



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CHILE

FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y ESTUDIOS URBANOS

MODELO DE GESTIÓN DE LA OBSOLESCENCIA DE EDIFICIOS

Estudio de la interacción de los factores de obsolescencia mediante un modelo  
numérico

2020

por

ELIZABETH PRAXEDES ZEGARRA PEREYRA

Tesis presentada a la Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios urbanos de la  
Universidad Católica de Chile para optar por el grado de Magister en Arquitectura  
Sustentable y energía

Profesor guía: Renato D'alençon

Setiembre, 2020

Santiago, Chile

©2020, Elizabeth Praxedes Zegarra Pereyra

©2020, Elizabeth Praxedes Zegarra Pereyra

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica que acredita al trabajo y a su autor.

## AUTORIZACIÓN PARA LA REPRODUCCIÓN DE LA TESIS

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica que acredita al trabajo y a su autor.

FECHA-----

----- FIRMA

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	9
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	11
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	12
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....	13
CAPÍTULO 1: DISCUSIÓN DEL ESTADO DEL ARTE .....	16
1.1.    Definiciones de “Obsolescencia” .....	16
1.2.    Tipos de obsolescencia.....	16
1.3.    Factores que influyen en la obsolescencia.....	19
CAPÍTULO 2: PROPUESTA DE FACTORES PARA PREDECIR LA OBSOLESCENCIA.....	24
2.1.    Listado de los factores que generan la obsolescencia .....	24
2.2.    Elección de los factores a usar en el modelo .....	29
2.3.    Clasificación de los factores por su grado de dependencia de la edificación .....	33
CAPÍTULO 3: CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE GESTIÓN DE LA OBSOLESCENCIA.....	35
3.1.    Explicación de las Metodologías utilizadas para el cálculo de cada factor.....	35
3.2.    Ponderación de los factores – Grados de afectación .....	58
3.3.    Formulación de la Ecuación integrada .....	59
3.4.    Formulación de ecuaciones parciales .....	61
CAPÍTULO 4: APLICACIÓN DEL MODELO DE GESTIÓN DE LA OBSOLESCENCIA.....	76
Caso 1: Ex Fundición METALCO.....	76
Caso 2: Centro de justicia de Santiago .....	86
Caso 3: Ex Instituto Sanitas .....	95
Caso 4: Casa Ecléctica Beauchef.....	105
Caso 5: Proyecto Vicuña Mackenna 20 (VM20) .....	114
DISCUSIONES .....	123
CONCLUSIONES .....	126
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA .....	130

ANEXOS..... 133

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factores para predecir la obsolescencia de tipo física.....	28
Tabla 2: Factores para predecir la obsolescencia de tipo económica.....	28
Tabla 3: Factores para predecir la obsolescencia de tipo funcional.....	29
Tabla 4: Factores de gestión de obsolescencia a ser analizados en modelo.....	30
Tabla 5: Clases generales de exposición relativas a la corrosión del refuerzo.....	37
Tabla 6: Cementos recomendados según las diferentes clases de exposición.....	38
Tabla 7: Recubrimientos mínimos (mm) para las clases generales de exposición I y II.....	38
Tabla 8: Coeficientes a y b.....	42
Tabla 9: Velocidad de corrosión $V_{\text{corr}}$ según la clase general de exposición.....	43
Tabla 10: Datos de temperatura mínima anual.....	45
Tabla 11: Datos de humedad relativa promedio.....	45
Tabla 12: Valores de temperatura y humedad interiores recomendados.....	46
Tabla 13. Clases de higrometría interior.....	47
Tabla 14: Ponderación de los factores de obsolescencia. ....	58
Tabla 15: Resultado de la ponderación de expertos según encuesta.....	59
Tabla 16: Relación entre el precio de venta y la Rentabilidad.....	66

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1: Diagrama general de construcción del modelo de gestión de la obsolescencia.....	13
Figura 2: Diagrama detallado de construcción del modelo de gestión de la obsolescencia.....	15
Figura 3: Tipos de obsolescencia.....	17
Figura 4: Modelo conceptual de la obsolescencia.....	21
Figura 5: La obsolescencia impone costos que motivan las decisiones.....	22
Figura 6: Degradación de las diferentes propiedades de un elemento constructivo.....	23
Figura 7: Clasificación de factores de obsolescencia.....	34
Figura 8: Variación de la humedad interior en función de las clases de higrometría y la temperatura exterior.....	47
Figura 9: Pestaña Factor Durabilidad de la estructura.....	61
Figura 10: Pestaña Factor Constructibilidad.....	61
Figura 11: Pestaña Factor Rentabilidad.....	62
Figura 12: Pestaña Factor Condensación.....	62
Figura 13: Pestaña Factor Temperatura.....	62
Figura 14: Pestaña Factor Ventilación.....	62
Figura 15: Pestaña Factor Ruido exterior.....	62
Figura 16: Pestaña Cálculo de la obsolescencia.....	62
Figura 17: Pestaña Rentabilidad en el Modelo.....	62
Figura 18: Pestaña obsolescencia en el Modelo que muestra el valor de la Rentabilidad.....	64
Figura 19: Pestaña obsolescencia en el Modelo que muestra el valor de la Constructibilidad.....	66
Figura 20: Pestaña obsolescencia en el Modelo que muestra el valor del Ruido exterior.....	68
Figura 21: Pestaña obsolescencia en el Modelo que muestra el valor del Ruido exterior.....	68
Figura 22: Pestaña obsolescencia en el Modelo que muestra el valor de la Durabilidad de la estructura.....	70
Figura 23: Pestaña obsolescencia en el Modelo que muestra el valor de la Condensación.....	71
Figura 24: Pestaña obsolescencia en el Modelo que muestra el valor de la Ventilación.....	73

Figura 25: Pestaña obsolescencia en el Modelo que muestra el valor de la Ventilación.....	73
Figura 26: Pestaña obsolescencia en el Modelo que muestra el valor del Temperatura.....	75
Figura 27: Pestaña obsolescencia en el Modelo que muestra el valor del Temperatura.....	75
Figura 28: Plano Ex Fundición METALCO.....	77
Figura 29: Calculo de la obsolescencia de la Ex Fundición Metalco.....	85
Figura 30: Plano Centro de justicia de Santiago.....	86
Figura 31: Calculo de la obsolescencia Centro de justicia de Santiago.....	94
Figura 32: Plano Ex instituto Sanitas.....	96
Figura 33: Calculo de la obsolescencia Ex Instituto Sanitas.....	104
Figura 34: Fachada Casa Ecléctica Beauchef.....	105
Figura 35: Calculo de la obsolescencia Casa Ecléctica Beauchef.....	113
Figura 36: Plano Proyecto Vicuña Mackenna.....	114
Figura 37: Calculo de la obsolescencia Proyecto Vicuña Mackenna 20.....	122

## RESUMEN

La obsolescencia está presente en casi todos los productos que consumimos, vivimos en una cultura de comprar y desechar con el consecuente incremento en la generación de residuos y el irreversible impacto al medio ambiente. En Arquitectura la obsolescencia se inicia cuando un edificio queda sin uso, con el tiempo por diversos factores este deja de satisfacer los requisitos para los que ha sido construido y empieza a ser considerado obsoleto, entonces es abandonado y/o demolido, generando así cantidades considerables de residuos sólidos que afectan al medio ambiente. En la actualidad existen diversas herramientas capaces de calcular la vida útil de una edificación, a partir del análisis de los factores físicos como la resistencia de los materiales, modo de operación, mantenimiento, etc., sin embargo, no existe metodología capaz de calcular un fenómeno existente mucho más complejo que es la obsolescencia, el cual incorpora una serie de variables adicionales como las de tipo económico, funcional, de calidad, estética, entre otras.

Ante este problema surge una gran interrogante, es posible mediante el conocimiento a profundidad de todos los factores que generan la obsolescencia de las edificaciones crear una herramienta que permita la interacción de cada uno de estos factores y poder predecir el tiempo de obsolescencia de una edificación. Esta herramienta debe permitir al diseñador, de acuerdo con las necesidades del proyecto, poder modificar las distintas variables involucradas y por ende alargar o recortar el periodo de obsolescencia. La hipótesis sugiere que existen una serie de elementos o variables que al interactuar pueden permitir estimar el tiempo de obsolescencia de los edificios y a la vez gestionarla, logrando la perdurabilidad de sus componentes y/o un fácil desmontaje y reciclaje logrando la reducción de residuos de demolición desde el diseño.

La investigación tiene como objetivo general entender el fenómeno de la obsolescencia de edificios por medio de la identificación de los factores críticos que influyen en el comportamiento de la obsolescencia en el tiempo y lograr relacionarlos en un modelo numérico, esto implica la comprensión y cuantificación de la obsolescencia, estudiando los conceptos involucrados, definiendo los factores que intervienen en su comportamiento, ponderando cada factor de acuerdo a su grado de relevancia dentro del proceso de la obsolescencia y como resultado podemos obtener

un modelo de gestión capaz de permitir al diseñador o arquitecto conocer el tiempo que tardará una edificación en convertirse en obsoleta y poder gestionarla.

La metodología empleada para el presente estudio tiene 3 fases, la primera fase denominada Definición del problema consiste en la identificación de los factores que impactan en la obsolescencia de las edificaciones, la elección de factores que puedan ser operados en el modelo y la clasificación de factores según su relación con la estructura de la edificación. La segunda fase involucra la Construcción del modelo mediante la parametrización de los factores en un programa ya existente; para la presente investigación se eligió el programa Excel (XLS), adicional mediante el uso de encuestas lograr la ponderación de cada factor según su grado de relevancia para la obsolescencia permitiendo establecer ecuaciones para calcular la obsolescencia en años de la edificación. Por último, la tercera fase consiste en realizar pruebas del Desempeño del modelo en edificaciones obsoletas para verificar la precisión de la herramienta.

Como resultado final se obtiene una herramienta capaz de predecir y gestionar la obsolescencia, permitiendo al diseñador, de acuerdo a la necesidad del proyecto, poder modificar diversos parámetros internos o externos a la edificación e implementar estrategias que permitan prolongar el tiempo de obsolescencia de la edificación, la herramienta además permite al proyectista, de acuerdo al uso que tenga la edificación, poder elegir la cantidad o composición de materiales a usar lo que posibilita un menor impacto ambiental en términos de ciclo de vida de los materiales.

La presente investigación nos demuestra que si es posible gestionar la obsolescencia de los edificios haciendo uso de herramientas informáticas o algoritmos numéricos que permitan simular la interacción entre los factores que generan los diversos tipos de obsolescencia, sin embargo es necesario conocer a priori cuales son estos factores y como se interrelacionan entre sí, de modo que puedan ser reflejados en un modelo que sirva para el diseño arquitectónico, que permita gestionar la obsolescencia y por ende reducir la cantidad de residuos de demolición y su impacto al medio ambiente.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

La obsolescencia está presente en casi todos los productos que consumimos, vivimos en una cultura de comprar y desechar con el consecuente incremento en la generación de residuos y el irreversible impacto al medio ambiente. En Arquitectura la obsolescencia se inicia cuando un edificio queda sin uso, con el tiempo por diversos factores este deja de satisfacer los requisitos para los que ha sido construido y empieza a ser considerado obsoleto, entonces finalmente es abandonado y/o demolido, generando así cantidades considerables de residuos sólidos, los cuales afectan el medio ambiente.

En la actualidad existen distintas herramientas que permiten calcular la vida útil de una edificación a partir del análisis de los factores físicos de la edificación como son la resistencia de los materiales, modo de operación, mantenimiento, etc., sin embargo no existe metodología capaz de calcular la obsolescencia ya que este es un concepto más complejo que incorpora variables adicionales tanto internas como externas a la edificación, como por ejemplo las de tipo económico, funcional, de calidad, estética, entre otras.

El tener una herramienta de gestión de la obsolescencia de una edificación puede permitir al diseñador entender los conceptos y fenómenos que ocurren en la obsolescencia y de esa manera gestionarla, con la finalidad de construir edificios que no dependan solo de la vida útil de la edificación sino que contemplen los factores adicionales que conllevan a la obsolescencia, permitiría además al diseñador poder modificar las distintas variables relacionadas al edificio como son la cantidad de materiales, uso proyectado, etc., logrando una reducción de los materiales utilizados y por ende un excesivo consumo de recursos desde las etapas de diseño.

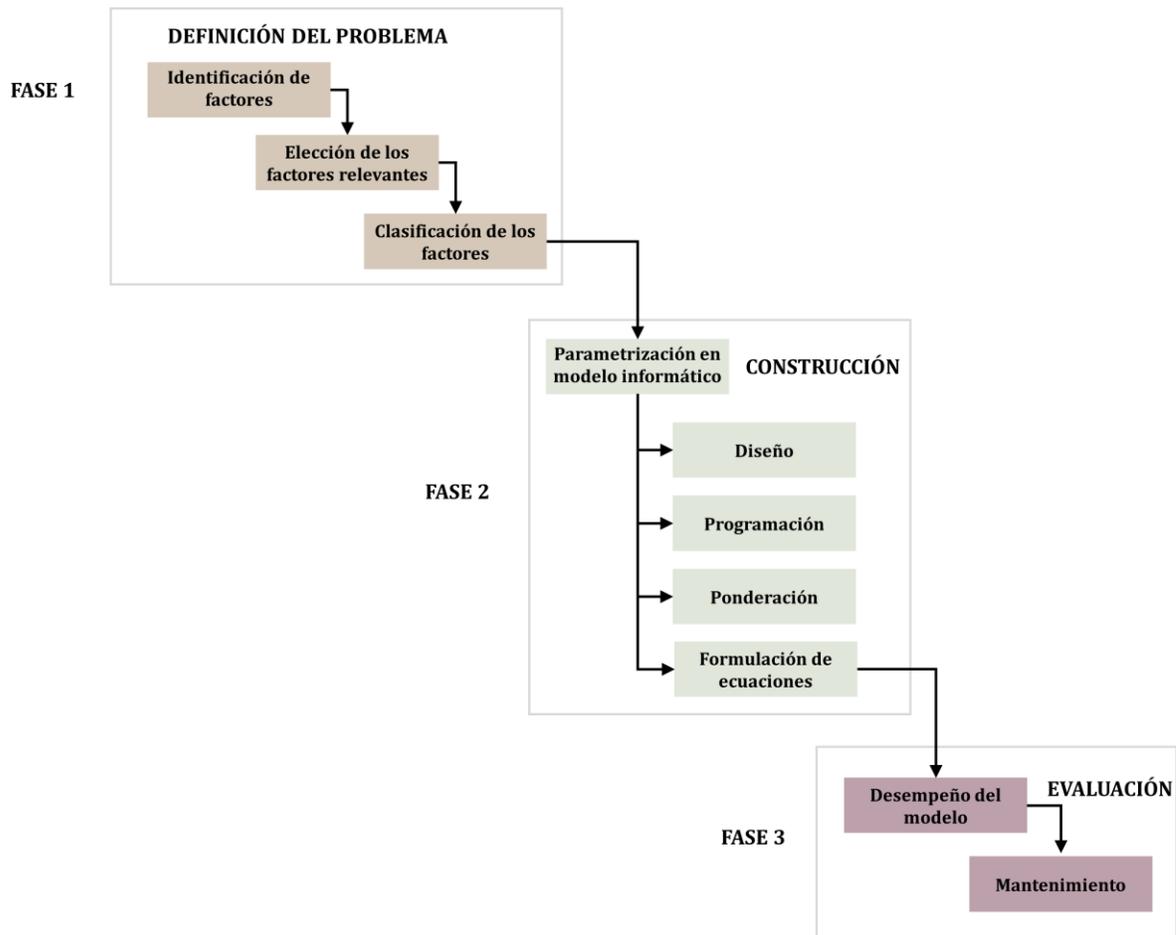
### **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

Es posible mediante el conocimiento a profundidad de todos los factores que generan la obsolescencia de las edificaciones, poder crear una herramienta que permita la interacción de cada uno de estos factores y poder predecir el tiempo de obsolescencia de una edificación.

Esta herramienta debe permitir al diseñador, de acuerdo con las necesidades del proyecto, poder modificar las distintas variables involucradas y por lo tanto poder modificar el tiempo de obsolescencia de una edificación.

## METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología para la investigación se desarrolló en tres fases, dentro de las cuales se tienen diferentes etapas como muestra la figura 1:



**Figura 1:** Diagrama general de construcción del modelo de gestión de la obsolescencia. Fuente: Elaboración propia.

### Fase 1 Definición del Problema:

Se **identificaron y analizaron** aquellos factores relevantes que impactan en la obsolescencia de las edificaciones haciendo uso de la discusión bibliográfica. De la totalidad de factores encontrados capaces de generar la obsolescencia de una edificación se realizó la **elección** de aquellos factores que tienen la capacidad de poder ser operados en un modelo numérico,

posibilidad de medición y que además poseen metodologías comprobadas en la normativa nacional e internacional. En la **Clasificación de los factores** se agruparon los factores de acuerdo con su relación con la estructura del edificio, aquellos factores en los que la obsolescencia dependía de la estructura del edificio se clasificaron como “Factores dependientes de la Durabilidad de la estructura” y en los que la obsolescencia no dependía de la estructura del edificio se clasificaron como “Factores independientes de la Durabilidad de la estructura”.

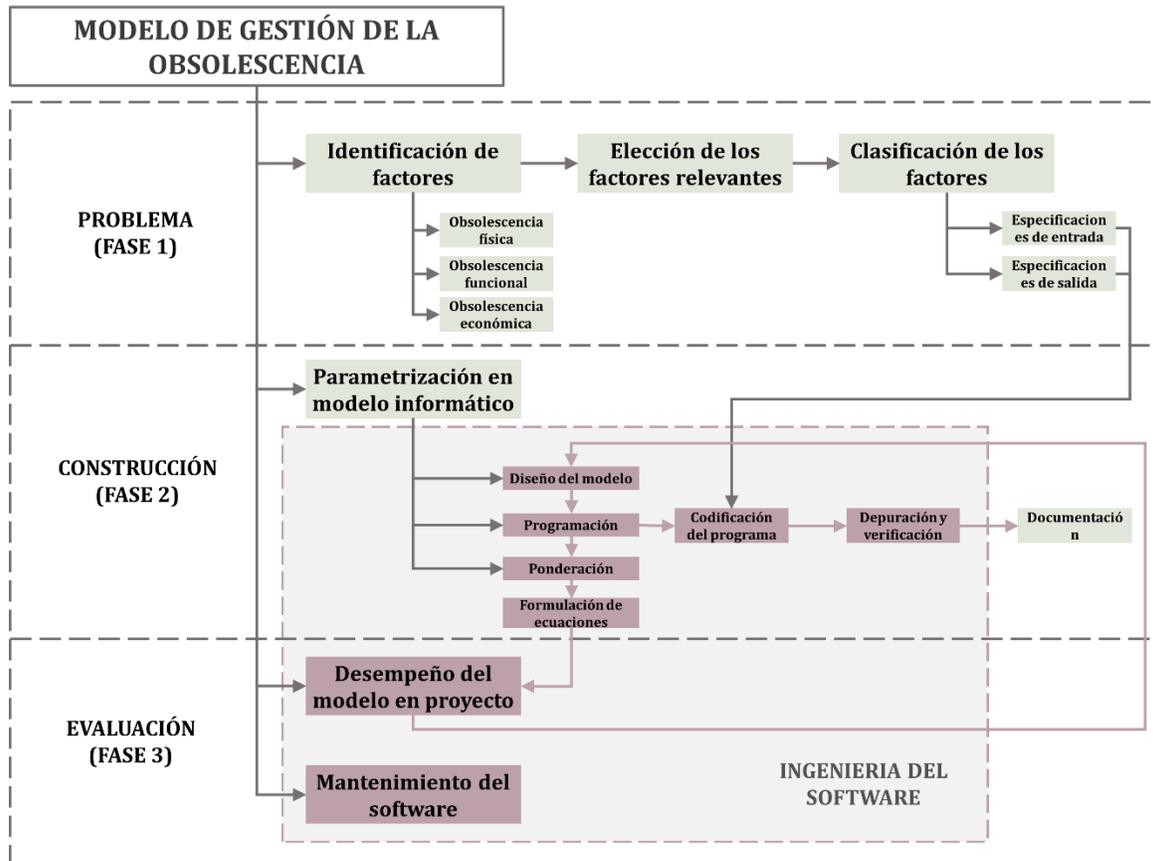
### **Fase 2 Construcción:**

Esta fase tiene como objetivo la Parametrización de los factores en un modelo numérico. Para las etapas de **diseño y programación** del modelo se utilizó el programa Excel (XLS) por sus características de facilidad de uso y funciones poco complejas lo que permitió construir un modelo fácil de operar y entendible por el usuario. La etapa de **ponderación** permitió darle un peso individual a cada uno de los factores de acuerdo con su grado de relevancia para la obsolescencia, para esta etapa fue necesario realizar encuestas a un grupo de expertos con la finalidad de otorgarle un peso o relevancia dentro del fenómeno de obsolescencia a cada uno de los factores. Finalmente se **formularon ecuaciones** en base a como interactúan los factores en la realidad, permitiendo calcular el tiempo en años en el que una edificación puede considerarse como obsoleta.

