una construcción sostenible, el sistema presenta una serie de limitaciones en cuanto a su aplicación. Según Scheuer y Keoleian (2002),

LEED no se ha desarrollado con el rigor científico de otras normas importantes de la arquitectura, lo cual lo coloca en peligro de destruir sus propias metas.

En primer lugar, LEED fue concebido en Estados Unidos, bajo la normativa y particularidades de dicho país, otorgando puntos de acuerdo a las opciones que más los favorecen. Las condiciones climáticas de dicho país distan mucho de las nuestras, es por eso que los diseñadores podrían optar por un material que no necesariamente vaya acorde o sea el mejor para nuestro clima y que además, su obtención genere impactos debido al transporte del material, que puede recorrer grandes distancias hasta la ubicación del proyecto. Todo esto sólo para obtener puntaje, como es el caso de la categoría *Materials and Resource*.

Por ejemplo, en nuestro país no hay conciencia del sistema ecoetiquetado, y la certificación brinda puntaje si es que se incluye productos ecológicos, que no se podrían conseguir con facilidad, lo cual representa agravar el problema, si es que se toma en cuenta la cantidad de carbono de las emisiones causadas por el transporte de dichos productos. También otorgan puntaje si se incluye materiales fabricados en un radio de 800km, que podría representar una incoherencia con el caso anterior, así como una limitación en los principios de la sostenibilidad, ya que sin un análisis de previo como por ejemplo con la aplicación de la herramienta del ACV, no se puede saber con seguridad si dichos materiales locales representan una mejora en el desempeño ambiental.

Lo que se debe realizar es un análisis entre los créditos, ya que algunos se contradicen en los requisitos para obtener el puntaje. Que la decisión de escoger entre uno y otro crédito genere desconcierto en los encargados del proyecto sólo ocasiona que basen sus decisiones en lo económico y no incluyan los beneficios ambientales.

Además, se debe tener en cuenta de la carencia de normativa ambiental existente en el país. Si bien LEED tiene limitaciones en cuanto a su viabilidad en nuestro país, se debe destacar los vacíos en cuanto a las exigencias en la industria de la construcción del país para poder tener un mejor control del mismo. Los vacíos de normativa que existen en el país hacen que la certificación LEED pueda ser aplicada sin tener los controles suficientes para supervisarlos en los proyectos, ya que es USGBC el que otorga los puntajes basándose en los estándares de la certificación.

Por otro lado, en algunos casos como en el crédito *Construction Waste Management*, la diferencia entre la opción 1 (50%) y la opción 2 (75%) de reciclado de los residuos es considerable, entonces para alcanzar los dos puntos es necesario de un gran esfuerzo, debido a los diferentes residuos generados como el concreto, retazos de varillas de acero y de madera, etc. Dicho esfuerzo puede significar el consumo de más recurso en una mayor escala, que podría no justificarse para la obtención de los dos puntos. De la misma manera con *Recycled Content*, puede que no haya relación entre los porcentajes de energía ahorrados, con el costo y esfuerzo aplicado a los créditos. Es decir, que si bien la intención es conservar los recursos, la disponibilidad de materiales reciclados para edificaciones parece concentrarse en un mayor costo y en elementos de menor volumen, cumpliendo con el crédito pero no necesariamente cumple con alcanzar mayores beneficios ambientales.

En la categoría de *Energy and Atmosphere*, en la sección de estrategias de reducción de energía, los tipos de energía que generan mayor cantidad de puntos para la certificación, no son necesariamente los que producen un mayor beneficio ambiental. Debido a las diversas clases de energía, se debe fijar un precio por cada tipo de energía para garantizar una mejor comparación (Scheuer y Keoleian, 2002).

Además en el crédito 6 de *Energy and Atmosphere* se dispone asegurar un contrato de 2 años para asegurar el cumplimiento de los beneficios de la energía renovable, pero luego de esos dos años no hay garantía que se siga cumpliendo. Otro aspecto que no va de la mano con la sostenibilidad, que se supone se debe sostener a lo largo del tiempo. En todo caso, se podría dar más puntaje si hay periodos más largos de contratos.