### **Fase 3 Evaluación:**

En esta fase se realizaron pruebas del Desempeño del modelo en edificaciones obsoletas con la finalidad de probar la efectividad de la herramienta en la estimación del tiempo de obsolescencia, se realizaron simulaciones en el modelo mediante el ingreso de los parámetros inherentes a la estructura de varias edificaciones obsoletas y externos a estas obteniendo un número de años de obsolescencia que debía reflejar los años de obsolescencia reales, pudiendo comprobar la precisión de la herramienta en el cálculo de la obsolescencia, finalmente es

indispensable que el modelo deba ser constantemente actualizado en base a nueva normativa disponible para garantizar su operatividad y efectividad.



**Figura 2:** Diagrama detallado de construcción del modelo de gestión de la obsolescencia.

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO 1: DISCUSIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

El presente capítulo aborda el estado del arte de la investigación que ha sido desarrollado desde lo general hacia lo particular, que permita aportar al análisis de esta investigación y sus objetivos. Se abordan los conceptos de obsolescencia y sus tipos, dando énfasis a los fenómenos que ocurren en la arquitectura.

### 1.1. Definiciones de “Obsolescencia”

Según Garnett (2006) “Obsolescencia” es el proceso de volverse obsoleto, ocurre cuando se considera que un edificio se está volviendo menos apto para su propósito. Garrido (2015) en cambio, describe la obsolescencia como la Pérdida de valor de uso de un objeto mueble o inmueble producida por la disminución de funcionalidad debida al paso del tiempo. El grado máximo corresponde a un estado “obsoleto”, es decir, inadecuado a las circunstancias actuales (RAE, 2001).

### 1.2. Tipos de obsolescencia

Existen diferentes tipos de obsolescencia, diversos autores la clasifican de la siguiente manera (Figura 3):

- **Obsolescencia funcional:** Ocurre cuando hay un cambio en los requerimientos funcionales. Respecto a este tipo de obsolescencia Salcedo (2014) nos dice “Un producto se convierte en obsoleto cuando se introduce otro que desempeña mejor la función, supone el tipo clásico de obsolescencia a causa de la innovación tecnológica”, por otro lado, Greene et al (2001) señala “La obsolescencia funcional se refiere al momento cuando los edificios o los espacios públicos se tornan inadecuados en su concepción arquitectónica para cumplir con las funciones para las que fueron diseñados”. Es también según Garrido (2015) la Pérdida de la aptitud del espacio arquitectónico para cumplir sus funciones de manera eficaz y satisfactoria.

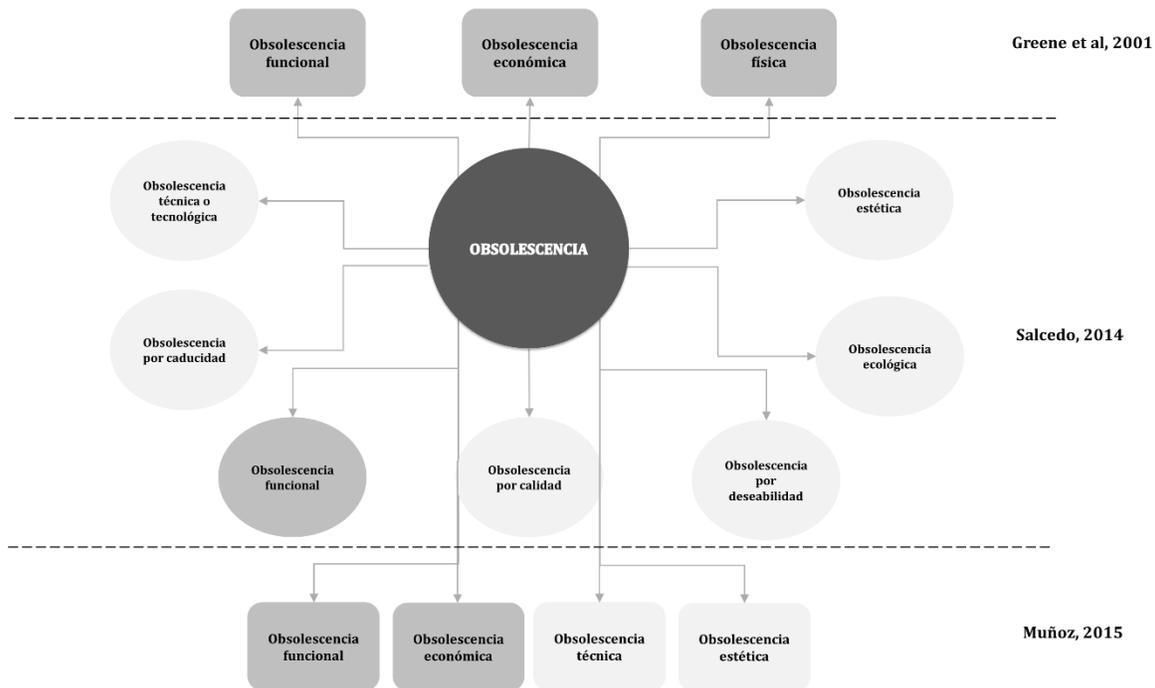


Figura 3: Tipos de obsolescencia (Fuente: Elaboración propia)

- Obsolescencia económica:** Respecto a este tipo de obsolescencia Muñoz (2015) indica “Sucede cuando no se dispone de presupuesto para operar el edificio” asimismo Greene et al (2001) señala que “la obsolescencia económica se produce cuando no resulta rentable continuar utilizando el capital agregado a un terreno con esa intensidad o densidad urbana debido a su ubicación”. Según describe Garrido (2015) es la Pérdida del equilibrio económico en la gestión y en el valor de mercado del objeto arquitectónico debida a una desproporción de los costes relacionados, por una parte, con la inversión, la operación y el mantenimiento y, por otra parte, con los beneficios obtenidos en la explotación

La idea de que un edificio tiene una vida económica se basa en la siguiente lógica. Una vez construido, un edificio tiene un valor de cambio mayor que el representado por la

suma de sus partes. Este valor adicional se deriva de su potencial para generar utilidad a algún ocupante / usuario (es decir, tiene el potencial de contribuir a sus planes propietarios). En otras palabras, tiene un potencial económico que es mayor que la suma de sus partes. (Garnett, 2006).

- **Obsolescencia física:** “Se refiere al deterioro de la estructura, instalaciones o terminaciones de los edificios hasta el punto de tornarlos incapaces de cumplir las funciones para las que fueron construidos”. (Greene et al, 2001). Garrido (2015) también señala a la obsolescencia física como debida al envejecimiento resultante del uso y la erosión natural y artificial de la construcción.

Salcedo (2014) nos da una tipología más amplia y clasifica la obsolescencia - además de funcional - en obsolescencia de calidad, de deseabilidad, obsolescencia técnica o tecnológica, la obsolescencia por caducidad, la estética o psicológica, y la obsolescencia ecológica.

- **Obsolescencia de calidad:** Aquella que se introduce de forma intencionada de modo que se apresure la avería, el desgaste o incluso la rotura del producto en cuestión, sin opción de rehabilitación alguna.
- **La obsolescencia de deseabilidad:** Se refiere a aquellas situaciones en las que un producto que sigue siendo utilizable en términos de calidad o de rendimiento, se torna obsoleto para nuestro criterio por el hecho de que ha dejado de representar un estilo o moda determinada, y por lo tanto menos deseable desde el punto de vista psicosocial.
- **Obsolescencia técnica o tecnológica:** Es la más común, como ya se ha dicho para su homóloga obsolescencia de función.
- **Obsolescencia por caducidad:** Se refiere, obviamente, a las fechas de caducidad en los productos.
- **Obsolescencia estética:** A diferencia de los otros tipos de obsolescencia programada, no se debe a una práctica técnica de acortamiento de la vida útil del producto, sino que es una obsolescencia de carácter subjetivo que tiene su origen en la psicología del

consumidor, por razón de las modas y no porque el producto deje de ser funcional como ya se ha comentado antes.

- **Obsolescencia ecológica:** Por su parte, se enmarca en el consumo ético y se relaciona con las medidas de bonificación fiscal o de cualquier otro tipo que incentivan la renovación del parque automovilístico, de las bombillas o del equipamiento doméstico todavía en uso.

### 1.3. Factores que influyen en la obsolescencia de edificios

Para conocer los distintos factores que influyen en la obsolescencia de edificios debemos revisar como lo clasifican los distintos autores, por ejemplo, Thomsen (2011) categoriza la obsolescencia en una matriz cuadrante distinguiendo por un lado los factores internos y externos y por otro lado los factores físicos y de comportamiento que derivan en la obsolescencia de edificios. (Figura 4) esta dinámica es explicada a profundidad en los siguientes párrafos.

Los factores internos o endógenos están relacionados con los procesos típicos del edificio en sí:

- **Cuadrante A:** Los procesos pueden ser físicos, como la degradación y el deterioro a lo largo del tiempo, causados por el envejecimiento, el desgaste y la intemperie o la fatiga de materiales y estructuras, o por un mal diseño, construcción, falta de mantenimiento y adaptaciones. Al respecto de esto Muñoz (2015) indica lo siguiente “es difícil determinar cuándo se produce el final de la vida útil de una edificación. el final de la vida útil llega cuando los materiales o componentes de construcción, una vez instalados y contruidos, usados y aplicados a una parte del inmueble, ya no responden a los requerimientos de rendimiento; y cuando por sus fallos físicos ya no es conveniente económicamente seguir con un mantenimiento correctivo para dichos componentes”.

- **Cuadrante C:** Los procesos también pueden ser conductuales, como daños por maltrato, sobrecarga, mal uso o por cambios en las funciones, el uso y el comportamiento de los ocupantes.

Los factores externos o exógenos están relacionados con influencias externas:

- **Cuadrante B:** Pueden tener efectos físicos, como el impacto de condiciones cambiantes en el medio ambiente por construcciones cercanas, tráfico, contaminación, ruido, actividad sísmica, etc., o por cambios en las regulaciones gubernamentales, códigos de construcción y condiciones fiscales, estándares crecientes y requisitos funcionales y nuevas tecnologías.
- **Cuadrante D:** Pueden tener efectos de comportamiento como procesos de filtración y privación social en el vecindario, criminalidad, plagas urbanas, o como depreciación y pérdida de posición y valor en el mercado como resultado de nuevas tecnologías, modas cambiantes y las preferencias del usuario, la disponibilidad de mejores alternativas o simplemente una disminución de la demanda.

La línea diagonal del cuadrante A al D representa el aumento de la complejidad y la disminución correspondiente del control. Los factores físicos en el cuadrante A son relativamente sencillos de controlar y administrar. Los factores relacionados principalmente con el uso en el cuadrante C son más complejos y menos fáciles de controlar, mientras que los factores principalmente ambientales en el cuadrante B generalmente están fuera del control, como los factores altamente complejos en el cuadrante D. (Thomsen, 2011).

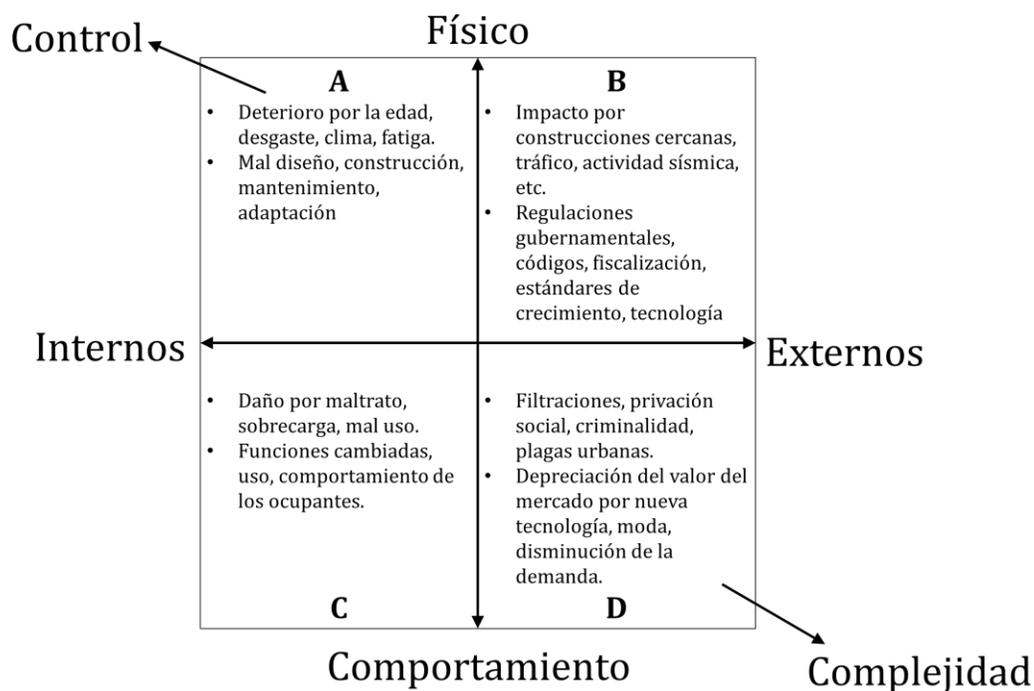


Figura 4: Modelo conceptual de la obsolescencia. Fuente: Thomsen, 2011. (Traducción propia)

A modo general Mostafavi (2013) señala que “la frecuencia de fallas materiales debido a la intemperie en los primeros edificios modernos ha llevado, en tiempos más recientes, a la construcción de edificios que son más eficientes y resistentes al deterioro por la intemperie. Los edificios eficientes se logran en la práctica contemporánea sobre la base de un aspecto particular del proceso de construcción: los arquitectos que han diseñado en diagramas instruyen a los supervisores de construcción en los procedimientos que deben implementar los constructores”. Además, el autor nos da algunas pautas de cómo se logra retardar el deterioro y prolongar la vida útil de los edificios “El deterioro se retrasó en los edificios tradicionales mediante la incorporación de elementos que restringieron la exposición directa al agua de lluvia. Esto también se entendió en la arquitectura moderna. La exposición restringida y el deterioro retardado, así como el uso de áreas más grandes de un solo material, tienden a prolongar la vida útil de los edificios”.

Garnett (2006) por otro lado, diferencia entre la vida física y económica de un edificio presuponiendo que tiene una existencia tanto material como socioeconómica. Al destacar estas dos 'vidas' contrastantes, se hace una distinción entre deterioro de la condición y obsolescencia funcional. (Figura 5).

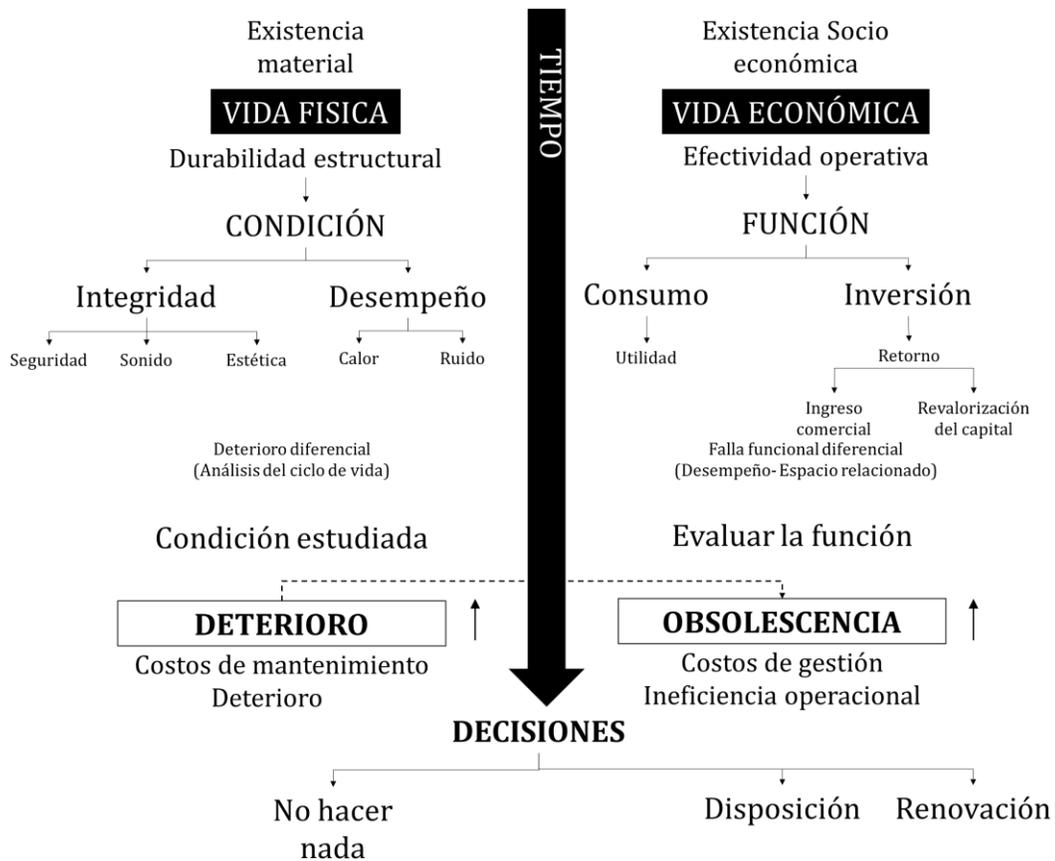


Figura 5: La obsolescencia impone costos que motivan las decisiones. Fuente: Garnett, 2006 (Traducción propia).

“Con el paso del tiempo, el desgaste, la gravedad, los estragos del clima y el ataque de insectos y hongos se combinan para alterar la condición de la estructura y el tejido de un edificio (lado izquierdo del diagrama). Además, a medida que pasa el tiempo, las circunstancias industriales, comerciales o domésticas de los ocupantes o propietarios de un edificio tienden a modificarse de manera que reducen su efectividad operativa (lado derecho

del diagrama)”. (Garnett, 2006), el autor también señala que los dos lados del diagrama pueden estar causalmente conectados porque la condición cambiante de un edificio puede afectar la forma en que funciona. “Por ejemplo, el edificio puede haberse deteriorado hasta tal punto que su integridad se ha visto comprometida, haciéndolo de alguna manera inseguro o poco sólido. Del mismo modo, el deterioro físico puede reducir el rendimiento técnico de un edificio y, al hacerlo, disminuir su eficiencia operativa: por ejemplo, puede volverse inaceptablemente frío, caliente o ruidoso. O puede deteriorarse hasta tal punto que su aspecto curre dañar las relaciones con el cliente o el cliente, dañando así la reputación o la rentabilidad de la organización o ambas”.

Por otro lado, Muñoz (2015) señala “el fin de la vida útil de un elemento constructivo está condicionado por criterios de seguridad, funcionalidad y aspecto. La seguridad es el criterio más importante, por lo que tiene un nivel de exigencia superior a los otros dos criterios. A pesar de eso, algunas veces el fin de la vida útil puede verse condicionado sólo por criterios estéticos o funcionales”, como muestra la figura 6:

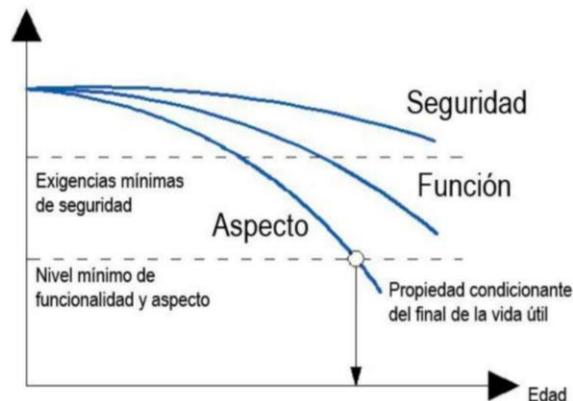


Figura 6: Degradación de las diferentes propiedades de un elemento constructivo. (Fuente Muñoz, 2015).

## CAPÍTULO 2: PROPUESTA DE FACTORES PARA PREDECIR LA OBSOLESCENCIA

Para poder calcular el tiempo de obsolescencia de una edificación hemos clasificado los factores que generan la obsolescencia como de tipo físico, económico y funcional de acuerdo con la revisión del estado del arte mostrado en el capítulo 1. Cada factor contiene un criterio y un indicador que permite que pueda ser relacionado con los fenómenos de obsolescencia que ocurren tanto de manera interna como externa a una edificación.

A continuación, en este capítulo se muestra la totalidad de factores para cada tipo de obsolescencia lo cual nos permitirá conocerlos y definir aquellos factores que se utilizaran para la presente investigación.

### 2.1. Listado de los factores que generan la obsolescencia

#### 2.1.1 Factores para predecir la obsolescencia de tipo física

Los factores para predecir la obsolescencia física (deterioro de la edificación) son los mismos que utiliza el Método de los factores, el cual es un método de predicción de la vida de servicio, establecido y regulado por la norma ISO 15686, que modifica la vida de servicio de referencia a través de unos factores que tienen en cuenta las condiciones específicas de utilización (Muñoz, 2015).

AGENTE	FACTOR	CRITERIO	INDICADOR
<b>Agente relacionado con la característica de calidad intrínseca</b>	Calidad de los componentes (fabricación, almacenamiento, transporte, materiales, capa protectora (aplicada en fábrica))	Propiedades del material	Durabilidad (Resistencia, Rigidez, Ductilidad, Dureza, Tracción, Compresión, Torsión, Flexión)
		Nivel de rendimiento	Logrado, No logrado

<b>AGENTE</b>	<b>FACTOR</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>INDICADOR</b>
	Nivel de diseño (incorporación, protección por el resto de la estructura)	Posicionamiento	Exposición, Protección frente a la intemperie, Drenaje, Orientación, Altura
		Detalles constructivos	Conexiones
		Previsión para el mantenimiento	Accesibilidad, Espacio para trabajar
		Compatibilidad de materiales	Idoneidad de la combinación de materiales
	Nivel de ejecución del trabajo (gestión del emplazamiento, nivel de mano de obra, condiciones climáticas durante la ejecución de los trabajos)	Dimensionamiento	Construcción, Subdivisión, Excesos
		Producción	Prefabricación, “in situ”, Condiciones de trabajo, Método de ejecución y exposición durante la ejecución
		Disciplina en cuanto a reglas de construcción y experiencia	Sistemas de calidad, Supervisión, Competencias, Personal experto y con experiencia
		Seguimiento de los cambios	Registro (para el mantenimiento)

<b>AGENTE</b>	<b>FACTOR</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>INDICADOR</b>
		Transporte y almacenamiento	-
<b>Medioambiente</b>	Ambiente interior (ambiente agresivo, ventilación, condensación)	Humedad	Extensión, Variaciones, Condensación, Puentes térmicos
		Temperatura	Temperatura del aire, Variaciones
		Sustancias químicas	CO2, Carbonos, Cloruros, Otros
		Flujos de aire	Con relación a la contaminación (ventilación)
		Agentes biológicos	Presencia y prevención de agentes
		Luz	Con relación a la decoloración y envejecimiento
	Ambiente exterior (elevación del edificio, condiciones micro ambientales, factores climáticos, etc.)	Humedad	Duración, Variaciones, Asociado con la orientación del edificio
		Temperatura	Temperatura del Aire, Variaciones, Protección
		Sustancias químicas	CO2, Hollín
		Agentes biológicos	Presencia y prevención de agentes

<b>AGENTE</b>	<b>FACTOR</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>INDICADOR</b>
		Suelo	Variaciones
		Cargas externas	Vibraciones de carreteras o ferrocarriles cercanos, fábricas, ruido, etc.
		Luz	Con relación a la decoloración y envejecimiento
<b>Condiciones de operación</b>	Condiciones de utilización (impacto mecánico, categoría de usuarios, desgaste)	Intensidad	Función del edificio, público/privado, comercial/residencial
		Cargas	Variaciones, Sobrecargas
		Tipo de uso	Uso incorrecto, Vandalismo
	Nivel de mantenimiento (calidad y frecuencia del mantenimiento, accesibilidad para el mantenimiento)	Planificación del mantenimiento	Implementación del mantenimiento preventivo en la programación
		Disciplina en cuanto a reglas de mantenimiento y experiencia	Calidad del sistema de mantenimiento, Supervisión, Calidad de materiales, Competencias, personal de mantenimiento experto y con experiencia

AGENTE	FACTOR	CRITERIO	INDICADOR
		Seguimiento de los cambios	Registro para el mantenimiento
		Disponibilidad de piezas de repuesto	-

Tabla 1: Factores para predecir la obsolescencia de tipo física. Fuente: Muñoz, 2015.

### 2.1.2 Factores para predecir la obsolescencia de tipo económica

Los factores para predecir la obsolescencia de tipo económica han sido definidos en base a la normativa legal basada en la Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y construcciones (OGUC).

AGENTE	FACTOR	CRITERIO	INDICADOR
Usos del suelo	Coeficiente de Constructibilidad	Precio del terreno, precio de la vivienda y Plan Regulador	Constructibilidad
	Coeficiente de ocupación del suelo	Precio del terreno, precio de la vivienda y Plan Regulador	Ocupación del suelo
	Crecimiento urbano	Proceso de urbanización que incrementa la densidad de ocupación del suelo	Crecimiento urbano por densificación

Tabla 2: Factores para predecir la obsolescencia de tipo económica. Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.3 Factores para predecir la obsolescencia de tipo funcional

Los factores para predecir la obsolescencia de tipo funcional han sido definidos en base al estado del arte visto anteriormente los que han sido resumidos en la siguiente tabla.

AGENTE	FACTOR	CRITERIO	INDICADOR
--------	--------	----------	-----------

<b>Condiciones de diseño</b>	Funciones cambiadas	Características del diseño	Características de diseño anticuadas, no útiles o no competitivas
<b>Aumento o disminución de la demanda</b>	Estándares de crecimiento	Crecimiento demográfico de un área específica	Densidad demográfica
	Regulaciones gubernamentales	Políticas de regulación del precio de la vivienda	Porcentaje de rentabilidad de los inversionistas

Tabla 3: Factores para predecir la obsolescencia de tipo funcional. Fuente: Elaboración propia.

## 2.2. Elección de los factores a usar en el modelo

Para la presente investigación se eligieron 8 factores de los factores identificados previamente en la discusión del estado del arte, recogiendo solo aquellos que poseen posibilidad de medición, existencia de normativa disponible y relevancia para la arquitectura. Los factores elegidos para el modelo se muestran en la siguiente tabla:

<b>TIPO DE OBSOLESCENCIA</b>	<b>AGENTE</b>	<b>FACTOR</b>	<b>INDICADOR</b>
<b>Física</b>	Característica de calidad intrínseca	Propiedades del material	Durabilidad de la estructura (Resistencia y vida útil del edificio)
	Medioambiente	Ambiente interior (ambiente agresivo, ventilación, condensación)	Temperatura del aire Condensación Ventilación

		Ambiente exterior (elevación del edificio, condiciones micro ambientales, factores climáticos, etc.)	Ruido
<b>Económica</b>	Usos del suelo	Coefficiente de constructibilidad	Constructibilidad
		Porcentaje de Ocupación del suelo	Ocupación del suelo
<b>Funcional</b>	Aumento o disminución de la demanda	Regulaciones gubernamentales	Rentabilidad

Tabla 4: Factores de gestión de obsolescencia a ser analizados en modelo. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describe la metodología de cada factor elegido para construir el modelo de gestión de la obsolescencia materia de la presente investigación. Estos factores son:

### **Durabilidad de la estructura**

**La** durabilidad es la capacidad que tienen las estructuras de conservar inalteradas sus condiciones físicas y químicas durante su vida útil cuando se ven sometidas a la degradación de su material por diferentes efectos de cargas y sollicitaciones, las cuales están previstas en su diseño estructural. Por ejemplo, el diseño estructural de un edificio de concreto reforzado, debe estipular las medidas adecuadas para que éste alcance la vida útil establecida en el proyecto, teniendo en cuenta las condiciones ambientales, climatológicas y el género de edificio a construir. Para el cálculo de la durabilidad de las estructuras de concreto usaremos la

metodología utilizada por Muñoz et al, 2007 la cual se basa en la normativa española para estimar la durabilidad en estructuras de concreto.

### **Condensación**

La penetración de agua lluvia y la condensación (superficial e intersticial) provoca daños en los sistemas constructivos, lo que reduce su durabilidad y puede facilitar la presencia de moho en la superficie interior. Para determinar el riesgo de condensación superficial e intersticial, se deben conocer las características higrotérmicas de los materiales que conforman los elementos de la envolvente de la vivienda (muros, pisos ventilados, cielo, ventanas y otros), además de conocer las condiciones del interior y climáticas a las que se expone la vivienda (temperatura, humedad relativa). (Bustamante, 2009) El procedimiento que usaremos para determinar el riesgo de condensación en la envolvente es el que exige la actual norma NCh. 1973.Of2008 Requisitos y mecanismos de acreditación para acondicionamiento ambiental de las edificaciones. Parte 2: Comportamiento higrotérmico.

### **Temperatura del aire**

La vivienda y sus elementos constructivos, en su interacción con el medio ambiente, se someten a una serie de fenómenos de transferencia, captación y almacenamiento de calor. El calor, como forma de energía puede ser cuantificado. Por ejemplo, para un período determinado, es posible determinar el calor que se transfiere a través de la envolvente de la vivienda en la medida que exista una diferencia de temperatura entre el ambiente interior y el exterior, asimismo, la temperatura es un factor que determina el riesgo de condensación en la envolvente. (Bustamante, 2009)

Por otro lado, el confort relacionado con la calidad del aire interior es uno de los factores directamente relacionados con el uso racional de energía pues la renovación del aire implica consumo de energía para elevar la temperatura del aire exterior en invierno y el uso de algún sistema de ventilación mecánica o natural. Para el cálculo del factor Temperatura se usará

Metodología indicada en la NCh 853 Of.2007 Acondicionamiento térmico - Envoltente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.

### **Ventilación**

Se entiende por ventilación al cambio de una porción de aire que se considera indeseable por otra de mejor calidad, que mejora su pureza, temperatura, humedad, etc. Con el objetivo de mantener la calidad del aire interior y asegurar tanto la salud de sus ocupantes como la conservación y el funcionamiento del edificio. Para asegurar la calidad del aire al interior de una vivienda durante todo el año, debe asegurarse una ventilación mínima de 20 m<sup>3</sup>/h por persona. Para obtenerla, esta ventilación debe ser controlada y autorregulable. Para el cálculo de este factor se usará la Metodología indicada en la NCh 3308 Verificación de ventilación.

### **Ruido exterior**

La selección del aislante correcto en la solución constructiva de la edificación nos permitirá atenuar el ruido proveniente del exterior al interior de la vivienda con la finalidad de garantizar el confort de los habitantes en su interior, para el cálculo de este factor se utilizará la metodología indicada en el Manual de aplicación de reglamentación acústica – Ordenanza General de Urbanismo y construcciones NCh 352 Of 2000 Aislación acústica.

Asimismo, se evaluará el impacto acústico que esta vivienda en evaluación tendrá con respecto a diferentes fuentes emisoras de ruido a diferentes distancias usando la metodología de la Norma ISO 9613 Atenuación del sonido durante la propagación en exteriores.

### **Constructibilidad y Ocupación del suelo**

El coeficiente de constructibilidad es el número que, multiplicado por la superficie total del predio, descontadas de esta última las áreas declaradas de utilidad pública, fija el máximo de metros cuadrados posibles de construir sobre el terreno (OGUC), el porcentaje de ocupación de suelo es el Número que, multiplicado por la superficie total del predio, descontadas de esta

última las áreas declaradas de utilidad pública, fija el máximo de metros cuadrados posibles de construir en el nivel de primer piso.

Las normas de regulación, tales como el índice de constructibilidad, el porcentaje de ocupación de suelo y otros, inciden en los precios que la gente está dispuesta a pagar por las viviendas y los precios que las empresas constructoras están dispuestas a pagar por los terrenos, mientras más restrictivas sean las normas de construcción -y, por tanto, mientras menor sea el índice de constructibilidad-, menor será el precio de los terrenos, y viceversa siendo insuficiente para justificar la demolición. (Edwards, 1995).

### **Rentabilidad**

Este indicador está relacionado con el aumento o disminución de la demanda de viviendas en una zona determinada, además está ligada al costo de construcción y a los coeficientes de constructibilidad y ocupación de suelo definidos por la Ordenanza general de urbanismo y construcción (OGUC) cuando se restringe la construcción bajando los coeficientes de constructibilidad, los precios de venta suben, y, a su vez, los precios de los terrenos podrían subir o disminuir, eventualmente, los precios de los terrenos podrían elevarse si los precios de venta suben más que proporcionalmente afectando la rentabilidad de los inversionistas y por lo tanto evitando la demolición y por ende la generación de residuos sólidos propio de este proceso (Edwards, 1995).

### **2.3. Clasificación de los factores por su grado de dependencia de la edificación**

Se clasificaron los factores según su grado de dependencia de la estructura de la edificación, el hacer esta clasificación permite establecer las relaciones que se producen entre los factores elegidos en el punto anterior y agruparlos como aquellos que dependen de la estructura y los que son independientes de la misma, tal como se muestra a continuación:

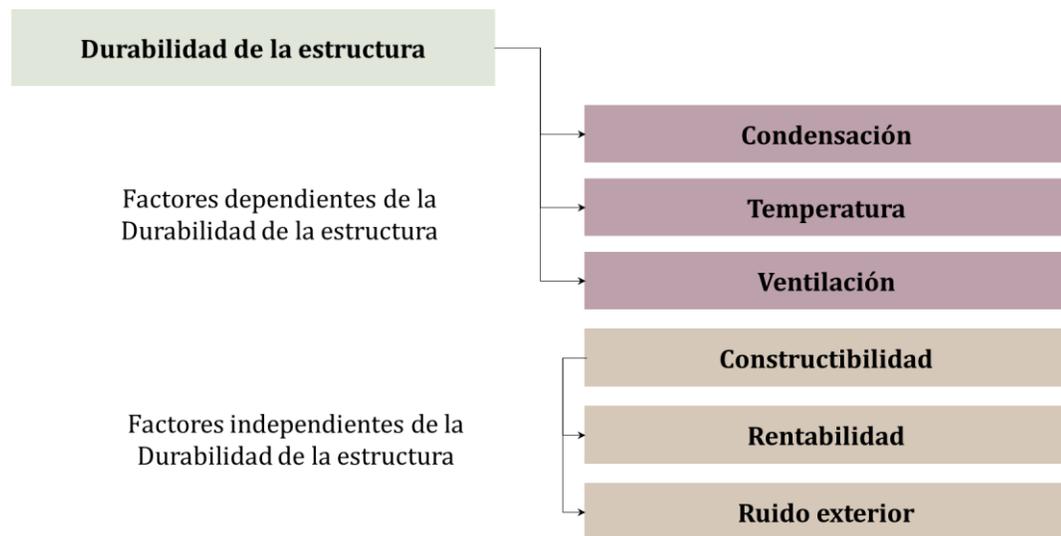


Figura 7: Clasificación de factores de obsolescencia. Fuente: Elaboración propia

### **Factores independientes de la Durabilidad de la estructura**

En este grupo tenemos aquellos factores que no dependen de la estructura del edificio ni del resto de factores para causar la obsolescencia de una edificación, entre estos tenemos a la Rentabilidad, la Constructibilidad y el Ruido exterior.

### **Factores dependientes de la Durabilidad de la estructura**

Entre estos factores tenemos aquellos que por sus características de tipo físico pueden afectar directamente a la Durabilidad de la estructura, entre estos tenemos a la Condensación (DEN), la temperatura del aire (TEM) y la Ventilación (VEN).

## **CAPÍTULO 3: CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE GESTIÓN DE LA OBSOLESCENCIA**

En el presente capítulo se especificarán los datos de partida necesarios en el modelo para la resolución del problema (Datos de entrada) y la información que debe proporcionarse al resolverse (Datos de salida) por medio del conocimiento de las Metodologías utilizadas para el cálculo de cada factor, la ponderación de los factores de acuerdo a su grado de relevancia en la obsolescencia de las edificaciones y por último la formulación de las ecuaciones para el calculo de la obsolescencia en el modelo.

### **3.1. Explicación de las Metodologías utilizadas para el cálculo de cada factor**

A continuación, se describen las metodologías utilizadas para el cálculo de cada uno de los factores elegidos en la presente investigación, estos están basados en las metodologías brindadas por la normativa chilena y en los casos que no se ha encontrado normativa propia se ha utilizado referencias de otros países. El objetivo de incorporar alguna metodología en el modelo ha sido poder cuantificar cada factor y evaluar el estado del edificio, finalmente hacer interactuar los factores en el modelo mediante una ecuación que permita cuantificar la obsolescencia del edificio en años.

#### **3.1.1 Factor: Durabilidad de la estructura:**

##### **a. Elección de la vida útil de proyecto**

Cálculo del Estado Límite de Durabilidad

$$tL \geq td$$

$$td = Yt \cdot tg$$

Donde:

- ❖  $tL$ : Tiempos necesario para que el agente agresivo produzca un ataque o degradación significativa.
- ❖  $td$ : Valor de cálculo de la vida útil.

❖ tg: Vida útil de proyecto.

**b. Elección del coeficiente de seguridad de vida útil**

Yt: Coeficiente de seguridad de la vida útil,  $Y_t = 1.1$

**c. Identificación de las clases de exposición e identificación, por cada una, del proceso de degradación predominante.**

En la siguiente tabla se muestran las diferentes clases generales de exposición relativas a la corrosión del refuerzo, sin embargo, para fines de prueba del modelo solo se usarán las subclases Humedad alta y Humedad media.

Los cementos recomendados para cada tipo de exposición se muestran en la siguiente tabla, para fines de prueba del modelo solo se utilizarán los tipos de cemento correspondientes a la clase de exposición II. (Tabla 6).

Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso
No agresiva	No agresiva	I	Ninguno
Normal	Humedad alta	IIa	Corrosión de origen diferente de los cloruros.
	Humedad media	IIb	Corrosión de origen diferente de los cloruros.
Marina	Aérea	IIIa	Corrosión por cloruros
	Sumergida	IIIb	Corrosión por cloruros.
	En zona de carrera de mareas y en zonas de salpicaduras	IIIc	Corrosión por cloruros.
	Con cloruros de	Con cloruros de origen diferente	IV

Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso
origen diferente del medio marino	del medio marino		
Química Agresiva	Débil	Qa	Ataque químico
	Media	Qb	Ataque Químico
Química agresiva	Fuerte	Qc	Ataque Químico
Con heladas	Sin sales fundentes	H	Ataque Congelación deshielo.
	Con sales fundentes	F	Ataque por sales fundentes
Erosión	Erosión	E	Abrasión. Cavitación

Tabla 5: Clases generales de exposición relativas a la corrosión del refuerzo.

Fuente: Muñoz et al, 2007.

Clase de exposición	Tipo de proceso (Agresividad debida a)	Cemento recomendado
I	Ninguno.	Todos los recomendados según la aplicación prevista
II	Corrosión del refuerzo de origen diferente de los cloruros.	CEM I, cualquier CEM II (preferentemente CEM II/A), CEM III/A, CEM IV/A.

III (*)	Corrosión del refuerzo por cloruros de origen marino	Muy adecuados los cementos CEM II/S, CEM II/V (preferentemente los CEM II/B-V), CEM II/P (preferentemente los CEM II/B-P), CEM II/A-D, CEM III, CEM IV (preferentemente los CEM IV/A) y CEM V/A.
IV	Corrosión del refuerzo por cloruros de origen no marino	Preferentemente, los CEM I y CEM II/A y, además, los mismos que para la clase de exposición III.
Q (**)	Ataque al concreto por Sulfatos.	Los mismos que para la exposición III
Q	Lixiviación del concreto por aguas puras, ácidas, o con CO <sub>2</sub> agresivo.	Los cementos comunes de los tipos: CEM II/P, CEM II/V, CEM II/A-D, CEM II/S, CEM III, CEM IV y CEM V
Q	Reactividad álcali-agregado.	Cementos de bajo contenido en alcalinos (***) (óxidos de sodio y de potasio) en los que $(Na_2O)_{eq} = Na_2O (\%) + 0,658 K_2O (\%) < 0,60$ .

Tabla 6: Cementos recomendados según las diferentes clases de exposición.

Fuente: Muñoz et al, 2007.

### Recubrimientos mínimos adecuados

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del concreto (N/mm <sup>2</sup> )	Vida útil del proyecto (tg), (años)	
			50	100
I	Cualquiera.	$f_{ck} \geq 25$	15	25
IIa	CEM I (Cemento Portland CEM I 95 - 100% Clinker K)	$25 \leq f_{ck} < 40$	15	25
		$f_{ck} \geq 40$	10	20
IIa	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al concreto.	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	30
		$f_{ck} \geq 40$	15	25
IIb	CEM I (Cemento Portland CEM I 95 - 100% Clinker K)	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	30
		$f_{ck} \geq 40$	15	25
IIb	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al concreto.	$25 \leq f_{ck} < 40$	25	35
		$f_{ck} \geq 40$	20	30

Tabla 7: Recubrimientos mínimos (mm) para las clases generales de exposición I y II.

Fuente: Muñoz et al, 2007.

#### d. Selección del modelo de durabilidad de cada proceso de degradación

En los dos modelos, tanto por el de carbonatación como por el de cloruros, el tiempo total  $t_L$  necesario para que el ataque sea significativo es:

$$t_L = t_i + t_p$$

Donde:

- ❖  $t_L$ : Tiempos necesario para que el agente agresivo produzca un ataque o degradación significativa.
- ❖  $t_i$ : periodo inicial, o sea el tiempo que tarda el agente agresivo en llegar al refuerzo y provocar la corrosión.
- ❖  $t_p$ : periodo de propagación, tiempo de propagación de la corrosión hasta llegar a una degradación significativa.

$$t_i = (d / K)^2$$

Donde:

- ❖  $d$ : espesor del recubrimiento en mm.
- ❖  $K$ : en el caso del proceso de carbonatación es  $K_c$ , coeficiente de carbonatación, que es función de la resistencia y % de aire incluido en el concreto, del ambiente en que está expuesto y del tipo de cemento.
- ❖  $t$ : Tiempo en años.

El coeficiente de carbonatación  $K_c$  se obtiene a partir de la siguiente formulación:

$$K_c = c_{env} * c_{air} * a * f_{cm}^b$$

Donde:

- ❖  $f_{cm}$  Resistencia media del concreto a compresión, en N/mm<sup>2</sup>, que puede estimarse a partir de la resistencia característica específica ( $f_{ck}$ ).

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ (en N/mm}^2\text{)}$$

Donde:

- ❖  $c_{env}$  Coeficiente de ambiente.
- ❖  $c_{air}$  Coeficiente de aire incluido.
- ❖  $a, b$  Parámetros función del tipo de conglomerante.