La mayoría de categorías están enfocadas en invertir esfuerzos en la etapa de operación del proyecto, si bien es la que más impactos genera en el entorno, eso no quiere decir que las demás no los produzcan o que no se pueda destinar investigaciones y prácticas para aminorar el impacto.

Se debe destacar los esfuerzos por conseguir edificios con un comportamiento amigable con el ambiente. Aunque actualmente, la certificación se esté empleando más como una herramienta de marketing que como una verdadera preocupación por llegar a la sostenibilidad; se debe tener en cuenta que aplicar a la certificación significa mejoras, especialmente en la cultura de los involucrados en el sector construcción. Ya

que además del factor económico, están incluyendo el factor ambiental y social en sus decisiones.

Dichas mejoras no necesariamente llevan a la sostenibilidad, pero comprende un avance en el tema. Hay que considerar, también, que el puntaje obtenido en ciertas categorías no representa necesariamente un beneficio en las demás categorías o que se esté acorde con los principios de sostenibilidad; por lo tanto se debe analizar con más profundidad la relación entre créditos. No es posible clasificar la sostenibilidad en niveles como lo hace la certificación según el puntaje que se otorgue, ya que un sistema es o no es sostenible

La falta de enfoque del rendimiento global se evidencia en el énfasis por alcanzar cada puntaje en los créditos. Que pueden no ser del todo beneficiosos con el ambiente. La falta de ampliación de escala fuera de los contextos de la misma obra presenta otra limitación en la certificación. Ya que la construcción de un proyecto compromete a una serie de stakeholders y sistemas que van mucho más allá del perímetro del mismo. A diferencia de cómo es calificado un proyecto en la certificación, donde otorga puntajes analizando lo que pasa primordialmente dentro de la obra.

Sin embargo, las prácticas sostenibles podrían cumplir con algunos parámetros de la certificación para poder obtenerla. A continuación, se presenta cómo las prácticas sostenibles propuestas previamente podrían obtener puntaje en caso el Centro Comercial aplique para conseguir la certificación LEED. Puntaje obtenido si se estudia con mayor detenimiento las prácticas para que se adecuen a los requerimientos de la certificación. Se clasifica al centro comercial San Borja Plaza en el estándar de Nuevas Construcciones y Renovaciones Mayores

La composición más empleada en la obra fue el concreto, y debido a las materias y energía que contiene, su reciclado representa una serie de ventajas que fueron explicadas anteriormente. LEED en la categoría *Materials and Resources*, crédito 4, requiere que la suma de contenido de reciclado postconsumo más el 50% del contenido del material para construcción constituye al menos el 10 o 20% basado en precio, del valor total de los materiales. Se puede conseguir hasta 2 puntos, según el porcentaje de contenido de reciclaje, ya sea 10 o 20%, si es que se emplea las prácticas sostenibles de reciclado del concreto en el proyecto.

Además, la misma práctica nos ayudaría a conseguir hasta 2 puntos del crédito 2 de la misma categoría, en *Waste Construction Management*, con el propósito de desviar un mínimo del 50% de la masa de la construcción y demolición de los residuos de los vertederos.

Por otro lado, otro recurso empleado antes y durante la operación del proyecto es el agua. De los puntos otorgados en la certificación, un máximo de 10 pueden ser alcanzados con un manejo eficiente del agua. En el crédito 2, *Innovative Wastewater Technologies* se puede alcanzar 2 puntos si se emplea las prácticas sostenibles como la ósmosis inversa o esterilización por rayos UV, además no se detalló pero en la actualidad existen tecnologías donde uriniales reducen el uso del agua como el Propelair que consta de una cisterna con dos divisiones, una de aire y otra de agua, que al cerrar la tapa se sella y permite que el aire limpie luego del paso del agua. (Propelair, 2013). El crédito 3 en *Water Efficiency* permite alcanzar entre 2 a 4 puntos si es que se reduce entre 30 a 40% del uso del agua, por lo tanto sería necesario hacer un estudio de qué capacidad de reducción se tiene con las prácticas mostradas anteriormente.