Parámetros para el cálculo del coeficiente de carbonatación

Coeficiente  $C_{env}$

Tipo de Ambiente	$C_{env}$
Protegido de la lluvia	1
Expuesto a la lluvia	0,5

Coeficiente  $C_{air}$

Aire incluido (%)	$C_{air}$
< 4.5%	1
$\geq$ 4.5%	0,7

Coeficientes a y b

Conglomerante	Cementos de la instrucción RC 03	a	b
Cemento Portland	CEM I CEM II·A CEM II·B-S CEM II·B-L CEM II·B-LL CEM II·B-M CEM/V	1800	-1,7
Cemento Portland+28% cenizas volantes.	CEM II·B-P CEM II·B-V CEM IV/A CEM IV/B	360	-1,2

<b>Conglomerante</b>	<b>Cementos de la instrucción RC 03</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
Cemento Portland+9% microsílíce.	CEM II·A-O	400	-1,2
Cement Portland+65% escorias.	CEM II/A CEM II/B	360	-1,2

Tabla 8: Coeficientes a y b. Fuente: Muñoz et al, 2007.

La etapa de propagación se considera concluida cuando se produce una pérdida de sección del refuerzo inadmisibles o cuando aparecen fisuras en el recubrimiento de concreto. El período para que se produzca puede obtenerse de acuerdo con la siguiente expresión:

$$tp = \frac{80 d}{\varphi Vcorr}$$

Donde:

- ❖ tp Tiempo de propagación, en años.
- ❖ d Espesor de recubrimiento en mm.
- ❖  $\varphi$  Diámetro del refuerzo, en mm.
- ❖ Vcorr, Velocidad de corrosión, en  $\mu\text{m/año}$ .

A falta de datos experimentales específicos para el concreto y las condiciones ambientales concretas de la obra, la velocidad de corrosión podrá obtenerse de la siguiente tabla.

Clase general de exposición			$V_{corr}(\mu\text{m/año})$
Normal	Humedad alta.	IIa	3
	Humedad media.	IIb	2
Marina	Aérea	IIIa	20
	Sumergida	IIIb	4
	En zona de mareas	IIIc	50
Con cloruros de origen diferente del medio marino		IV	20

Tabla 9: Velocidad de corrosión  $V_{corr}$  según la clase general de exposición. Fuente: Muñoz et al, 2007.

**e. Aplicación del modelo y estimación de  $tL$ .**

Por tanto, el tiempo total, suma del período de iniciación y el de propagación de la corrosión, será, en el caso de la corrosión por carbonatación:

$$tL = t_i + t_p = \frac{d}{Kc} + \frac{80 d}{\varphi V_{corr}}$$

En el caso de la corrosión por cloruros será:

$$tL = t_i + t_p = \frac{d}{Kcl} + \frac{80 d}{\varphi V_{corr}}$$

**f. Comprobación del Estado Límite de Servicio de Durabilidad para cada uno de los procesos de degradación relevantes.**

Para la comprobación del estado Limite de servicio de durabilidad se deben incorporar en el modelo los siguientes datos:

- ❖ Tipo de cemento
- ❖ Clase de exposición
- ❖ Tipo de ambiente
- ❖ Resistencia del concreto (N/mm<sup>2</sup>)
- ❖ Diámetro del refuerzo (mm)
- ❖ Aire incluido en el concreto (%)
- ❖ Vida útil del proyecto (años)

Con estos datos de entrada el modelo calculará el valor de tL Tiempos necesario para que el agente agresivo produzca un ataque o degradación significativa, el mismo que debe ser mayor al td Valor de cálculo de la vida útil.

### 3.1.2 Factor: Condensación

Para comprobar si una edificación puede estar expuesta a la condensación se deben seguir los siguientes pasos:

- a. Definir la temperatura exterior como la media de la temperatura mínima anual sobre una base de información climática (consultar NCh1079.Of2008), con ella obtener la presión de saturación de vapor exterior.

Sectores	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
La Serena	13.3	13.4	12.4	10.7	9.2	7.6	7.5	7.8	8.4	9.5	10.7	12.5
Calama	5.1	5.5	4.4	2.2	0.7	-0.5	-0.9	-0.9	0.4	1.7	2.8	3.6
Vallenar	13.1	13.1	12.0	10.1	8.6	7.1	6.8	7.3	7.9	9.0	10.1	11.8
Viña del mar	11.0	10.8	10.3	8.3	7.0	6.1	4.5	4.7	6.8	7.8	8.7	10.6
Santiago	11.4	10.8	8.9	6.0	4.6	2.7	2.5	3.4	4.7	6.7	8.6	10.4

Sectores	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Concepción	11.0	10.8	10.3	8.3	7.0	6.1	4.5	4.7	6.8	7.8	8.7	10.6
Temuco	9.0	8.8	7.4	5.9	5.9	4.5	4.2	3.9	4.2	5.5	7.1	8.6
Osorno	8.0	7.5	6.4	5.1	5.1	3.4	3.4	3.4	3.8	4.8	6.4	7.6
Puerto Montt	9.4	9.1	8.0	6.7	6.0	4.1	3.9	4.0	4.2	5.5	7.2	8.6

Tabla 10: Datos de temperatura mínima anual. Fuente: NCh1079.Of2008

- b. Considerar una humedad relativa exterior como 95% ( $\phi = 0.95$ ), en el caso de no tener información de la humedad relativa promedio de cada mes (en este caso si se cuenta con esa información).

Sectores	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
La Serena	80.0	82.0	85.0	86.0	85.0	84.0	84.0	85.0	84.0	82.0	81.0	80.0
Calama	42.0	47.0	47.0	39.0	34.0	34.0	33.0	31.0	32.0	32.0	31.0	36.0
Vallenar	68.0	70.0	73.0	74.0	73.0	69.0	69.0	69.0	69.0	69.0	70.0	68.0
Viña del mar	78.0	80.0	81.0	83.0	83.0	84.0	84.0	84.0	83.0	82.0	79.0	78.0
Santiago	57.0	61.0	68.0	74.0	80.0	84.0	84.0	81.0	76.0	70.0	62.0	57.0
Concepción	78.0	80.0	81.0	83.0	83.0	84.0	84.0	84.0	83.0	82.0	79.0	78.0
Temuco	74.0	77.0	78.0	84.0	88.0	89.0	88.0	86.0	83.0	81.0	78.0	75.0
Osorno	75.0	75.0	82.0	87.0	89.0	91.0	90.0	88.0	85.0	81.0	78.0	74.0
Puerto Montt	80.0	83.0	85.0	88.0	89.0	90.0	90.0	88.0	86.0	84.0	81.0	79.0

Tabla 11: Datos de humedad relativa promedio. Fuente: NCh1079.Of2008

Calcular la presión de vapor o la humedad en volumen exterior con la siguiente ecuación:

$$\bar{p}_e = \bar{\phi}_e p_{sat}(\bar{\theta}_e)$$

Donde:

- ❖  $p_e$ : Presión de vapor exterior.
- ❖  $P_{sat}(\theta)$ : Presión de vapor de saturación a la temperatura.
- ❖  $\phi_e$ : Humedad relativa exterior

- c. Definir la temperatura interior según tabla de valores de temperatura y humedad interiores recomendados.

<b>Tipo de edificio</b>	<b>Temperaturas mínimas en invierno</b>	<b>Porcentaje de humedad máxima de diseño recomendado</b>
Edificios residenciales (dormitorios, cocina, recepciones, etc.)	20	75
Edificios residenciales (bodegas, áreas comunes, etc.)	16	75
Oficinas, salas de conferencias, auditorios	20	75
Cafeterías, restaurant	20	75
Salas de clases	20	75
Jardín infantil	17,5	75
Centros comerciales	16	75

Tabla 12: Valores de temperatura y humedad interiores recomendados.

Fuente: NCh. 1973.Of2008

- d. Convertir  $\Delta v$  en presión de vapor interior por medio de la siguiente ecuación.

$$p_i = p_e + \Delta p$$

La norma NCh1973.Of2008 en su anexo A define cinco clases de humedad interior, estas dependen del tipo de edificio clasificado según su uso.

Clase de higrometría	Tipo edificio
1	Zonas de almacenamiento
2	Oficinas, tiendas
3	Viviendas con baja ocupación
4	Viviendas con alta ocupación, pabellones deportivos, cocinas, cantinas, edificios calefaccionados con estufas sin chimenea de evacuación de gases de combustión
5	Edificios especiales (lavanderías, restaurantes, piscinas entre otros)

Tabla 13. Clases de higrometría interior. Fuente: NCh. 1973.Of2008

$\Delta p$  se obtiene del tipo de uso del edificio (ver figura 8) y se deben multiplicar por 1,1 como factor de seguridad para el cálculo.

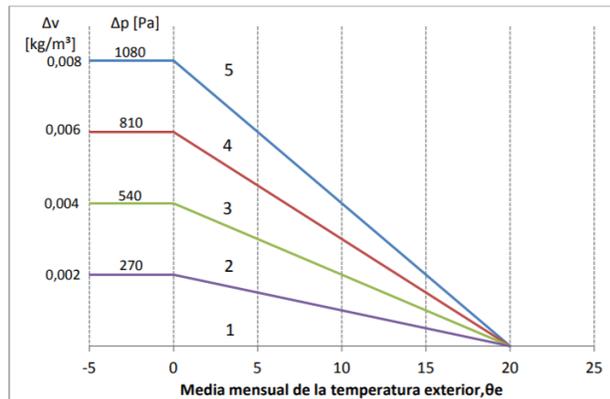


Figura 8: Variación de la humedad interior en función de las clases de higrometría y la temperatura exterior. Fuente: Rivera, 2012 en base a NCh1973.Of2008

- e. Considerando ahora una humedad relativa máxima aceptable de 100% ( $\phi = 1$ ) en la superficie, calcular la humedad de saturación mínima aceptable en volumen o la presión de vapor de saturación mínima aceptable con la ecuación del punto 2.
- f. Determinar la temperatura superficial mínima aceptable ( $\theta_{si,min}$ ) a partir de la humedad de saturación mínima aceptable o de la presión de vapor de saturación mínima aceptable determinada en el punto anterior con las siguientes ecuaciones.

$$\theta = \frac{237,3 \cdot \ln\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)}{17,269 - \ln\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)}, \text{ para } p_{sat} \geq 610,5 \text{ Pa}$$

$$\theta = \frac{265,5 \cdot \ln\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)}{21,875 - \ln\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)}, \text{ para } p_{sat} < 610,5 \text{ Pa}$$

ln: Logaritmo natural o logaritmo en base e.

El factor de temperatura de la superficie interior  $fR_{si}$ , para cada cerramiento, partición interior, se calcula a partir de su transmitancia térmica mediante la siguiente ecuación:

$$fR_{si} = 1 - U * 0,25$$

Con la temperatura mínima aceptable ( $\theta_{si,min}$ ), la temperatura prevista del aire interior ( $\theta_i$ ) determinada en 3 y la temperatura exterior ( $\theta_e$ ) determinada en 1, calcular el factor de temperatura exigido para la envolvente del edificio ( $fR_{si,min}$ ) mediante la ecuación:

$$fR_{si, min} = \frac{\theta_{si, min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

Este cálculo se debe hacer para todos los meses del año, el mes crítico es aquel con un mayor valor de  $fR_{si, min}$ , a este valor se le llama  $fR_{si, max}$ . Por lo tanto, el factor de temperatura de la superficie interior de un elemento se debe diseñar para que siempre se cumpla que:

$$fR_{si} > fR_{si, \max}$$

Para la comprobación del riesgo de condensación superficial en la envolvente del proyecto se deben incorporar en el modelo los siguientes datos:

- ❖ Ciudad
- ❖ Tipo de edificio
- ❖ Clasificación del tipo de edificio
- ❖ Datos para el cálculo de transmitancia (material y espesor)

Con estos datos de entrada el modelo calculará el Factor de temperatura de la superficie interior  $fR_{si}$  el mismo que debe ser mayor al  $fR_{si, \max}$  para asegurar que no exista riesgo de condensación superficial.

### 3.1.3 Factor: Temperatura del aire

#### **Balance energético:**

La potencia (energía por unidad de tiempo) requerida por la vivienda para mantener un determinado nivel de  $T^{\circ}$  interior en período de invierno, estará dada por la siguiente ecuación (régimen estacionario) (Bustamante, 2009):

$$E_{\text{requerida}} = [(Q+V) * \Delta T] - [G_p + G_s + I]$$

#### **Donde:**

**G** = Ganancias de calor

❖ Ganancia por personas  $G_p$  = Número de personas \* 100 W/persona

❖ Ganancia solar  $G_s$  = Área de la ventana (m<sup>2</sup>) \* Ganancia por elementos vidriados (W/m<sup>2</sup>)

❖ Ganancias por iluminación  $I = \text{Área del espacio (m}^2) * 5 \text{ W/m}^2$ .

**Q** = Pérdidas o ganancias de calor por transmisión a través de los elementos de la envolvente (Q).

$$Q = \Sigma U \times A + \Sigma K_l \times L \text{ (W/}^\circ\text{C)}$$

**Donde:**

❖ U = Transmitancia térmica del elemento. Medida en  $\text{W/m}^2\text{}^\circ\text{C}$ . cuyo método de cálculo se realiza en base a la NCh 853 Of.2007 (también puede medirse en laboratorios)."

❖ A ( $\text{m}^2$ ) representa el área del elemento de transmitancia térmica U

❖  $K_l$  ( $\text{W/m}^\circ\text{C}$ ), representa la transmitancia térmica lineal de un puente térmico cuyo valor se obtiene de la NCh 853 Of.2007.

❖ L (m) corresponde al perímetro de este puente térmico en contacto con el exterior.

**V** = Pérdidas de calor por ventilación (V)

$$V = 0,33 \times n \times V_o \times \Delta T \text{ (W)}$$

**Donde:**

❖ n = tasa de renovación de aire 1/h

❖  $V_o$  = volumen de la vivienda

❖  $\Delta T$  = Diferencia de Temperatura entre el interior y el exterior

### 3.1.4 Factor: Ventilación

Se establece requerimiento de Ventilación o flujo de aire requerido, según metodología establecida en NCh3309 (sistema métrico internacional).

$$Q_{tot} = 0.015 \times A_{piso} + 3.5 (Nbr + 1)$$

Donde:

- ❖  $Q_{tot}$  = Requerimiento de Ventilación
- ❖  $A_{piso}$  = Área del piso
- ❖  $Nbr$  = Número de dormitorios

Con este valor se establece la tasa de renovación de aire necesaria para ventilar la vivienda (vol/hr) mediante la siguiente formula:

$$\text{Tasa de renovación de aire} = Q_{tot} \text{ (m}^3\text{/hr)} / \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

### 3.1.5 Factor: Ruido exterior

Se evaluará el impacto acústico que tendrá el edificio en evaluación con respecto a diferentes fuentes emisoras de ruido a diferentes distancias usando la metodología de la Norma ISO 9613 Atenuación del sonido durante la propagación en exteriores, como se indica a continuación:

#### a. Nivel de presión sonora

El nivel de presión sonora continuo equivalente por bandas de octava a favor del viento,  $L_{fT}(DW)$ , está determinado por la siguiente ecuación:

$$L_{fT}(DW) = L_w + D_c - A \quad [\text{dB}]$$

Donde:

- ❖  $L_w$ : Nivel de potencia sonora por bandas de octava, en decibeles.
- ❖  $D_c$ : Es la corrección por directividad, en decibeles.
- ❖  $A$ : Atenuación por bandas de octava, en decibeles.

### b. Nivel de potencia sonora

Si se tiene las especificaciones de los equipos que se utilizan en la actividad emisora de ruido:

De acuerdo con la actividad generadora de ruido y la ubicación del proyecto, se seleccionará el nivel de potencia sonora según información del mapa de ruido Gran Santiago 2016.

Si se cuenta con la medición de emisión de ruido de la fuente:

$$L_w = L_p + 10 \log \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad [\text{dBA}]$$

Donde:

- ❖  $L_p$ : Nivel de presión acústica generado por cada fuente, medido en dBA.
- ❖  $S$ : área de la superficie de medida (consideramos la de una esfera  $4\pi r^2$ ), donde  $r = 10$  m
- ❖  $S_0$ : área de referencia ( $1 \text{ m}^2$ )

Considerando la superficie de medida como  $4\pi r^2$ , quedaría lo siguiente:

$$L_w = L_p + 10 \log 4\pi + 10 \log 10^2$$

$$L_w = L_p + 11 + 20$$

$$L_w = L_p + 31$$

### c. Cálculo de la atenuación por distancia

La atenuación  $A$  está dada por la siguiente ecuación:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \quad [\text{dB}]$$

Donde:

- ❖  $A_{div}$ : atenuación debido a la divergencia geométrica
- ❖  $A_{atm}$ : atenuación debido a la absorción atmosférica
- ❖  $A_{gr}$ : atenuación por efecto del suelo
- ❖  $A_{bar}$ : atenuación por efecto de barreras
- ❖  $A_{misc}$ : atenuación por otros efectos similares

Asimismo, la ISO 9613 define la atenuación debido a la divergencia geométrica, la cual se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$A_{div} = 20 \log(d/d_0) + 11 \text{ [dB]}$$

Donde:

- ❖  $d$ : distancia desde la fuente al receptor, en metros.
- ❖  $d_0$ : distancia de referencia (=1m), considerando que es una fuente sonora omnidireccional puntual.

#### d. Nivel de ruido recibido

Finalmente se calcula el Nivel de ruido recibido mediante la suma de los Niveles de presión sonora ( $L_{pT}$ ) de cada fuente de emisión, utilizando la siguiente fórmula:

$$L_{eq_{total}} = 10 \log \left( \sum_{i=1}^n 10^{L_{eq_i}/10} \right)$$

Este valor se compara con los valores límite de exposición al ruido en concordancia con lo indicado por la Organisation for Economic Cooperation and Development OECD y la Organización Mundial de la Salud OMS. El valor recomendado para el LD corresponde a 65 dBA.

### **3.1.6 Factor: Constructibilidad y ocupación de suelo**

Edwards, 1995 presenta un modelo para cuantificar la relación entre el precio del terreno y el índice de constructibilidad mediante un modelo simple que pretende reflejar las principales relaciones, se usa el índice de constructibilidad como indicador de las múltiples normas de un Plan Regulador, puesto que ese índice, en general, es la mayor limitante en la edificación en altura y, además, porque facilita la presentación del modelo.

La metodología para encontrar el precio que están dispuestos a pagar los inversionistas por el terreno a construir en base al coeficiente de constructibilidad es el siguiente:

#### **a. Cálculo de los costos de construcción:**

Los costos de construcción se calculan sumando los costos de construcción bajo NPT (Nivel de piso terminado) y sobre NPT en m<sup>2</sup>, estos datos se calculan multiplicando el coeficiente de constructibilidad y la superficie del terreno, teniendo en cuenta que por cada m<sup>2</sup> de construcción sobre la cota 0, se construyen 0,2 m<sup>2</sup> bajo dicha cota (Edwards, 1995).

Sobre el costo de construcción, se agrega un 40% para cubrir gastos generales: honorarios de arquitectos, abogados y otros, gastos financieros y utilidades de la empresa constructora.

#### **b. Cálculo de la Superficie útil:**

La superficie útil es el producto del coeficiente de constructibilidad por el porcentaje de ocupación de suelo.

El coeficiente de constructibilidad es diferente para cada comuna según Plan regulador comunal correspondiente, para obtener este dato se debe indicar la comuna correspondiente en el modelo.

**c. Cálculo de los costos totales:**

El costo total (UF/m<sup>2</sup> de terreno) es igual a los costos de construcción + costos por honorarios, gastos generales, utilidad (40%) + precio del terreno

**d. Cálculo del Precio de venta**

El precio de venta es el  $P_v$  por m<sup>2</sup> útil, es igual al costo total del terreno dividido entre la superficie útil

Por lo tanto, el Precio de venta es igual a la siguiente formula:  $P_v = 35 + 1.25 P_T/cc$ .

Debe cumplirse que el precio base del terreno sea menor que el precio de venta  $P_v$ , cuando se restringe la construcción bajando los coeficientes de constructibilidad los precios de venta pueden subir y a su vez los precios de los terrenos podrían subir o disminuir, si esto no ocurre el proyecto no sería factible no siendo justificada la demolición.

### **3.1.7 Factor: Rentabilidad**

Para conocer si un proyecto es rentable y su ejecución justifica la demolición de alguna edificación existente, se debe calcular los indicadores TIR y VAN. Tanto el VAN como la TIR brindan la opción de analizar la rentabilidad de un proyecto de inversión. El valor actual neto (VAN) es la diferencia entre el dinero que ingresa a una empresa y el monto que se invierte en un mismo proyecto; su objetivo es conocer si este proyecto da realmente beneficios. Por otro lado, la Tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de descuento de un proyecto que se analiza para considerarlo como apto. (ESAN, 2019).

Tanto el VAN como el TIR son herramientas financieras que permiten evaluar las rentabilidades esperadas de determinadas inversiones empresariales.

**a. Valor actual neto (VAN)**

El VAN es un criterio de inversión que consiste en actualizar los flujos de caja futuros (cobros y pagos). Es decir, traer al presente los flujos de caja esperados, descontándolos a un tipo de interés determinado. Así, el VAN expresará una medida de rentabilidad de un proyecto en términos absolutos.

El VAN se calcula de la siguiente forma:

$$VAN = -IO \frac{F1}{(1+k)} + (...) + \frac{Fn}{(1+k)^n}$$

Donde:

- ❖ IO es la inversión inicial;
- ❖ Ft, son los flujos de caja en cada periodo;
- ❖ n, es el número de periodos; y
- ❖ k la tasa de descuento.