Mientras que en el uso de la madera, se podría obtener puntaje en tres créditos en la categoría *Materials and Resources*. En el crédito 3: *Materials Reuse*, el uso de residuos de madera como agregado en el compuesto madera-cemento. A su vez se podría alcanzar puntaje en el crédito 5: *Regional Materials*, con el objetivo de elevar el desarrollo local y reducir las emisiones producidas por el transporte de materiales ubicados fuera de un radio de 500 millas, radio requerido por el crédito. Y durante la etapa de operación, empresas como Masisa, productores de tableros de madera como melaninas, placas, puertas, etc, cuentan con productos certificados en los créditos: Material Reciclado, Materiales Regionales y Madera Certificada (Masisa, 2012).

En la categoría *Innovation in Design* se puede obtener hasta 4 puntos por cada estrategia que no esté regulada en el 2009 LEED para Nuevas Construcciones y Renovaciones Mayores. En ésta sección, la práctica de ladrillos ecológicos podría postular para obtener puntos.

La obtención de la certificación se enfoca en los impactos producidos durante la etapa de operación del proyecto, es por eso que entre las categorías *Energy and Atmosphere* e *Indoor Environmental Quality* suman 50 posibles puntos del máximo 110. Por ejemplo



en la categoría de *Energy and Atmosphere* se puede obtener puntaje mediante la implementación de techos verdes gracias a las ventajas presentadas anteriormente.

Finalmente, se debe resaltar que las sugerencias planteadas para obtener puntaje mediante las prácticas sostenibles presentadas en la investigación requieren de un análisis de su aplicación en las obras, de modo que pueda cumplir con los requerimientos de la certificación.

Según el Consejo de Construcción Verde España establece que LEED Green Building Rating System, *“proporciona un marco completo para evaluar la eficiencia del edificio y cumplir los fines de la sostenibilidad. Basado en estándares científicos bien cimentados, LEED hace énfasis en estrategias punteras en sostenibilidad para: el desarrollo de la parcela, eficiencia en agua, eficiencia energética, selección de materiales y calidad medioambiental interior”* (CCVE, 2007). Por lo citado anteriormente y lo expuesto a lo largo de éste capítulo, a mi parecer, queda todavía camino por analizar y poner en reflexión.

## **CAPÍTULO 5: Conclusiones y recomendaciones**

Debido a la economía y a los requerimientos de la sociedad, las actividades constructivas y sus procesos son los consumidores más grandes de materiales y energía, y contaminadores significativos a una escala global. Por esto se debe dedicar mayor atención en entender, investigar y reducir los impactos negativos.

La industria de la construcción es un sector dinámico debido a las relaciones entre mano de obra, la amplia cadena de suministros, la ubicación donde se decide llevar a cabo el proyecto, entre otros elementos que son afectados de manera directa e indirecta. Por lo tanto, se debe considerar una visión integrada del sistema que genera un proyecto, el cual es diferente en cada caso. De modo que se pueda tomar en cuenta todos los aspectos que son involucrados e ir más allá del área de influencia del proyecto, Para poder reducir los impactos ambientales, sociales y económicos.

Se deberá combinar los distintos conocimientos y aprendizajes para que los actores sociales involucrados con distintos intereses puedan ser parte del cambio a pesar de la incertidumbre y la información limitada. Para que se reconozca los diversos puntos de vista, en el que los stakeholders y científicos interactúen para definir inquietudes, haya una retroalimentación y se lleguen a soluciones sostenibles. Para poder acercarnos a la sostenibilidad es vital la integración entre muchas disciplinas. Es urgente ir más allá de estos avances para dar forma a una mejor comprensión de la interdependencia entre el sistema naturaleza y sociedad.