Cuando el VAN es superior a cero, se puede entender que la actualización de los flujos de caja generara beneficios. Si el VAN es igual a cero, la inversión no generará beneficios ni pérdidas. Y finalmente, cuando el VAN es inferior a cero, el proyecto de inversión generara pérdidas.

Igualmente, como indicábamos, la TIR es una herramienta que permite evaluar una inversión. A diferencia del VAN la TIR se expresa en porcentaje.

**b. Tasa interna de retorno (TIR)**

La TIR se calcula a partir del VAN. Concretamente la TIR es la tasa de descuento en la fórmula del VAN que anteriormente hemos expresado. Para su cálculo, llevamos el VAN a cero:

$$VAN = -IO \frac{F1}{(1 + TIR)} + (...) + \frac{Fn}{(1 + TIR)^n} = 0$$

Cuanto más alta sea la TIR de una inversión en un proyecto, más deseable será la inversión. Lo más razonable es comparar la TIR con un coste de oportunidad. Cada inversor se marcará su coste de oportunidad. Cuando la TIR sea superior a este coste de oportunidad marcado por el inversor, la inversión tendrá sentido económico. Bajo estos resultados, parece razonable invertir en el proyecto empresarial. Visto que, las expectativas de rentabilidad son superiores a las que ofrece el producto financiero mencionado.

Para el cálculo de la Rentabilidad necesitamos conocer el coeficiente de constructibilidad del lugar donde se proyecta construir, asimismo la superficie total del terreno disponible y el valor del m<sup>2</sup> del terreno, con esta información podemos conocer el Costo del terreno, los metros cuadrados construibles, metros cuadrados vendibles, metros cuadrado que tendrán los departamentos, número de departamentos y los Costos por departamento, esta información permite conocer las tasas de flujo e interés para el cálculo del valor anual neto (VAN) y de la Tasa interna de retorno (TIR).

Por ejemplo, Supongamos que un inversor tiene la oportunidad de invertir en construir una edificación en un área de 2000 m<sup>2</sup> en Santiago centro, una entidad financiera le ofrece un interés del 4%. Para que la constructora pueda tomar la decisión de invertir en la nueva edificación acude al cálculo de la TIR, para ello aplica las fórmulas expresadas anteriormente. Una vez realizado el cálculo, la TIR obtenida asciende al 5.7% por lo que podemos deducir que el proyecto es rentable de ejecutarse.

### 3.2. Ponderación de los factores – Grados de afectación

Para la ponderación de cada factor propuesto en el modelo se diseñó una encuesta según la metodología descrita en el Anexo 1, esta encuesta fue sometida a la valoración de 27 expertos<sup>1</sup> se calculó la media aritmética de la valoración de los expertos en una escala de 0.2 a 1.0 (Donde 0.2 equivale a “Nada importante” y 1.0 a “Muy importante” tal como se indica en la tabla 13.

Calificación	Valor
Muy importante	1.0
Importante	0.8
Ni muy ni poco importante	0.6
Poco importante	0.4
Nada importante	0.2

Tabla 14: Ponderación de los factores de obsolescencia.

Fuente: Elaboración propia.

La Ponderación de los factores realizados por los expertos permitió otorgar un peso a cada factor que para fines de la investigación llamaremos más adelante como **Grados de afectación “GA”**, ya que muestran la afectación o influencia que tiene cada factor en el fenómeno de la obsolescencia, el resultado de la ponderación de los expertos es el que se muestra en la siguiente tabla:

Factores	Indicador	Valor según ponderación de expertos
Durabilidad de la estructura	Tiempo para la degradación (tL) [años]	0.9

<sup>1</sup> Los expertos reúnen las siguientes características: 3 profesionales de la Arquitectura, 3 de la Construcción, 1 de la Gestión y 2 de Servicio público todos ellos con una reconocida experiencia profesional pertenecientes al equipo de Construye 2025 programa impulsado por CORFO que busca transformar al sector construcción desde la productividad y la sustentabilidad a nivel nacional.

Condensación	Factor de temperatura de la superficie interior (frsi) [s/u]	0.8
Ventilación	Tasa de renovación necesaria [vol/hr]	0.7
Temperatura	Balance Energético [W]	0.6
Ruido exterior	Nivel de ruido recibido [Db]	0.5
Rentabilidad	Rentabilidad [%]	0.9
Constructibilidad	Precio base del terreno PT [UF]	0.8

Tabla 15: Resultado de la ponderación de expertos según encuesta. Fuente: Elaboración propia.

### 3.3. Formulación de la Ecuación integrada

Para la estimación del tiempo de obsolescencia fue necesario construir una ecuación que integre todos los factores que generan la obsolescencia, según su dependencia o independencia de la estructura de la edificación según clasificación realizada en el punto 8, finalmente obtenemos dos ecuaciones que integran cada grupo de factores tal como se muestra a continuación:

**Para factores independientes de la Durabilidad de la estructura:** Esta ecuación permite la integración y relación de todos los factores externos o independientes de la edificación y su estructura, entre los que tenemos a la Constructibilidad, la Rentabilidad y el Ruido exterior. El valor para cada factor calculado en el modelo será multiplicado por el Grado de afectación descrito en el punto anterior.

$$\text{Obsolescencia (años)} = \text{CONS} * \text{GAcons} + \text{REN} * \text{GAren} - \text{RUI} * \text{GARui}$$

Donde:

CONS = Constructibilidad (años)

REN = Rentabilidad (años)

RUI = Ruido exterior (años)

GAcons = Grado de afectación del factor Constructibilidad

GAren = Grado de afectación del factor Rentabilidad

GArui = Grado de afectación del factor Ruido exterior

**Para factores dependientes de la Durabilidad de la estructura:** Esta ecuación permite la integración y relación de todos los factores internos o dependientes de la edificación y su estructura, entre los que tenemos a la Condensación, la temperatura y la ventilación, el valor para cada factor calculado en el modelo será multiplicado por el Grado de afectación descrito en el punto anterior.

$$\text{Obsolescencia (años)} = \text{DES} - \text{COND} * \text{GAcond} - \text{TEM} * \text{GAtem} + \text{VEN} * \text{GAven}$$

Donde:

DES = Durabilidad de la estructura (años)

COND = Condensación (años)

TEM = Temperatura (años)

VEN = Ventilación (años)

GAcond = Grado de afectación del factor Condensación

GAtem = Grado de afectación del factor Temperatura

GAven = Grado de afectación del factor Ventilación

Los factores independientes de la Durabilidad de la estructura son determinantes en la generación de la obsolescencia de una edificación ya que responden a las condiciones de

un mercado en constante cambio, el modelo tiene la capacidad de permitir al diseñador visualizar este fenómeno, por ejemplo si alguno o todos los factores independientes de la Durabilidad de la estructura condicionan la obsolescencia, el modelo permitirá que la ecuación que predomine sea la que integra los factores independientes de la Durabilidad de la estructura sobre la ecuación que integra los factores dependientes de la misma.

### 3.4. Formulación de ecuaciones parciales

Para entender este apartado es necesario conocer a priori cómo funciona el modelo de gestión de la obsolescencia en su prototipo realizado, el cual se construyó con ayuda de la herramienta Excel (XLS), consistiendo de 8 pestañas, 7 de las cuales representan a los factores que generan la obsolescencia (Durabilidad de la estructura, Constructibilidad, Rentabilidad, Condensación, Temperatura, Ventilación y Ruido exterior) y la última pestaña (Obsolescencia) que es la que va a permitir calcular el tiempo en el que una edificación será considerada obsoleta.

#### 3.4.1. Interfaz gráfica del modelo de gestión de la obsolescencia

Se cuentan con datos de entrada y salida para cada uno de los factores, los datos de entrada se encuentran en color amarillo para facilidad del usuario.

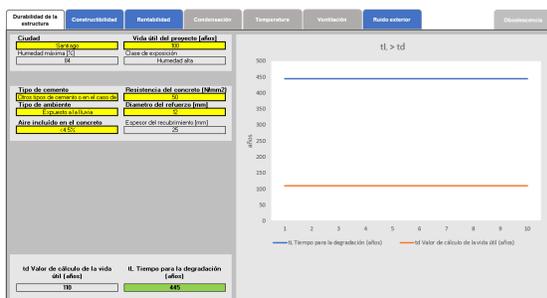


Figura 9: Pestaña Factor Durabilidad de la estructura

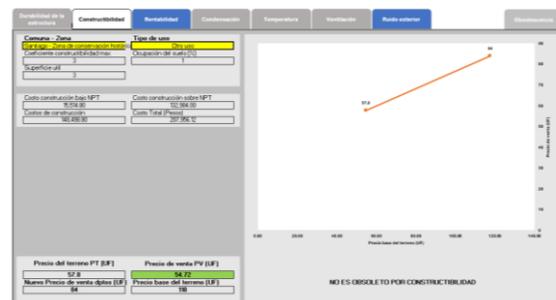


Figura 10: Pestaña Factor Constructibilidad

Modelo de Gestión de la Obsolescencia de Edificios: Estudio de la interacción de los factores de obsolescencia mediante un modelo numérico

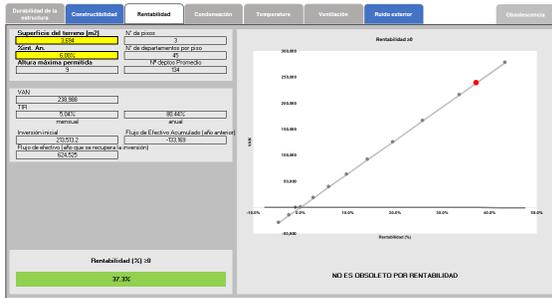


Figura 11: Pestaña Factor Rentabilidad

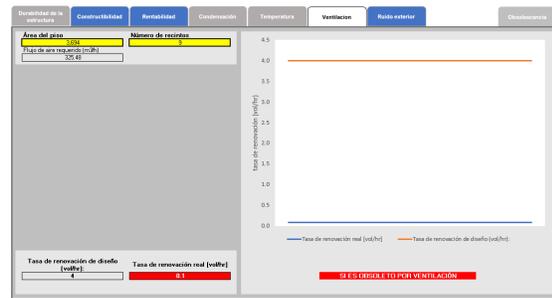


Figura 14: Pestaña Factor Ventilación



Figura 12: Pestaña Factor Condensación

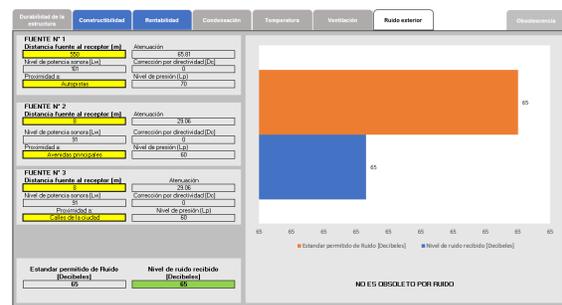


Figura 15: Pestaña Factor Ruido exterior

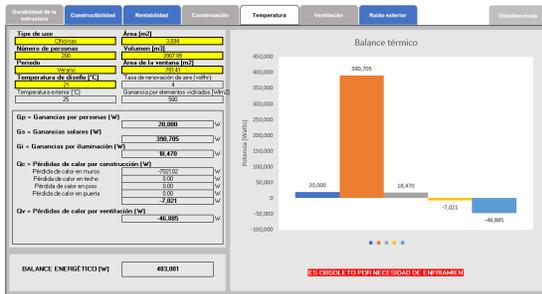


Figura 13: Pestaña Factor Temperatura

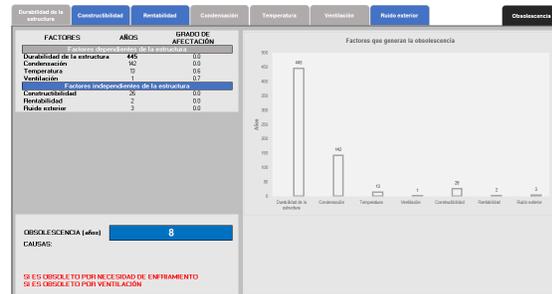


Figura 16: Pestaña Cálculo de la obsolescencia

3.4.2. Ecuación para los Factores independientes de la Durabilidad de la estructura

a. Ecuación del Factor Rentabilidad:

Para poder establecer un indicador que nos permita estimar el factor Rentabilidad en años es necesario conocer los parámetros que lo influyen,

Dos parámetros muy usados a la hora de calcular la viabilidad de un proyecto son el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno). Ambos conceptos se basan en lo mismo, y es la estimación de los flujos de caja (simplificando, ingresos menos gastos netos).

Si tenemos un proyecto que requiere una inversión X y nos genera flujos de caja positivos Y a lo largo de Z años, habrá un punto en el que recuperemos la inversión X. Por lo tanto, a los flujos de caja hay que recortarles una tasa de interés que podríamos haber obtenido, es decir, actualizar los ingresos futuros a la fecha actual. Si a este valor le descontamos la inversión inicial, tenemos el Valor Actual Neto del proyecto.

Para calcular cuánto tiempo debe transcurrir (ej.: años) para que la acumulación de beneficios netos alcance a cubrir la inversión inicial se utilizará la siguiente fórmula del Periodo de recupo de la inversión (PRI), El período de recuperación de la inversión (PRI) es un indicador que mide en cuánto tiempo se recuperará el total de la inversión a valor presente. Puede revelarnos con precisión, en años, meses y días, la fecha en la cual será cubierta la inversión inicial.

Con este valor se puede estimar que la Rentabilidad en años, la misma que será igual al PRI, la obsolescencia ocurrirá cuando la TIR sea mayor que el costo de capital y de oportunidad, es decir, cuando el rendimiento de la inversión sea mayor al mínimo utilizado como aceptable y la inversión sea económicamente rentable (ESAN, 2017).

$$\text{Ecuación del Factor Rentabilidad (años)} = \text{PRI} = a + (b - c) / d$$

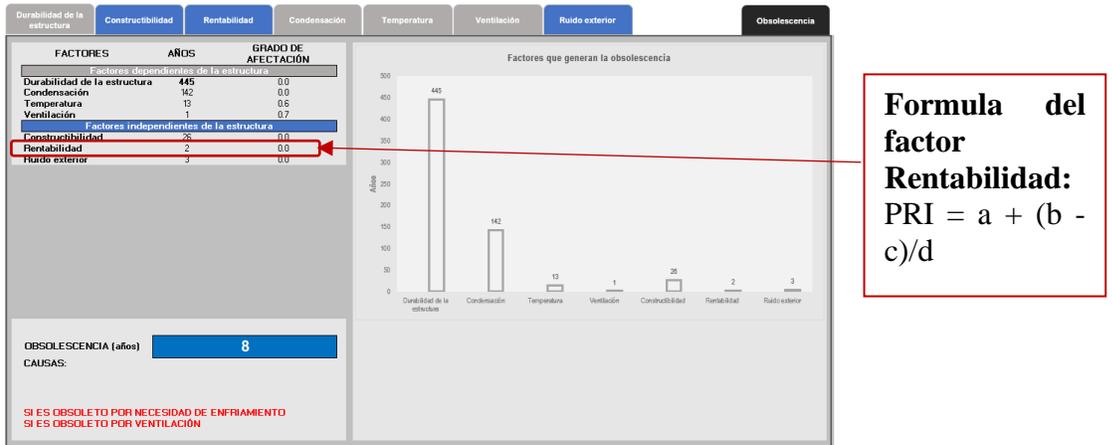
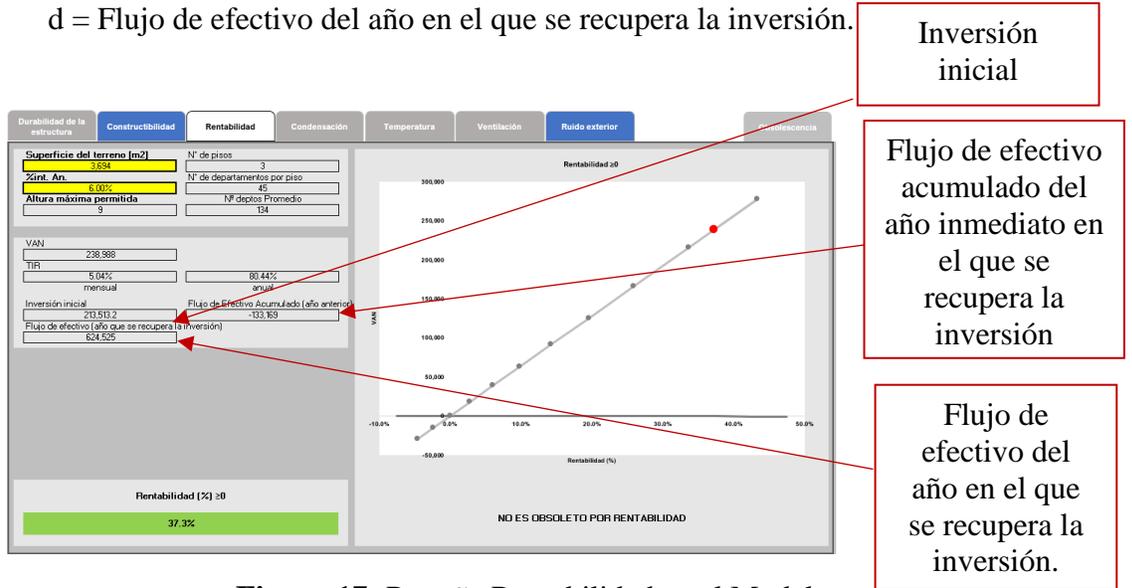
Donde:

a = Año inmediato anterior en que se recupera la inversión.

b = Inversión Inicial.

c = Flujo de Efectivo Acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión.

d = Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión.



**b. Ecuación del Factor Constructibilidad:**

Para poder establecer un indicador que nos permita estimar el factor constructibilidad en años es necesario conocer los parámetros que lo influyen, entre estos tenemos al Precio de venta (PV) el cual nos indica la factibilidad de construir en una determinada zona y la Rentabilidad que nos brinda la opción de evaluar si un proyecto de inversión es rentable ya que la variabilidad en el precio de los terrenos podría afectar la rentabilidad de los inversionistas (Edwards, 1995), por lo que para establecer una ecuación que relacione Precio de venta (PV) y Rentabilidad se hizo necesario establecer una regresión lineal entre estas variables tal como se observa.

Precio de venta	Rentabilidad
23.12	-26
34.68	7.2
46.24	23.8
57.8	33.8
69.36	40.4
80.92	45.2
92.48	48.7
104.4	51.5
115.6	53.7
127.16	55.5
138.72	57
150.28	58.3
161.84	59.4
173.4	60.4

**Ecuación:**  $y = 32.224\ln(x) - 104.71$   
 $R^2 = 0.8904$

Donde:  
**y** = Rentabilidad  
**x** = Precio de venta  
 $R^2 = 0.9923$

184.96	61.2
196.52	61.9
208.08	62.6
219.64	63.2
231.2	63.7
242.76	64.1

Tabla 16: Relación entre el precio de venta y la Rentabilidad

Por lo que tenemos:

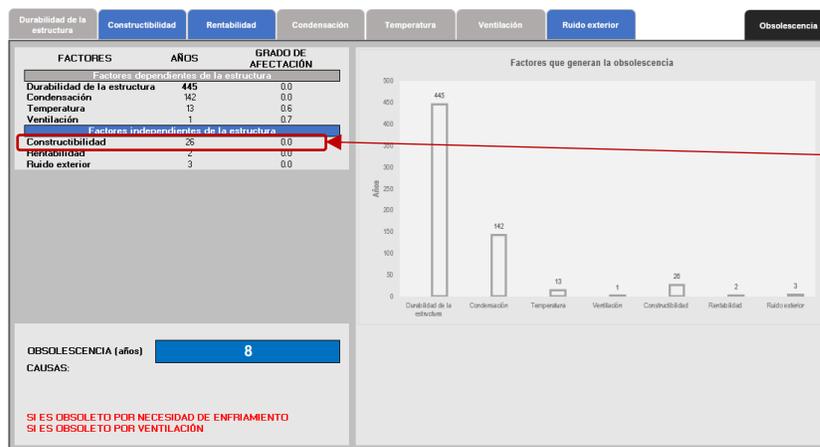
$$\text{Rentabilidad} = 32.224 * \ln \text{PV} - 104.71$$

Donde: PV = Precio de venta

$$\text{PV} = e^{(104.71 + \text{Rentabilidad}/32.224)}$$

Por lo tanto, para llevar la ecuación del Factor Constructibilidad a años tenemos:

$$\text{Ecuación del Factor Constructibilidad (años)} = \text{PV} = e^{(104.71 + \text{Rentabilidad}/32.224)}$$



**Formula del factor constructibilidad:**  

$$\text{PV} = e^{(104.71 + \text{Rentabilidad}/32.224)}$$

Figura 19: Pestaña obsolescencia en el Modelo que muestra el valor de la Constructibilidad

### c. Ecuación del Factor Ruido exterior:

El precio de las viviendas depende de muchas variables entre las cuales está el ruido. En la medida que este tenga efecto sobre el bienestar de las personas, los manifestarán a través de estar dispuestas a pagar un precio distinto si la vivienda está expuesta o no al ruido. Si se considera que la relación entre ruido y precio de las viviendas es inversamente proporcional, las viviendas que están expuestas a un mayor nivel de ruido tendrán un precio menor. Si se compara entre dos viviendas que tienen iguales características, pero una expuesta al ruido y otra no, la diferencia de precio entre ellas corresponderá al valor del daño ambiental producto del ruido. (Aguirre, 2005).