Entre el gran número de materiales que requiere la construcción de una edificación, todavía no se cuenta con una data suficiente que asigne cada material, especialmente, a una escala regional. Por lo tanto, no es sencillo medir y asignar límites ambientales cuando la información completa no es conocida. Hay que considerar que se tienen aún muchas interrogantes planteadas que van más allá de las redes formadas por los materiales más empleados en la construcción como son los agregados, cemento, agua, madera, vidrio, combustible y muchos más.

De esta manera, las prácticas sostenibles propuestas al incluir las dimensiones ambientales, sociales y económicas, amplían la visión y van más allá que el perímetro de la obra. Por tanto, la aplicación de las prácticas propuestas no puede ser realizada enteramente por Proyecta Ingenieros Civiles S.A.C, pero sí ser promovidas e impulsadas. En el caso que la práctica sostenible se refiera a un cambio en la

ingeniería de la obra, se sugiere que se implemente un área de Investigación e Innovación que brinde gestión de diseño, para que presente al cliente las prácticas sostenibles como un valor agregado al proyecto, haciendo ingeniería de valor. Por otro lado, cuando no pueda crearse dicha área, la empresa debe reforzar la cultura de cuidado ambiental entre los principales personajes que se encuentran en contacto con el proyecto: los trabajadores. Mediante capacitaciones constantes del staff, que recalquen diariamente no sólo la seguridad sino también la buena administración de los recursos y segregación de los residuos sólidos.

La principal limitante en la aplicación de las prácticas sostenibles propuestas es la falta de intermediarios para implementarlas. Como son la falta de plantas de reciclaje, de segregación, chancadoras, entre otros, de los residuos incluidos en la presente investigación. Debido principalmente a la falta de mercado por el costo elevado en su instalación en el país. Otra limitante es la falta de supervisión y marco legal en el sector construcción. Como no es una exigencia para los contratistas y diseñadores, no lo incluyen en la ingeniería.

La cultura por el cuidado ambiental debe ser inculcada en todas las áreas del proyecto, ingenieros de producción, de calidad, de PdRyGA, oficina técnica. Si hay oportunidad de comparar entre productos, las decisiones de compra deben tener en cuenta el ámbito económico y también, el ambiental.

Según algunas de las prácticas recomendadas en el presente estudio, el proyecto, que suele estar dividido por frentes de trabajo, puede recibir algún bono o premio por incluir entre sus preocupaciones no sólo la producción de su frente, sino también la preocupación por el ambiente. Y al finalizar el proyecto, el frente que obtuvo mejores resultados se reparte el premio entre todos los involucrados.

Para poder implementar las prácticas sostenibles propuestas se puede hacer uso de una herramienta muy útil: el ACV. Al ser una investigación que analiza todas las etapas del ciclo de vida de un producto, permite detectar las etapas que más daño ocasionan al medio ambiente. Los resultados del ACV deben ser utilizados para tomar decisiones que puedan reforzar las ventajas que brinda un producto sobre otro. Así mediante un cambio en el diseño, con medidas alternativas a los elementos para poder reducir o sustituir los impactos de los más incidentes.

Mientras que en el aspecto social, los resultados de las encuestas socioeconómicas evidenciaron las percepciones de los vecinos tanto para los impactos negativos como para los positivos. Entre las opciones presentadas, la mayor molestia se evidenció en tres impactos: *Generación de ruido*, *Daños a vías de tránsito* y *Congestión vehicular*. Para futuros proyectos se podría mejorar la gestión de las actividades que originan estas molestias. Una propuesta es brindar información del proyecto al vecino mediante un blog o página en una red social como Facebook o Twitter donde se muestre los avances del proyecto y los vecinos puedan brindar su opinión al respecto.

Entre los impactos positivos, la *Generación de empleo* y el *Ingreso Económico* fueron los más escogidos. De manera que se observa otra relación con el ámbito económico, no sólo hay una reducción de costos, sino que además mejora la economía de la zona. Se demuestra que los beneficios de los proyectos de edificación deben ser impulsados para provecho de todos, pero también se debe buscar eliminar o sustituir los impactos negativos.