Para relacionar precio de venta y los impactos del ruido exterior usaremos la formula del precio hedónico propuesta por Aguirre 2005:

$$\text{Ln Precio} = 6,037 + 0,011 \text{ n}^\circ \text{ pisos} - 0,106 \text{ video portero} + 0,699 \text{ ln superficie} - 0,060 \text{ calefacción} + 0,374 \text{ bodega} + 0,180 \text{ n}^\circ \text{ estacionamientos} - 0,369 \text{ ln ruido}$$

Reemplazando Precio (PT) en la ecuación tenemos:

**Ecuación del Factor Ruido exterior (años) = Ln ruido = (6,037 + 0,011 n° pisos – 0,106 video portero + 0,699 ln superficie – 0,060 calefacción + 0,374 bodega + 0,180 n° estacionamientos – Ln Precio) /0,369**

$$\text{Ln ruido} = 6,037 + 0,011 \text{ n}^\circ \text{ pisos} - 0,106 \text{ video portero} + 0,699 \text{ ln superficie} - 0,060 \text{ calefacción} + 0,374 \text{ bodega} + 0,180 \text{ n}^\circ \text{ estacionamientos} - \text{Ln PT}$$

**Donde:**

N° pisos: número de pisos

Superficie: Superficie de terreno m<sup>2</sup>

Ruido: Nivel de ruido recibido Db

PT: Factor constructibilidad (años)

Nota: Para fines de cálculo se asume un valor de 1 para las variables video portero, calefacción, bodega y estacionamientos.

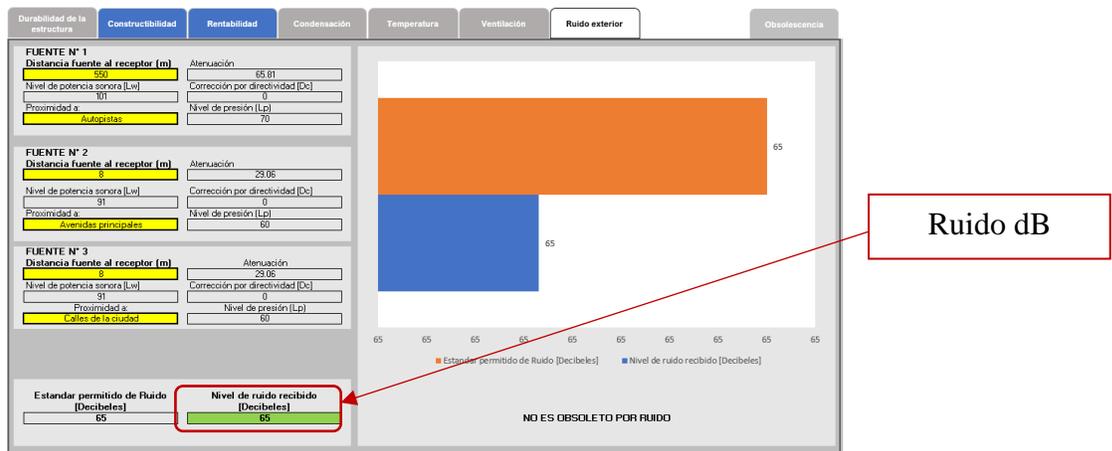


Figura 20: Pestaña obsolescencia en el Modelo que muestra el valor del Ruido exterior



Figura 21: Pestaña obsolescencia en el Modelo que muestra el valor del Ruido exterior

### 3.4.3. Ecuación para los Factores dependientes de la Durabilidad de la estructura

#### a. Ecuación del Factor Condensación:

Para conseguir una ecuación que muestre como la condensación influye en la obsolescencia es necesario entender el fenómeno que ocurre en la edificación. Navarrete, 2007 explica que la Humedad relativa es uno de los factores más importantes en el proceso de corrosión atmosférica. Un método para conocer la corrosividad de un lugar es el índice de deterioro de Brooks, según la siguiente ecuación:

$$I = \frac{(HR - 65) * P}{100}$$

Donde:

I = índice de deterioro

HR = Humedad relativa %

P = Presión de saturación del vapor de agua en la atmósfera en mbar.

Por otro lado, el tiempo de propagación ( $t_p$ ) sirve para calcular el tiempo en el que se produce una pérdida de sección del refuerzo inadmisibles o cuando aparecen fisuras en el recubrimiento de concreto de acuerdo con la siguiente expresión (Ver también punto 9.1.1.d):

$$t_p = \frac{80 d}{\phi V_{corr}}$$

Donde:

$t_p$  Tiempo de propagación, en años.

d Espesor de recubrimiento en mm.

$\phi$  Diámetro del refuerzo, en mm.

$V_{corr}$ , Velocidad de corrosión, en  $\mu\text{m/año}$ .

Para calcular el tiempo en el que se produciría la condensación en el edificio, multiplicamos el índice de deterioro (I) por el tiempo de propagación (tp), obteniendo el tiempo en el que el edificio se verá afectado por los procesos de corrosión por la humedad volviéndose obsoleto.

**Ecuación del Factor Condensación (años) = I \* tp**

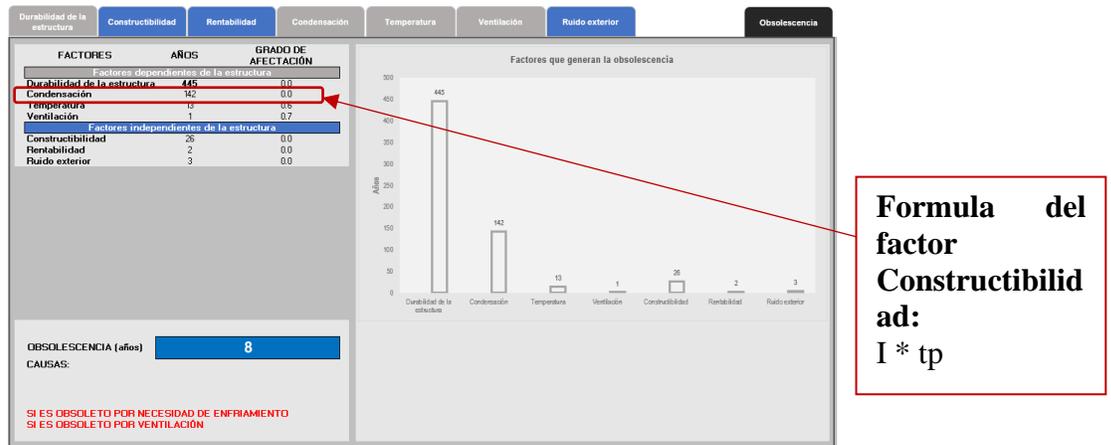
Donde:

I = índice de deterioro

tp Tiempo de propagación, en años.



**Figura 22:** Pestaña obsolescencia en el Modelo que muestra el valor de la Durabilidad de la estructura



**Figura 23:** Pestaña obsolescencia en el Modelo que muestra el valor de la Condensación

**b. Ecuación del Factor Ventilación:**

Para conseguir una ecuación que permita estimar como influye la Ventilación en la obsolescencia de una edificación, tomamos como criterio que la ventilación es un parámetro que influye disminuyendo el riesgo de condensación en la envolvente, por lo que se establece una relación entre el coeficiente pelicular y la tasa de renovación de aire a partir de la fórmula de transferencia de calor de Adams y el coeficiente pelicular. (Yarke, 2005).

El coeficiente pelicular o coeficiente de conductibilidad exterior se puede definir como la cantidad de calor que se transmite a través de la unidad de superficie de separación entre un sólido y un fluido, cuando la diferencia de temperatura entre ambos es unitaria y en la unidad de tiempo, la unidad resultante es el W/m<sup>2</sup> K (M.Aeberhard, 2005), la transmitancia está definida como la transmisión de calor por unidad de tiempo y unidad de superficie, inducida por una diferencia de una unidad de temperatura entre el ambiente exterior e interior, e incluyendo

la resistencia de las películas superficiales de aire, la unidad resultante es el W/m<sup>2</sup> K, por lo que tenemos que  $h_c = U$ .

$$U = h_c = 5.67 + 3.8V$$

Donde:

U = Transmitancia térmica del elemento. (W/m<sup>2</sup>°C)

h<sub>c</sub> = coeficiente de transferencia pelicular (W/m<sup>2</sup> K)

V = velocidad del aire (m/s)

Por otro lado, tenemos que el flujo de aire requerido o tasa de renovación de aire es igual a:

$$Q = V * A$$

Donde:

Q = Flujo de aire requerido (m<sup>3</sup>/s)

V = Velocidad del aire (m/s)

Área = Área del recinto (m<sup>2</sup>)

Por lo tanto:

$$V = Q/\text{Á}$$

Reemplazando en la ecuación:

$$U = h_c = 5.67 + 3.8*(Q/A)$$

La transmitancia se relaciona con el factor de temperatura de la superficie interior f<sub>Rsi</sub>, para cada cerramiento, partición interior, mediante la siguiente ecuación (NCh. 1973.Of2008):

$$\begin{aligned} f_{Rsi} &= 1 - U*0.25 \\ &= 1 - (5.67 + 3.8*(Q/A)) *0.25 \end{aligned}$$

$$\text{Ecuación del Factor Ventilación (años)} = 1 - (5.67 + 3.8*(Q/A)) *0.25$$

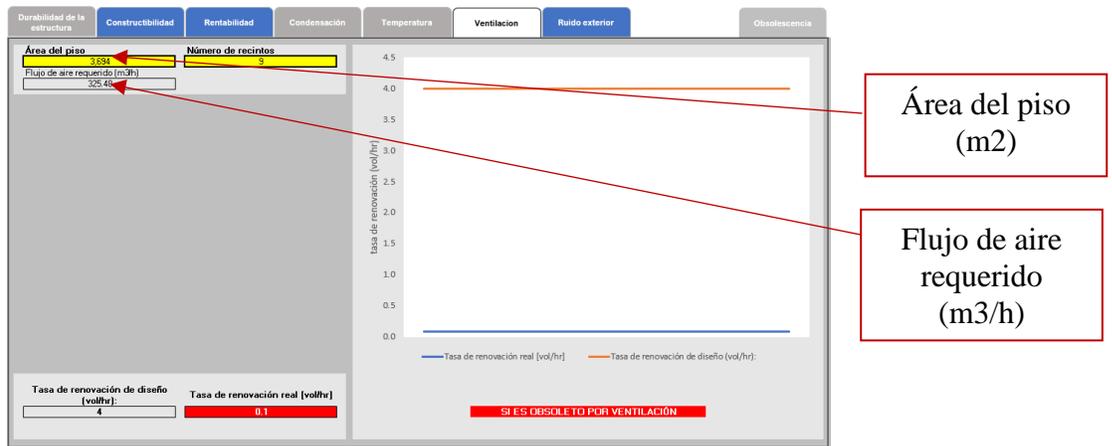


Figura 24: Pestaña obsolescencia en el Modelo que muestra el valor de la Ventilación



Figura 25: Pestaña obsolescencia en el Modelo que muestra el valor de la Ventilación

c. Ecuación del Factor Temperatura:

Para conseguir una ecuación que muestre como la temperatura influye en la obsolescencia es necesario entender el fenómeno que ocurre en la edificación. La temperatura afecta la humedad relativa, a altas temperaturas la cinética de las

reacciones químicas de la corrosión se incrementa. El aumento de la temperatura incrementa la tasa de corrosión en la estructura, debido a que la temperatura acelera la cinética de las reacciones. (Navarrete, 2007).

A partir de la ecuación de pérdidas de calor por construcción ( $Q_c$ ) se construirá la ecuación para estimar la obsolescencia por Temperatura.

$$Q_c = U * A * (T_{in} - T_{out})$$

Donde

$U$  = Transmitancia del elemento constructivo [ $W/m^2°C$ ]

$A$  = Área [ $m^2$ ]

$T_{in}$  = Temperatura interior [ $°C$ ]

$T_{out}$  = Temperatura exterior [ $°C$ ]

Despejando el factor  $U$  en la ecuación tenemos

$$U = Q_c / A * (T_{in} - T_{out})$$

Para conocer cómo influye la temperatura en la humedad relativa, ubicamos la ecuación que relaciona la transmitancia con el factor de temperatura de la superficie interior  $fR_{si}$  (NCh. 1973.Of2008):

$$fR_{si} = 1 - U * 0.25$$

$$fR_{si} = 1 - (Q_c * 0.25 / A * (T_{in} - T_{out}))$$

Asimismo, como el aumento de la temperatura incrementa la tasa de corrosión, podemos decir que está influye en el tiempo de propagación  $t_p$  por lo que multiplicamos este valor por el factor de temperatura de la superficie interior  $fR_{si}$  obteniendo la siguiente formula:

**Ecuación del Factor Temperatura (años) =  $t_p * fR_{si}$**

Donde:

$T_p$  = Tiempo de propagación

$fR_{si}$  = Factor de temperatura de la superficie interior

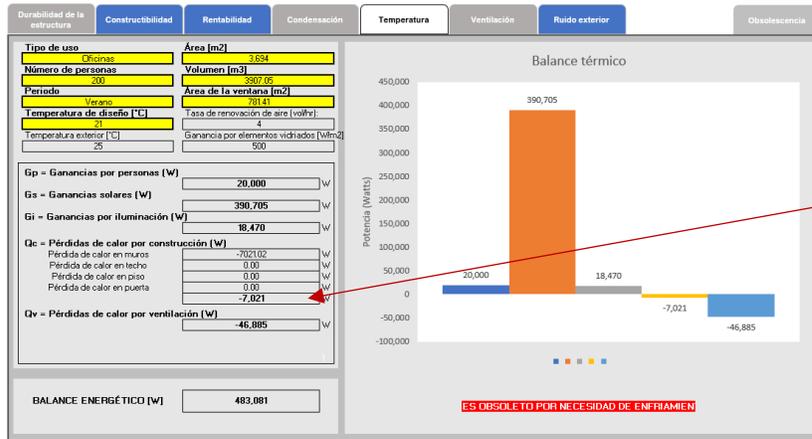


Figura 26: Pestaña obsolescencia en el Modelo que muestra el valor del Temperatura

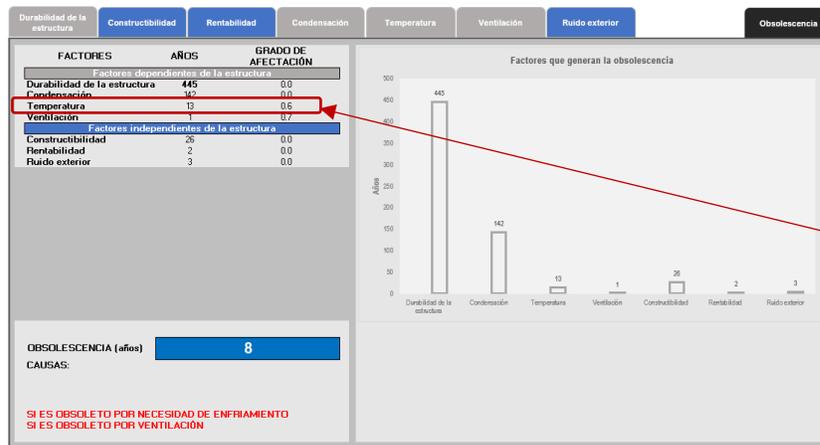


Figura 27: Pestaña obsolescencia en el Modelo que muestra el valor del Temperatura.

## **CAPÍTULO 4: APLICACIÓN DEL MODELO DE GESTIÓN DE LA OBSOLESCENCIA**

A continuación, para probar la funcionalidad del modelo se realizó la simulación de su funcionamiento en cuatro casos de edificaciones obsoletas. Se recopiló información (planos, memorias descriptivas, etc) de la Ex Fundición METALCO, el Centro de justicia de Santiago, El Ex Instituto Sanitas y la casa Ecléctica Beauchef, como se observa a continuación:

### **Caso 1: Ex Fundición METALCO**

#### **Ficha técnica**

---

**Ubicación:** presidente Errazuriz 3004 Santiago centro - Sector especial D5

**Función:** Fabrica de Fundición de aceros

**Superficie de terreno:** 3000m<sup>2</sup>

**Año de construcción:** 1924 – 1943

**Niveles:** 2

**Material predominante:** Vigas de hormigón armado, Muros de Albañilería confinada espesor 20 cm. Estuco espesor 5 cm, área del muro 1426.7 m<sup>2</sup>.

**Diseñado por:** No se tiene información.

**Estado actual:** Obsoleto debido al proceso de zonificación social y espacial en Santiago y a la reestructuración del sector industrial que inicia en el año 1960 hasta el año 1990, por lo que el tiempo de obsolescencia real es de 17 años.

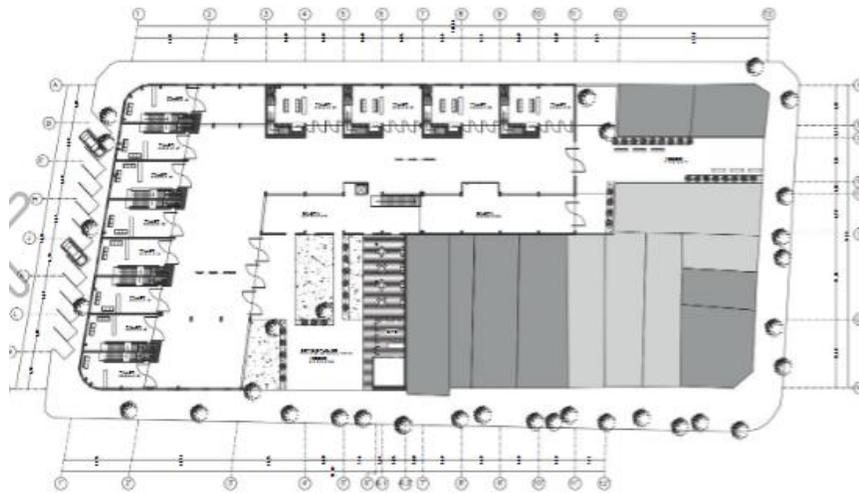


Figura 28: Plano Ex Fundición METALCO. Fuente: Galli, 2013.

**a. Cálculo de la Durabilidad de la estructura en el modelo**

Para el cálculo de la Durabilidad de la estructura no se encontraron datos relacionados a las características del concreto por lo que se considerarán los valores mínimos establecidos en la metodología de cálculo, asimismo se elegirá el máximo tiempo de vida útil para el diseño de una edificación (100 años)

- Resistencia del concreto: 50 N/mm<sup>2</sup>
- Diámetro de refuerzo: 12 mm
- Porcentaje de aire incluido en el concreto mayor a 4.5%
- Vida útil del proyecto: 100 años

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

Datos de entrada	
Ciudad	Santiago
Vida útil del proyecto (años)	100 años

<b>Tipo de cemento</b>	Otros tipos de cemento
<b>Tipo de ambiente</b>	Expuesto a la lluvia
<b>Resistencia del concreto (N/mm<sup>2</sup>)</b>	50
<b>Diámetro del refuerzo (mm)</b>	12
<b>Porcentaje de aire incluido en el concreto</b>	<4.5%

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Espesor del recubrimiento (mm)</b>	25
<b>td Valor de cálculo de la vida útil (años)</b>	110
<b>tL tiempo para la degradación de la estructura (años)</b>	445

Con estos datos obtenemos el tL tiempo para la degradación de la estructura en años = 445 años, este valor es mayor al valor de td Valor de cálculo de la vida útil = 110 años, por lo que podríamos decir que la estructura es durable y cumple con el parámetro requerido.

#### **b. Cálculo de la Condensación en el modelo**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Tipo de edificio</b>	Edificios residenciales (bodegas. áreas comunes. etc.)

<b>Clasificación</b>	Oficinas, tiendas
<b>Materiales</b>	Ladrillo espesor 20 cm. Estuco o Mortero de cemento espesor 5 cm.
<b>Área del muro</b>	1426.7 m <sup>2</sup>

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Temperatura interior (°C)</b>	20
<b>Variación de la presión interior (Pa)</b>	540
<b>Transmitancia en muros (W/m<sup>2</sup> K)</b>	1.56
<b>Factor de temperatura de la superficie interior fRsi</b>	0.61
<b>Factor de temperatura de la superficie interior mínimo fRsi, max</b>	0.23

Con estos datos obtenemos que el Factor de temperatura de la superficie interior (0.61) es mayor que el Factor de temperatura de la superficie interior mínimo fRsi, max (0.23) por lo que no existe riesgo de condensación no siendo este un factor que genera la obsolescencia del edificio.

**c. Cálculo de la Temperatura en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Tipo de uso</b>	Oficinas
<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	3000
<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	27600

<b>Número de personas</b>	200
<b>Periodo</b>	Verano
<b>Área de la ventana (m<sup>2</sup>)</b>	53.2
<b>Temperatura de diseño (°C)</b>	21

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Tasa de renovación de aire (vol/hr):</b>	4
<b>Temperatura exterior (°C)</b>	25
<b>Ganancia por elementos vidriados (W/m<sup>2</sup>)</b>	500
<b>G<sub>p</sub> = Ganancias por personas (W)</b>	20,000
<b>G<sub>s</sub> = Ganancias solares (W)</b>	26,600
<b>G<sub>i</sub> = Ganancias por iluminación (W)</b>	15,000
<b>Q<sub>c</sub> = Pérdidas de calor por construcción (W)</b>	-20,047
<b>Q<sub>v</sub> = Pérdidas de calor por ventilación (W)</b>	-331,200
<b>BALANCE ENERGÉTICO [W]</b>	412,847

El modelo calcula una demanda de energía de 412,847 W para climatización del edificio, siendo este un factor que genera la obsolescencia del edificio.