Desde una visión integral, la realización del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) debe considerar tres aspectos esenciales, por un lado tener una visión estratégica de modo que haya un equilibrio entre lo ambiental y las decisiones políticas, económicas, culturales y sociales. Mientras que en la gestión ambiental, mediante los planes de mitigación y prevención presiona para que dichos planes sean cumplidos cuidando las expectativas e intereses de los involucrados. Y finalmente, tiene como requisito incluir la participación ciudadana, de modo que no se concentra sólo en el aspecto ambiental, sino que también busca impulsar el desarrollo de la comunidad.

Si bien el Plan de Manejo Ambiental y las medidas que contiene son imprescindibles a lo largo de cualquier proyecto, como el exigir certificados de las revisiones técnicas a los encargados de la maquinaria o que se cumpla el horario de uso de maquinaria para que se respete la tranquilidad de los vecinos en la noche, o que haya un plan de manejo de los residuos durante las tres etapas del proyecto. Se observa que algunas medidas, si bien tendrían un impacto en el entorno, no son viables de realizar.

Por lo tanto, se deben tomar medidas que mejoren y aseguren su cumplimiento, y que no se limite a ser sólo trámite necesario para que se otorgue el permiso de realizar el proyecto, sin ninguna garantía de que se acate con su Plan de Manejo Ambiental.

Las autoridades deberían exigir su cumplimiento, de nada vale tener un estudio tan detallado sobre el impacto ambiental de un proyecto si es que no será considerado en ninguna etapa del ciclo de vida del mismo. Esto se podría hacer mediante la elaboración de normas e instrucciones para que se pueda integrar el aspecto ambiental en el proyecto, pero con una visión de herramienta y no como un obstáculo.

El EIA tiene como finalidad la reducción de la dimensión de los impactos ambientales mediante los planes propuestos. Sin embargo, no se tiene en cuenta la visión de escalas, se enfoca en el perímetro de la obra. Al no contar con una visión más amplia no puede incluir y predecir impactos que se pueden estar obviando y ser relevantes para su manejo. Impactos que pueden considerarse indirectos, acumulados y globales

En cuanto a la certificación LEED, evidencia la preocupación por mejorar la forma en que se construye y fija estándares para todos los que deseen aplicar a ella, que de lo contrario probablemente no se considerarían. En otro aspecto, se debe tener en cuenta las limitaciones de su creación, como las condiciones en el país para el que fue creado en un inicio. La relación entre los puntajes obtenidos y los impactos producidos no necesariamente es proporcional, ya que su aplicación podría producir impactos negativos que no están previstos. Para aplicarlo al Perú, se debe tener en cuenta estas limitaciones y profundizar en los objetivos de su creación, para que no se base en una herramienta de marketing.

El sector construcción afronta el reto de la sostenibilidad, siendo el principal desafío el equilibrio entre el poder que dispone sobre los recursos de la tierra y la inteligencia de cómo utilizarlos. Resulta evidente que el papel que desempeña el sector en el proceso de cambio es fundamental y que los planteamientos deben modificarse.

Actualmente, el sector construcción se encuentra en la etapa de crecimiento. La creación de nuevos proyectos en su etapa de planeamiento considera la demolición de las estructuras existentes y la disposición a vertederos de los residuos; procedimiento constructivo preferido, ya que todavía poseemos, en la tierra, la materia prima para abastecernos y continuar extrayendo los recursos. Mientras tengamos reservas para la construcción de edificaciones continuaremos en la etapa de crecimiento, hasta que en un momento nos percatemos del impacto hecho e ingresaremos a la etapa de sostenibilidad. Mientras más temprano nos percatemos de ello, será mejor para el país y el medio ambiente en general.