#### d. Cálculo de la Ventilación en el modelo.

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Área del piso (m<sup>2</sup>)</b>	3000
<b>Número de dormitorios</b>	30

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Flujo de aire requerido</b>	552.60
<b>Tasa de renovación de diseño (vol/hr)</b>	4
<b>Tasa de renovación necesaria (vol/hr)</b>	0.1

El modelo calcula la tasa de renovación de diseño en 4 vol/hr y la tasa de renovación real es 0.1 vol/hr existiendo un requerimiento de ventilación siendo un factor que causa la obsolescencia del edificio.

**e. Cálculo del Ruido exterior en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Distancia de la fuente al receptor (m)</b>	Autopistas = 155 m Avenidas principales = 123 m Calles de la ciudad = 8 m

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Atenuación</b>	Autopistas = 54.81 Avenidas principales = 52.80 m Calles de la ciudad = 29.06 m
<b>Nivel de potencia sonora (Lw)</b>	Autopistas = 101 Avenidas principales = 91 Calles de la ciudad = 91

<b>Corrección por directividad (Dc)</b>	Autopistas = 0 Avenidas principales = 0 Calles de la ciudad = 0
<b>Nivel de presión</b>	Autopistas = 70 Avenidas principales = 60 Calles de la ciudad = 60
<b>Estándar permitido de ruido (Db)</b>	65
<b>Nivel de ruido (Db)</b>	62

El modelo calcula que el estándar permitido de ruido (65db) supera al Nivel de ruido recibido (62 db) por lo que el ruido no es un factor que podría generar la obsolescencia del edificio.

**f. Cálculo de la Constructibilidad y ocupación de suelo en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Comuna</b>	Santiago Centro Zona de conservación histórica E1
<b>Tipo de uso</b>	Otro uso

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Coefficiente de constructibilidad max.</b>	3.1
<b>Ocupación del suelo (%)</b>	1.0
<b>Superficie útil</b>	3.1

<b>Costo de construcción bajo NPT</b>	17,360.00
<b>Costo de construcción sobre NPT</b>	148,800.00
<b>Costos de construcción</b>	166,160.00
<b>Costo total (UF)</b>	232,695.67
<b>Valor m<sup>2</sup> del terreno/Precio de venta (UF)</b>	63.9
<b>Precio base del terreno (UF)</b>	71.67

El modelo calcula el precio base del terreno = 71.67 UF, este valor es mayor que el Valor por metro cuadrado del terreno o Precio de venta = 63.9 UF, por lo que se justificaría la demolición para la construcción del nuevo proyecto siendo este un factor que influye en la obsolescencia del edificio.

**g. Cálculo de la Rentabilidad en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Superficie del terreno (m<sup>2</sup>)</b>	3000
<b>Tasa de interés bancaria (%)</b>	5

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Número de pisos</b>	3
<b>Número de departamentos por piso</b>	36
<b>Altura máxima permitida</b>	14 metros
<b>Número de departamentos promedio</b>	112

<b>Valor actual neto (VAN)</b>	246,688 pesos
<b>Tasa interna de retorno (TIR) mensual</b>	5,53%
<b>Tasa interna de retorno (TIR) anual</b>	90,78%
<b>Inversión inicial</b>	191,700
<b>Flujo de efectivo acumulado (año anterior)</b>	-110,238
<b>Flujo de efectivo (año que se recupera la inversión)</b>	579,13
<b>Rentabilidad (%)</b>	41,5%

El modelo muestra que la Tasa de interés bancaria (5%) es menor que la Tasa de interés de retorno (5.53%) con lo que se comprueba que el proyecto sería muy rentable para los inversionistas siendo este un factor que generaría la obsolescencia del edificio.

#### **h. Resultado; Cálculo de la Obsolescencia.**

Luego de haber realizado el cálculo y análisis de los distintos factores, observamos que el modelo ha calculado un tiempo de obsolescencia igual a 20 años ocasionado por lo siguiente:

- Precio base del terreno supera valor del terreno en el mercado
- Rentabilidad alta
- Necesidad de climatización
- Necesidad de ventilación

Modelo de Gestión de la Obsolescencia de Edificios: Estudio de la interacción de los factores de obsolescencia mediante un modelo numérico

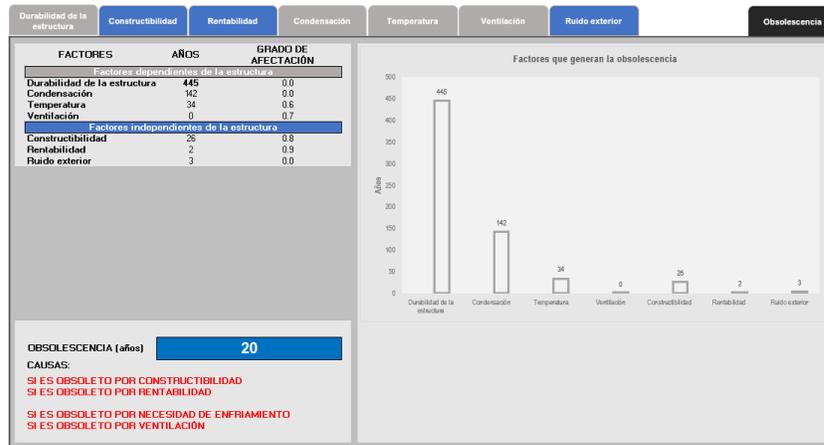


Figura 29: Calculo de la obsolescencia de la Ex Fundición Metalco. Fuente: Elaboración propia usando Modelo de gestión de la obsolescencia.

**Se obtiene un valor de obsolescencia en el modelo de 20 años (valor real de obsolescencia 17 años).**

## Caso 2: Centro de justicia de Santiago

### Ficha técnica

---

**Ubicación:** Avda. Pedro Montt 1606, Santiago, Chile

**Función:** Oficinas del Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Justicia, Ministerio Público, Defensoría Penal Pública.

**Superficie de terreno:** 43.151 m<sup>2</sup>

**Año de construcción:** 2004 -2006

**Niveles:** 3

**Material predominante:** estructura y muros de hormigón visto de 30 cm, cerramientos de vidrio, revestimientos interiores de madera y piedra pizarra.

**Diseñado por:** Cristián Boza, José Macchi, Marcelo Vila, Adrián Sebastián, Javier Vila

**Estado actual:** Obsoleto debido a problemas de climatización, desde el año 2010, por lo que el tiempo de obsolescencia es de 4 años.

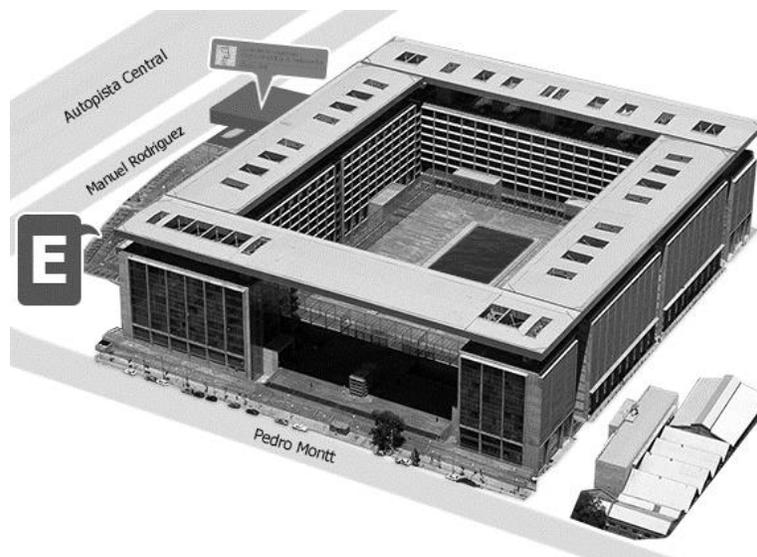


Figura 30: Plano Centro de justicia de Santiago. Fuente: Economíaynegocios.cl.

#### a. Cálculo de la Durabilidad de la estructura en el modelo

Para el cálculo de la Durabilidad de la estructura no se encontraron datos relacionados a las características del concreto por lo que se considerarán los valores mínimos establecidos en la metodología de cálculo, asimismo se elegirá el máximo tiempo de vida útil para el diseño de una edificación (100 años)

- Resistencia del concreto: 50 N/mm<sup>2</sup>
- Diámetro de refuerzo: 12 mm
- Porcentaje de aire incluido en el concreto mayor a 4.5%
- Vida útil del proyecto: 100 años

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Tipo de cemento</b>	CEM I
<b>Tipo de ambiente</b>	Expuesto a la lluvia
<b>Resistencia del concreto (N/mm<sup>2</sup>)</b>	50
<b>Diámetro del refuerzo (mm)</b>	12
<b>Porcentaje de aire incluido en el concreto</b>	<4.5%
<b>Vida útil del proyecto (años)</b>	100 años

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Espesor del recubrimiento (mm)</b>	20
<b>td Valor de cálculo de la vida útil (años)</b>	110
<b>tL tiempo para la degradación de la estructura (años)</b>	294

Con estos datos obtenemos el tL tiempo para la degradación de la estructura en años = 294 años, este valor es mayor al valor de td Valor de cálculo de la vida útil = 110 años, por lo que podríamos decir que la estructura es durable y cumple con el parámetro requerido.

**b. Cálculo de la Condensación en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Tipo de edificio</b>	Oficinas. salas de conferencias. auditorios
<b>Clasificación</b>	Oficinas, tiendas
<b>Materiales</b>	Hormigón armado 30 cm Vidrio plano 4 cm
<b>Área del muro</b>	10,976 m <sup>2</sup>

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Temperatura interior (°C)</b>	20
<b>Variación de la presión interior (Pa)</b>	270
<b>Transmitancia en muros (W/m<sup>2</sup> K)</b>	2.57
<b>Factor de temperatura de la superficie interior fR<sub>si</sub></b>	0.35
<b>Factor de temperatura de la superficie interior mínimo fR<sub>si, max</sub></b>	0.18

Con estos datos obtenemos que el Factor de temperatura de la superficie interior (0.35) es mayor que el Factor de temperatura de la superficie interior mínimo fR<sub>si</sub>,

max (0.18) por lo que no existe riesgo de condensación no siendo este un factor que genera la obsolescencia del edificio.

**c. Cálculo de la Temperatura en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Tipo de uso</b>	Oficinas
<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	43,151
<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	396,989
<b>Número de personas</b>	200
<b>Periodo</b>	Verano
<b>Área de la ventana (m<sup>2</sup>)</b>	5488
<b>Temperatura de diseño (°C)</b>	21

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Tasa de renovación de aire (vol/hr):</b>	4
<b>Temperatura exterior (°C)</b>	25
<b>Ganancia por elementos vidriados (W/m<sup>2</sup>)</b>	500
<b>G<sub>p</sub> = Ganancias por personas (W)</b>	20,000
<b>G<sub>s</sub> = Ganancias solares (W)</b>	2,744,000
<b>G<sub>i</sub> = Ganancias por iluminación (W)</b>	215,755
<b>Q<sub>c</sub> = Pérdidas de calor por construcción (W)</b>	-141,669
<b>Q<sub>v</sub> = Pérdidas de calor por ventilación (W)</b>	-2,646,593
<b>BALANCE ENERGÉTICO [W]</b>	5,768,017

El modelo calcula una demanda de energía de 5,768,017 W para climatización del edificio, siendo este un factor que genera la obsolescencia del edificio.

**d. Cálculo de la Ventilación en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Área del piso (m2)</b>	43151
<b>Número de dormitorios</b>	1151

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Flujo de aire requerido</b>	16,845.35
<b>Tasa de renovación de diseño (vol/hr)</b>	4
<b>Tasa de renovación real (vol/hr)</b>	0.4

El modelo calcula la tasa de renovación de diseño en 4 vol/hr y la tasa de renovación real en 0.4 vol/hr con lo que se comprueba que la ventilación es un factor que causa la obsolescencia del edificio.

**e. Cálculo del Ruido exterior en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Distancia de la fuente al receptor (m)</b>	Autopistas = 104 m Avenidas principales = 11.37 m Calles de la ciudad = 99 m

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Atenuación</b>	Autopistas = 51.34 Avenidas principales = 32.12 Calles de la ciudad = 50.91
<b>Nivel de potencia sonora (Lw)</b>	Autopistas = 101 Avenidas principales = 91 Calles de la ciudad = 91
<b>Corrección por directividad (Dc)</b>	Autopistas = 0 Avenidas principales = 0 Calles de la ciudad = 0
<b>Nivel de presión</b>	Autopistas = 70 Avenidas principales = 60 Calles de la ciudad = 60
<b>Estándar permitido de ruido (Db)</b>	65
<b>Nivel de ruido (Db)</b>	59

El modelo calcula que el estándar permitido de ruido (65db) supera al Nivel de ruido recibido (59 db) por lo que el ruido no es un factor que genera la obsolescencia del edificio.

**f. Cálculo de la Constructibilidad y ocupación de suelo en el modelo**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Comuna</b>	Santiago centro - Sector especial B14 Rondizzoni

<b>Tipo de uso</b>	Otro uso
--------------------	----------

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Coefficiente de constructibilidad max.</b>	3.9
<b>Ocupación del suelo (%)</b>	1.0
<b>Superficie útil</b>	3.9
<b>Costo de construcción bajo NPT</b>	235,604.46
<b>Costo de construcción sobre NPT</b>	2,019,466.80
<b>Costos de construcción</b>	2,255,071.26
<b>Costo total</b>	3,157,164.76
<b>Precio de venta (UF)</b>	93.6
<b>Precio del terreno (UF)</b>	65

El modelo calcula el precio del terreno = 65 UF, este valor es mayor que el Precio de venta = 93.6 UF, por lo que se justificaría la demolición para la construcción del nuevo proyecto siendo este un factor que influye en la obsolescencia del edificio.

**g. Cálculo de la Rentabilidad en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Superficie del terreno (m2)</b>	43,151
<b>Tasa de interés bancaria (%)</b>	5

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Número de pisos</b>	4
<b>Número de departamentos por piso</b>	517
<b>Altura máxima permitida</b>	17.5 metros
<b>Número de departamentos promedio</b>	2016
<b>Valor actual neto (VAN)</b>	5,299,140 pesos
<b>Tasa interna de retorno (TIR) mensual</b>	6.97%
<b>Tasa interna de retorno (TIR) anual</b>	124.46%
<b>Inversión inicial</b>	2,804,815.0
<b>Flujo de efectivo acumulado (año anterior)</b>	-1,990,168
<b>Flujo de efectivo (año que se recupera la inversión)</b>	10,665,308
<b>Rentabilidad (%)</b>	48,4%

El modelo muestra que la Tasa de interés bancaria (5%) es menor que la Tasa de interés de retorno (6.97%) con lo que se comprueba que el proyecto sería muy rentable para los inversionistas siendo este un factor que generaría la obsolescencia del edificio.

#### **h. Cálculo de la Obsolescencia.**

En este caso al ser un proyecto construido no se considerará en el resultado los factores Constructibilidad y Rentabilidad, ya que se quiere conocer solo el comportamiento de los factores dependientes de la estructura, como en el caso real. Luego de haber realizado el cálculo y análisis de los distintos factores, observamos que el modelo ha calculado un tiempo de obsolescencia igual a 10 años ocasionado por lo siguiente:

- Necesidad de enfriamiento

- Necesidad de Ventilación

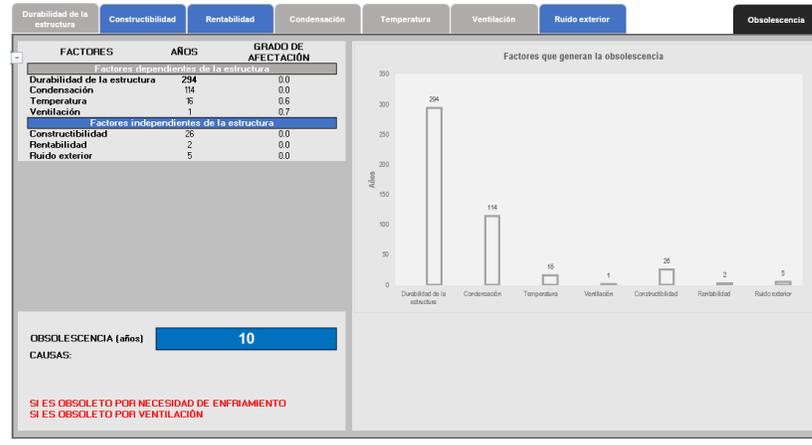


Figura 31: Calculo de la obsolescencia Centro de justicia de Santiago. Fuente: Elaboración propia usando Modelo de gestión de la obsolescencia.

**Se obtiene un valor de obsolescencia en el modelo de 10 años (valor real de obsolescencia 4 años).**

### Caso 3: Ex Instituto Sanitas

#### Ficha técnica

---

**Ubicación:** Franklin 721 al 765 y San Francisco 2070 – Santiago, Chile.

**Función:** Industria

**Superficie de terreno:** 3694 m<sup>2</sup>

**Año de construcción:** 1940

**Niveles:** 4

**Material predominante:** Hormigón, cerchas y pilares de madera, en donde se han generado divisiones internas de albañilería para el bodegaje de productos.

**Diseñado por:** No se tiene información.

**Historia:** La materia prima principal para las preparaciones farmacológicas procedía de los órganos de animales recién faenados del Matadero. Es por esto por lo que se compra un gran terreno ubicado a una sola cuadra del matadero. Al avanzar la tecnología crean procesos artificiales que prescinden del uso de los órganos animales. Esto, sumado al gran crecimiento que tuvo la empresa, conlleva a que ya por el año 2004, no se necesite más la cercanía a el Matadero, se haga pequeño el espacio y la industria se muda a las afueras de la ciudad, dejando el edificio en abandono desde ese momento hasta el presente (2004-2018). (Levy, 2019).

**Estado actual:** Obsoleto por funcionalidad = 64 años.

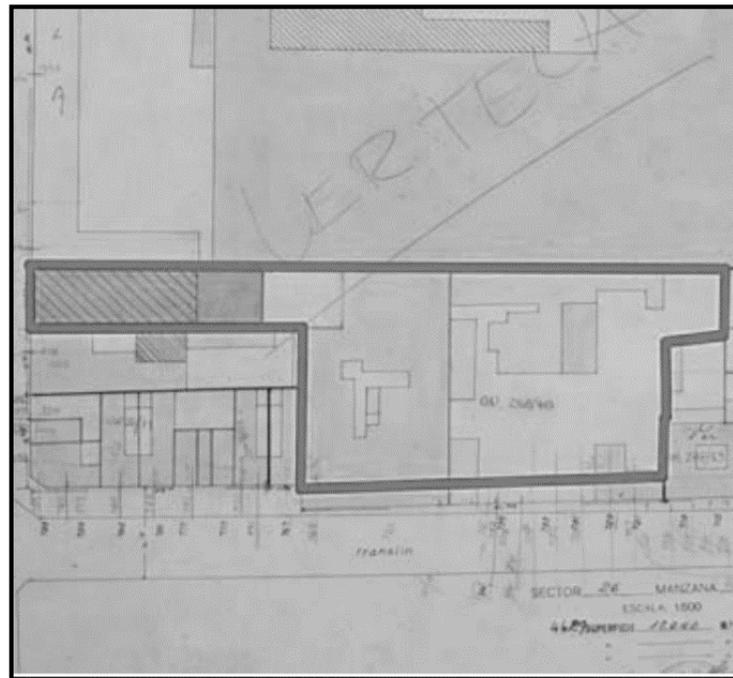


Figura 32: Plano Ex instituto Sanitas. Fuente: Patrimonio urbano

**a. Cálculo de la Durabilidad de la estructura en el modelo**

Para el cálculo de la Durabilidad de la estructura no se encontraron datos relacionados a las características del concreto por lo que se considerarán los valores mínimos establecidos en la metodología de cálculo, asimismo se elegirá el máximo tiempo de vida útil para el diseño de una edificación (100 años)

- Resistencia del concreto: 50 N/mm<sup>2</sup>
- Diámetro de refuerzo: 12 mm
- Porcentaje de aire incluido en el concreto mayor a 4.5%
- Vida útil del proyecto: 100 años

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

**Datos de entrada**

<b>Tipo de cemento</b>	CEM I
<b>Tipo de ambiente</b>	Expuesto a la lluvia
<b>Resistencia del concreto (N/mm<sup>2</sup>)</b>	50
<b>Diámetro del refuerzo (mm)</b>	12
<b>Porcentaje de aire incluido en el concreto</b>	<4.5%
<b>Vida útil del proyecto (años)</b>	100 años

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Espesor del recubrimiento (mm)</b>	20
<b>td Valor de cálculo de la vida útil (años)</b>	110
<b>tL tiempo para la degradación de la estructura (años)</b>	294

Con estos datos obtenemos el tL tiempo para la degradación de la estructura en años = 294 años, este valor es mayor al valor de td Valor de cálculo de la vida útil = 110 años, por lo que podríamos decir que la estructura es durable y cumple con el parámetro requerido.

#### **b. Cálculo de la Condensación en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Tipo de edificio</b>	Edificios residenciales (bodegas. áreas comunes. etc.)