## CAPÍTULO 6. Referencias

### **AUGENBROE, Godfried , Annie PEARCE y Charles KIBERT**

- 1998 “Sustainable Construction in the United States of America: A perspective to the year 2010”. Construction Research Center. Georgia Institute of Technology. CIB-W82 Report

### **BBVA Research**

- 2012 “Sector Inmobiliario peruano. Precio de la vivienda: ¿desviado de su valor fundamental?” *Observatorio económico*. Lima, Setiembre

### **BRUNDTLAND, Gro Harlem.**

- 1987 “Informe Brundtland”. Informe de la Comisión Mundial sobre el medio Ambiente y el Desarrollo. *Documentos Oficiales de la Asamblea General*. ONU Agosto 4. Cuadragésimo segundo periodo de sesiones, Suplemento No 25

### **CABO, María**

- 2011 “Ladrillo Ecológico como Material Sostenible para la Construcción” Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural. Universidad Pública de Navarra

### **CALSTAR PRODUCTS INC.**

- 2012 Sustainability [<http://calstarproducts.com/sustainability/>](http://calstarproducts.com/sustainability/)  
CalStar Brick Warranty [<http://calstarproducts.com/pdf/calstar-brick-warranty.pdf>](http://calstarproducts.com/pdf/calstar-brick-warranty.pdf)  
Brick Testing [<http://calstarproducts.com/products/fly-ash-brick-fab/brick-testing/ >](http://calstarproducts.com/products/fly-ash-brick-fab/brick-testing/)

### **CENTONZE, Giuseppe, Marianovella LEONE y Maria Antonietta AIELLO**

- 2012 “Steel fibers from waste tires as reinforcement in concrete: A mechanical characterization”. *Construction and Building Materials* 36. Department of Innovation Engineering, University of Salento, Pags 46–57 Elsevier

### **CLEMSON UNIVERSITY**

- 2002 “Rubber-Modified Asphalt Research”. Asphalt Rubber Technology Service. Department of Civil Engineering

### **CONCEPTUAL FRAMEWORK WORKING GROUP OF THE MILENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT**

- 2003 “Ecosystem and Human Well-being: A Framework for Assessment”. Washington DC: Island Press.  
[<http://pdf.wri.org/ecosystems\\_human\\_wellbeing.pdf >](http://pdf.wri.org/ecosystems_human_wellbeing.pdf)

**DANCÉ, Raúl.**

- 2007 “Estudio de viabilidad técnico-económica para el uso de residuos, derivados de las industrias de aserrío y laminado en los departamentos de Ucayali y Loreto”. Proyecto UE-PERU/PENX. Ministerio de Comercio Exterior y Turismo y la Unión Europea

**ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY**

- 2004 “Biomass energy- Focus on Wood Waste”. Federal Energy Management Program. U.S. Department of Energy

[http://www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/bamf\\_woodwaste.pdf](http://www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/bamf_woodwaste.pdf) >

**ETXEBERRIA M, E. VÁSQUEZ, A. MARI, M. BARRA**

- 2007 “Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete”. *Cement and Concrete* 37. Universidad Politécnica de Cataluña. Facultad de Ingeniería Civil. Pags 735–742. Elsevier. Barcelona

**FRAZER, Lance**

- 2005 “Paving paradise: The Peril of Impervious Surfaces”. *Environmental Health Perspectives*. 113: 457-462.

**GERVÁSIO, Helena**

- 2009 “La Sustentabilidad del Acero y las Estructuras Metálicas”. *Revista Acero Latinoamericano*, Num 19. pg 18-25

**GLOBAL CONSTRUCTION PERSPECTIVES.**

- 2011 “Global Construction 2020”. Global Construction Perspectives and Oxford Economics, Sponsor oficial: PricewaterhouseCoopers PWC: Engineering & Construction. Londres

<http://www.pwc.com/gx/en/engineering-construction/publications/global-construction-2020.jhtml>>

**INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA**

- 2011 “Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2011” Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales. Lima.

**INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION**

- 2000 “Norma ISO 14040”. *Environmental management- Life cycle assessment- Principles and framework*. 1ra Ed. Suiza

**KATES, Robert, William CLARK, Robert CORELL, Michael HALL, Carlo JAEGER, Ian LOWE, James McCARTHY, Hans Joachim SCHELLNHUBER, Bert BOLIN, Nancy DICKSON, Sylvie FAUCHEUX, Gilberto GALLOPIN, Arnulf GRUEBLER, Brian HUNTLEY, Jill JAGER, Narpat JODHA, Roger KASPERSON, Akin MABOGUNJE, Pamela MATSON, Harold MOONEY, Berrien MOORE III, Timothy O'RIORDAN, Uno SVEDIN**

2007 "Sustainability Science". *Research and Assessment Systems for Sustainability*. Belfer Center for Science & International Affairs Environment and Natural Resources Program. Harvard University

**KLEPEL CONSULTING S.A.C.**

2011 "Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto San Borja Plaza". Informe N° KLC10131-b. Lima

**KÖHLER, Manfred**

2003 "Plant survival research and biodiversity: Lessons from Europe". Paper presentado en The First Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show; 20–30 May 2003, Chicago.

**MASISA PERÚ**

2012 <http://www.masisa.com/per/productos/construccion-sustentable/> Página virtual

**MEIL, Jamie**

1998 "A life-cycle Analysis of Solid Wood and Steel Cladding". pp 1- 26. The ATHENA Sustainable Materials Institute. Ottawa

**NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE**

2008 "Grand Challenges for Engineering". National Academy of Engineering  
<http://www.engineeringchallenges.org/Object.File/Master/11/574/Grand%20Challenges%20final%20book.pdf> >

**NEMRY, Françoise; UIHLEIN, Andreas**

2008 "Environmental Improvement Potentials of Residential Buildings (IMPRO-Building)". JRC Scientific and Technical Report. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies

**OBLA, Karthik, Kim HAEJIN y Colin LOBO**

2007 "Crushed Returned Concrete as Aggregates for New Concrete", Final Report. Research and Education Foundation Project 05-13. NRMCA Research Laboratory



<http://www.rmc-foundation.org/images/CCA%20Study%20Final%20Report%209-07.pdf> >

**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. (FAO)**

- 2010 “Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010: Informe principal”. Estudio FAO Montes n.º 163. Roma.  
[www.fao.org/docrep/013/i1757s/i1757s00.htm](http://www.fao.org/docrep/013/i1757s/i1757s00.htm).
- 2012 “El Estado de los Bosques del Mundo”. Intercambio de Conocimientos, Investigación y Extensión, Roma  
<http://www.fao.org/docrep/016/i3010s/i3010s.pdf>

**OTI, J.É., J.M. KINUTHIA, J. BAI**

- 2009 “Engineering properties of unfired clay masonry bricks”. *Engineering Geology* 107. Pags 130-139.

**PAPAKONSTANTINOY, Christos y Matthew TOBOLSKI**

- 2006 “Use of waste tire Steel beads in Portland cement concrete”. *Cement and Concrete Research* 36. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Massachusetts. Pags 686–1691 Elsevier

**PIMIENTA, Rodrigo**

- 2000 “Encuestas probabilísticas vs. No Probabilísticas”. *Política y Cultura*, número 013. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Pp 263-276. México D.F: Redalyc.

**PROPELAIR**

- 2013 <http://www.propelair.com/index.php> Página virtual

**PUETTMANN, Maureen y WILSON, James**

- 2006 “Life-cycle Analysis of Wood Products: Cradle-to Gate LCI of Residential Wood Building Material”. *Wood and Fiber Science*. Society of Wood Science and Technology. Vol 37, pp 18-29 . The Athena Institute Oregon

**RIDDERSTOLPE, Peter**

- 2004 “Introduction to Greywater Management. EcoSanRes” *Report 2004-4*. Publication Series. Environment Institute. Estocolmo.

**RIVELA, B.; CUERDA, I.; OLIVIERI, F.; BEDOYA, C.; NEILA, J.**

- 2012 "Análisis de Ciclo de Vida para el ecodiseño del sistema Intemper TF de cubierta ecológica aljibe". *Materiales de Construcción*, Vol. 63, 309, 131-145, ISSN: 0465-2746.

**SACHS, Jeffrey**

- 2011 “Globalization in the era of environmental crisis”. *The road to Rio+20*, pp. 3-10. Nueva York (Estados Unidos de América), y Ginebra (Suiza), United Nations UNCTAD.  
 [<www.uncsd2012.org/rio20/index.php?page=view&type=400&nr=11&menu=45>](http://www.uncsd2012.org/rio20/index.php?page=view&type=400&nr=11&menu=45)

**SODERBAUM, Peter**

- 2006 “Issues of paradigm, ideology and democracy in sustainability assessment”. *Ecological Economics* 60. School of Business, Mälardalen University. pgs 613-626 Elsevier

**SOLICLIMA**

“Tratamiento de aguas residuales” Página virtual  
 [<http://www.soliclma.com/reciclaje\\_aguas.html >](http://www.soliclma.com/reciclaje_aguas.html)

**SQUIRES, R.C, J.A.C. COWAN y F.C. WOOD**

- 1983 “The desalination of coalmine drainage water by reverse osmosis”. Volume 47, Issues 1-3 Binnie & Partners. Londres. Pags 343-350 Elsevier

**STATE OF CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION**

- 2003 “Asphalt Rubber Usage Guide” Division of Engineering Services. Materials Engineering and Testing Services –MS #5. California. Caltrans  
 [<http://www.dot.ca.gov/hq/esc/Translab/ofpm/pdf/Caltrans Asphalt Rubber Usage Guide.pdf >](http://www.dot.ca.gov/hq/esc/Translab/ofpm/pdf/Caltrans_Asphalt_Rubber_Usage_Guide.pdf)

**U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**

- 2006 “Life Cycle Assessment: Principles and Practice”. National Risk Management Research Laboratory. Scientific Applications International Corporation (SAIC). Ohio

**U.S. GREEN BUILDING COUNCIL**

- 2012 *LEED 2009 FOR New Construction and Major Renovations Rating System*. Actualización. Washington

**WILLIAMS, Michael**

- 2002 “Deforesting the earth: from prehistory to global crisis”. Londres: University of Chicago Press Ltd. Pags 699

**WOLFE, Ronald y Agron GJINOLLI**

- 1999 “Durability and Strength of Cement-Bonded Wood Particle Composites made from Construction Waste”. *Forest Product Journal*. USDA Forest Society. Vol 49, No.2, Pags 24-31. Wisconsin

**WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT  
(compiladores)**

- 2009 “Managing End-of-Life Tyres. Full Report”. Suiza  
<http://www.wbcd.org/Pages/EDocument/EDocumentDetails.aspx?ID=57&NoSearchContextKey=true>
- 2009 “Recycling Concrete”. The Cement Sustainability Initiative  
<http://wbcscement.org/pdf/CSI-RecyclingConcrete-Summary.pdf>
- 2010 “End-of-Life Tyres. A framework for effective management systems”. Suiza  
<http://www.wbcd.org/Pages/EDocument/EDocumentDetails.aspx?ID=57&NoSearchContextKey=true>

**WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT y THE  
UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME**

- 1998 “Industry, Fresh water and Sustainable Development”  
<http://www.wbcd.org/web/publications/freshwater.pdf>

**WORLD STEEL ASSOCIATION.**

- 2012 *Sustainable Steel: At the core of a Green economy*. Ponencia realizada por Edwin Basson. Panel Discussion. Rio
- 2011 *Methodology Report. Life cycle inventory study for Steel products*. Bruselas  
<http://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/bookshop/LCA-Methodology-Report/document/LCA%20Methodology%20Report.pdf>
- 2008 Informe de Sustentabilidad de la Industria Siderúrgica Mundial 2008. Bruselas

**X Zhang, Z Su, Z Huang,**

- 2007 “Comparison of LCA on steel – and concrete- construction office: A case study”. Investigación apoyada por The National Natural Science Foundation of China, Grant No. 50578113. The 6th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings IAQVEC 2007, Oct. 28 - 31