<b>Clasificación</b>	Oficinas. tiendas
<b>Materiales</b>	Hormigón armado 20 cm Mortero de cemento 5 cm
<b>Área del muro</b>	1920 m <sup>2</sup>

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Temperatura interior (°C)</b>	16
<b>Variación de la presión interior (Pa)</b>	270
<b>Transmitancia en muros (W/m<sup>2</sup> K)</b>	3.36
<b>Factor de temperatura de la superficie interior fRsi</b>	0.16
<b>Factor de temperatura de la superficie interior mínimo fRsi, max</b>	0.23

Con estos datos obtenemos que el Factor de temperatura de la superficie interior (0.16) es mayor que el Factor de temperatura de la superficie interior mínimo fRsi, max (0.23) por lo que existe riesgo de condensación siendo este un factor que genera la obsolescencia del edificio.

**c. Cálculo de la Temperatura en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Tipo de uso</b>	Oficinas
<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	3,694
<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	29,552
<b>Número de personas</b>	200

<b>Periodo</b>	Verano
<b>Área de la ventana (m<sup>2</sup>)</b>	5910,4
<b>Temperatura de diseño (°C)</b>	21

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Tasa de renovación de aire (vol/hr):</b>	4
<b>Temperatura exterior (°C)</b>	25
<b>Ganancia por elementos vidriados (W/m<sup>2</sup>)</b>	500
<b>G<sub>p</sub> = Ganancias por personas (W)</b>	20,000
<b>G<sub>s</sub> = Ganancias solares (W)</b>	2,955.200
<b>G<sub>i</sub> = Ganancias por iluminación (W)</b>	18,470
<b>Q<sub>c</sub> = Pérdidas de calor por construcción (W)</b>	-58,037
<b>Q<sub>v</sub> = Pérdidas de calor por ventilación (W)</b>	-354,624
<b>BALANCE ENERGÉTICO [W]</b>	3,406,331

El modelo calcula una demanda de energía de 3,406.331 W para climatización del edificio, siendo este un factor que genera la obsolescencia del edificio.

#### d. Cálculo de la Ventilación en el modelo.

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Área del piso (m<sup>2</sup>)</b>	3,694
<b>Número de dormitorios</b>	27

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Flujo de aire requerido</b>	552,28
<b>Tasa de renovación de diseño (vol/hr)</b>	4
<b>Tasa de renovación real (vol/hr)</b>	0.1

El modelo calcula la tasa de renovación de diseño en 4 vol/hr y la tasa de renovación real en 0.1 vol/hr con lo que se comprueba que la ventilación es un factor que causa la obsolescencia del edificio.

**e. Cálculo del Ruido exterior en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Distancia de la fuente al receptor (m)</b>	Autopistas = 550 m Avenidas principales = 8 m Calles de la ciudad = 8 m

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Atenuación</b>	Autopistas = 65.81 Avenidas principales = 29.06 Calles de la ciudad = 29.06
<b>Nivel de potencia sonora (Lw)</b>	Autopistas = 101 Avenidas principales = 91 Calles de la ciudad = 91
<b>Corrección por directividad (Dc)</b>	Autopistas = 0 Avenidas principales = 0

	Calles de la ciudad = 0
<b>Nivel de presión</b>	Autopistas = 70 Avenidas principales = 60 Calles de la ciudad = 60
<b>Estándar permitido de ruido (Db)</b>	65
<b>Nivel de ruido (Db)</b>	65

El modelo calcula que el estándar permitido de ruido (65db) es igual al Nivel de ruido recibido (65 db) por lo que el ruido no es un factor que genera la obsolescencia del edificio.

#### f. Cálculo de la Constructibilidad y ocupación de suelo en el modelo

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Comuna</b>	Santiago - Zona de conservación histórica E11 - Matadero Franklin
<b>Tipo de uso</b>	Otro uso

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Coefficiente de constructibilidad max.</b>	3.0
<b>Ocupación del suelo (%)</b>	1.0
<b>Superficie útil</b>	3.0
<b>Costo de construcción bajo NPT</b>	15,514.80
<b>Costo de construcción sobre NPT</b>	132,984.00

<b>Costos de construcción</b>	148,498.80
<b>Costo total</b>	207,956.12
<b>/Precio de venta (UF)</b>	54.72
<b>Precio del terreno (UF)</b>	57.8

El modelo calcula el precio del terreno = 57.8 UF, este valor es mayor que el Precio de venta = 54.72 UF, por lo que no se justificaría la demolición para la construcción del nuevo proyecto no siendo este un factor que no influye en la obsolescencia del edificio.

**g. Cálculo de la Rentabilidad en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Superficie del terreno (m2)</b>	43,151
<b>Tasa de interés bancaria (%)</b>	6

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Número de pisos</b>	3
<b>Número de departamentos por piso</b>	45
<b>Altura máxima permitida</b>	9 metros
<b>Número de departamentos promedio</b>	134
<b>Valor actual neto (VAN)</b>	238,988 pesos
<b>Tasa interna de retorno (TIR) mensual</b>	5,04%
<b>Tasa interna de retorno (TIR) anual</b>	80,44%

<b>Inversión inicial</b>	213,513.2
<b>Flujo de efectivo acumulado (año anterior)</b>	-133,169
<b>Flujo de efectivo (año que se recupera la inversión)</b>	624,525
<b>Rentabilidad (%)</b>	37.3%

El modelo muestra que la Tasa de interés bancaria (6%) es mayor que la Tasa de interés de retorno (5.04%) con lo que se comprueba que el proyecto no sería rentable para los inversionistas no siendo este un factor que generaría la obsolescencia del edificio.

#### **h. Cálculo de la Obsolescencia.**

En este caso al ser un proyecto construido no se considerará en el resultado los factores Constructibilidad y Rentabilidad, ya que se quiere conocer solo el comportamiento de los factores dependientes de la estructura, como en el caso real. Luego de haber realizado el cálculo y análisis de los distintos factores, observamos que el modelo ha calculado un tiempo de obsolescencia igual a 28 años ocasionado por lo siguiente:

- Riesgo de condensación
- Necesidad de enfriamiento
- Necesidad de Ventilación

Modelo de Gestión de la Obsolescencia de Edificios: Estudio de la interacción de los factores de obsolescencia mediante un modelo numérico

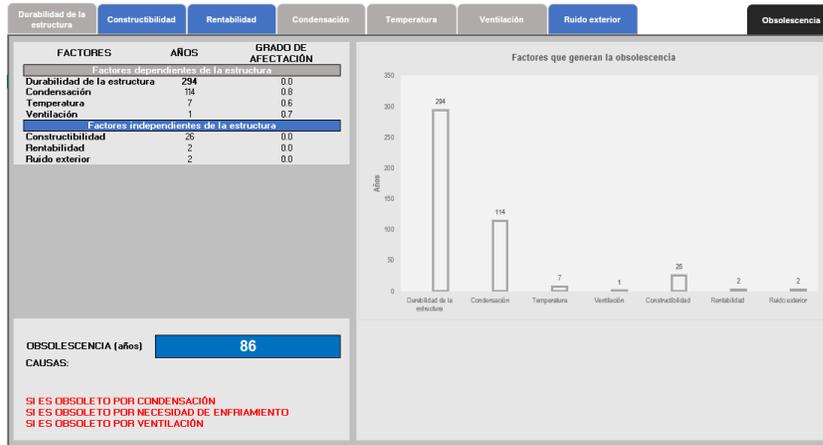


Figura 33: Calculo de la obsolescencia Ex Instituto Sanitas. Fuente: Elaboración propia usando Modelo de gestión de la obsolescencia.

**Se obtiene un valor de obsolescencia en el modelo de 86 años (valor real de obsolescencia 64 años).**

#### Caso 4: Casa Ecléctica Beauchef

##### Ficha técnica

---

**Ubicación:** Av. Beauchef 1475-1487 – Santiago, Chile.

**Función:** Vivienda

**Superficie de terreno:** 668 m<sup>2</sup>

**Año de construcción:** 1923

**Niveles:** 2

**Material predominante:** Albañilería reforzada.

**Diseñado por:** No se tiene información.

**Estado actual:** Obsoleto. No se tiene información del año en el que quedó sin uso, sin embargo, se presume ocurrió durante el proceso de cambio de uso de suelo en la zona año 1980. (Tiempo de obsolescencia = 57 años)

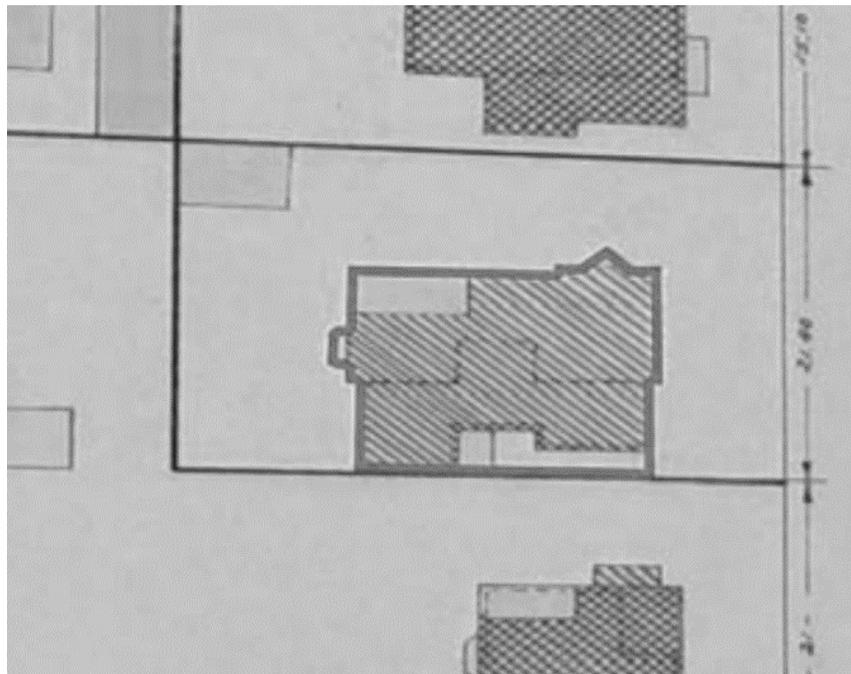


Figura 34: Fachada Casa Ecléctica Beauchef. Fuente: MuniStgo

**a. Cálculo de la Durabilidad de la estructura en el modelo**

Para el cálculo de la Durabilidad de la estructura no se encontraron datos relacionados a las características del concreto por lo que se considerarán los valores mínimos establecidos en la metodología de cálculo, asimismo se elegirá el máximo tiempo de vida útil para el diseño de una edificación (100 años)

- Resistencia del concreto: 50 N/mm<sup>2</sup>
- Diámetro de refuerzo: 12 mm
- Porcentaje de aire incluido en el concreto mayor a 4.5%
- Vida útil del proyecto: 100 años

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Tipo de cemento</b>	CEM I
<b>Tipo de ambiente</b>	Expuesto a la lluvia
<b>Resistencia del concreto (N/mm<sup>2</sup>)</b>	50
<b>Diámetro del refuerzo (mm)</b>	12
<b>Porcentaje de aire incluido en el concreto</b>	<4.5%
<b>Vida útil del proyecto (años)</b>	100 años

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Espesor del recubrimiento (mm)</b>	20
<b>td Valor de cálculo de la vida útil (años)</b>	110

<b>tL tiempo para la degradación de la estructura (años)</b>	294
--	-----

Con estos datos obtenemos el tL tiempo para la degradación de la estructura en años = 294 años, este valor es mayor al valor de td Valor de cálculo de la vida útil = 110 años, por lo que podríamos decir que la estructura es durable y cumple con el parámetro requerido.

**b. Cálculo de la Condensación en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Tipo de edificio</b>	Edificios residenciales (dormitorios. cocina. recepciones. etc.)
<b>Clasificación</b>	Viviendas con baja ocupación
<b>Materiales</b>	Ladrillo macizo hecho a máquina 20 cm Mortero de cemento 5 cm
<b>Área del muro</b>	832 m <sup>2</sup>

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Temperatura interior (°C)</b>	20
<b>Variación de la presión interior (Pa)</b>	540
<b>Transmitancia en muros (W/m<sup>2</sup> K)</b>	1.56
<b>Factor de temperatura de la superficie interior fR<sub>si</sub></b>	0.61

<b>Factor de temperatura de la superficie interior mínimo fRsi, max</b>	0.42
---	------

Con estos datos obtenemos que el Factor de temperatura de la superficie interior (0.61) es mayor que el Factor de temperatura de la superficie interior mínimo fRsi, max (0.42) por lo que no existe riesgo de condensación no siendo este un factor que genera la obsolescencia del edificio.

**c. Cálculo de la Temperatura en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Tipo de uso</b>	Viviendas
<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	668
<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	5,408
<b>Número de personas</b>	5
<b>Periodo</b>	Verano
<b>Área de la ventana (m<sup>2</sup>)</b>	1081.6
<b>Temperatura de diseño (°C)</b>	21

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Tasa de renovación de aire (vol/hr):</b>	1
<b>Temperatura exterior (°C)</b>	25
<b>Ganancia por elementos vidriados (W/m<sup>2</sup>)</b>	500
<b>Gp = Ganancias por personas (W)</b>	500
<b>Gs = Ganancias solares (W)</b>	540,800

<b>Gi = Ganancias por iluminación (W)</b>	3,340
<b>Qc = Pérdidas de calor por construcción (W)</b>	-6,495
<b>Qv = Pérdidas de calor por ventilación (W)</b>	-9,013
<b>BALANCE ENERGÉTICO [W]</b>	560,148

El modelo calcula una demanda de energía de 560,148 W para climatización del edificio, siendo este un factor que genera la obsolescencia del edificio.

**d. Cálculo de la Ventilación en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Área del piso (m<sup>2</sup>)</b>	668
<b>Número de dormitorios</b>	9

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Flujo de aire requerido</b>	162,07
<b>Tasa de renovación de diseño (vol/hr)</b>	1
<b>Tasa de renovación real (vol/hr)</b>	0.2

El modelo calcula la tasa de renovación de diseño en 1 vol/hr y la tasa de renovación real en 0.2 vol/hr con lo que se comprueba que la ventilación es un factor que causa la obsolescencia del edificio.

**e. Cálculo del Ruido exterior en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Distancia de la fuente al receptor (m)</b>	Autopistas = 550 m Avenidas principales = 8 m Calles de la ciudad = 8 m

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Atenuación</b>	Autopistas = 65.81 Avenidas principales = 29.06 Calles de la ciudad = 29.06
<b>Nivel de potencia sonora (Lw)</b>	Autopistas = 101 Avenidas principales = 91 Calles de la ciudad = 91
<b>Corrección por directividad (Dc)</b>	Autopistas = 0 Avenidas principales = 0 Calles de la ciudad = 0
<b>Nivel de presión</b>	Autopistas = 70 Avenidas principales = 60 Calles de la ciudad = 60
<b>Estándar permitido de ruido (Db)</b>	65
<b>Nivel de ruido (Db)</b>	65

El modelo calcula que el estándar permitido de ruido (65db) es igual al Nivel de ruido recibido (65 db) por lo que el ruido no es un factor que genera la obsolescencia del edificio.

**f. Cálculo de la Constructibilidad y ocupación de suelo en el modelo**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Comuna</b>	Zona típica - Sector Club Hípico y parque O Higgins
<b>Tipo de uso</b>	Vivienda

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Coefficiente de constructibilidad max.</b>	8.1
<b>Ocupación del suelo (%)</b>	0.2
<b>Superficie útil</b>	1.62
<b>Costo de construcción bajo NPT</b>	489,332.34
<b>Costo de construcción sobre NPT</b>	4,194,277.20
<b>Costos de construcción</b>	4,683,609.54
<b>Costo total</b>	6,557,117.26
<b>Precio de venta (UF)</b>	187.27
<b>Precio del terreno (UF)</b>	63.9

El modelo calcula el precio del terreno = 63.9 UF, este valor es mayor que el Precio de venta = 187.27 UF, por lo que se justificaría la demolición para la construcción de un nuevo proyecto siendo este un factor que no influye en la obsolescencia del edificio.

**g. Cálculo de la Rentabilidad en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Superficie del terreno (m2)</b>	668
<b>Tasa de interés bancaria (%)</b>	5

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Número de pisos</b>	41
<b>Número de departamentos por piso</b>	2
<b>Altura máxima permitida</b>	10 metros
<b>Número de departamentos promedio</b>	66
<b>Valor actual neto (VAN)</b>	212,081 pesos
<b>Tasa interna de retorno (TIR) mensual</b>	11.12 %
<b>Tasa interna de retorno (TIR) anual</b>	254.39 %
<b>Inversión inicial</b>	42,685.2
<b>Flujo de efectivo acumulado (año anterior)</b>	-64,137
<b>Flujo de efectivo (año que se recupera la inversión)</b>	337,106
<b>Rentabilidad (%)</b>	61.3%

El modelo muestra que la Tasa de interés bancaria (5%) es menor que la Tasa de interés de retorno (11.12%) con lo que se comprueba que el proyecto sería rentable para los inversionistas siendo este un factor que generaría la obsolescencia del edificio.

#### **h. Cálculo de la Obsolescencia.**

En este caso al ser un proyecto construido no se considerará en el resultado los factores Constructibilidad y Rentabilidad, ya que se quiere conocer solo el comportamiento de los factores dependientes de la estructura, como en el caso real. Luego de haber realizado el cálculo y análisis de los distintos factores, observamos que el modelo ha calculado un tiempo de obsolescencia igual a 20 años ocasionado por lo siguiente:

- Precio base del terreno supera valor del terreno en el mercado
- Rentabilidad alta
- Necesidad de enfriamiento
- Necesidad de Ventilación

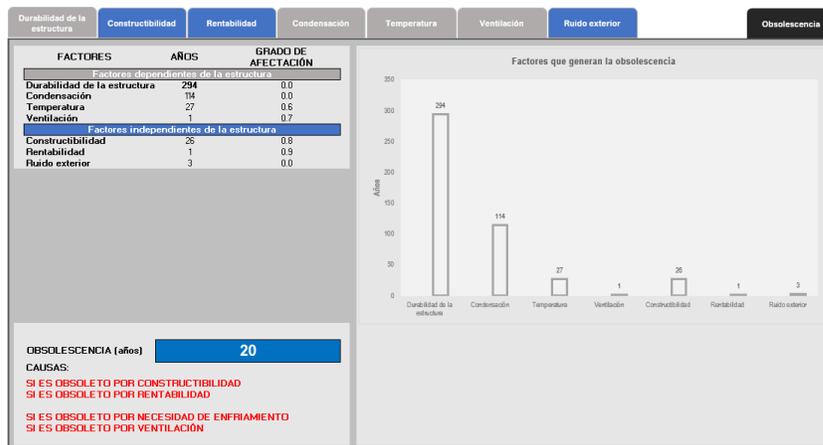


Figura 35: Calculo de la obsolescencia Casa Ecléctica Beauchef. Fuente: Elaboración propia usando Modelo de gestión de la obsolescencia.

**Se obtiene un valor de obsolescencia en el modelo igual a 20 años (valor real de obsolescencia 57 años).**

## Caso 5: Proyecto Vicuña Mackenna 20 (VM20)

### Ficha técnica

**Ubicación:** Vicuña Mackenna 20 Providencia – Región Metropolitana de Santiago - Chile.

**Función:** Universidad

**Superficie de terreno:** 32000 m<sup>2</sup>

**Año de construcción:** 2018

**Niveles:** 8

**Material predominante:** Revestimientos de mármol, cubiertas de estructura de acero.

**Diseñado por:** Iglesias Arquitectos

**Estado actual:** En proceso de construcción.

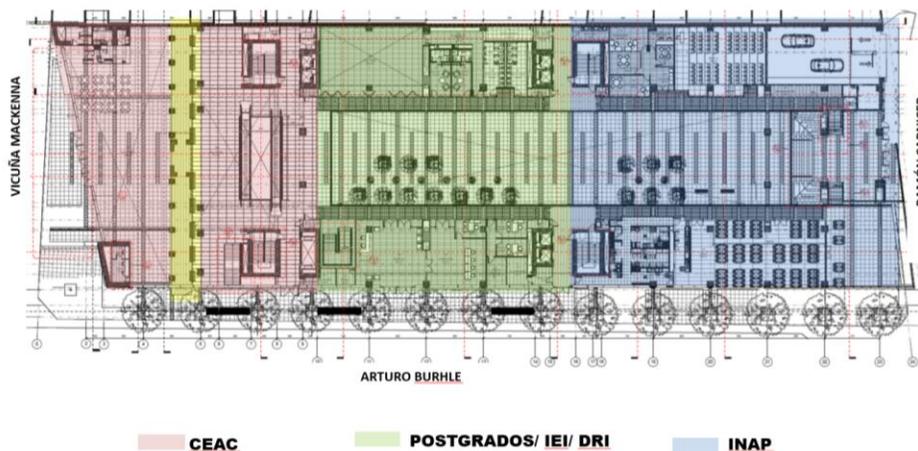


Figura 36: Plano Proyecto Vicuña Mackenna. Fuente: [www.uchile.cl](http://www.uchile.cl).

#### a. Cálculo de la Durabilidad de la estructura en el modelo

Para el cálculo de la Durabilidad de la estructura no se encontraron datos relacionados a las características del concreto por lo que se considerarán los valores

mínimos establecidos en la metodología de cálculo, asimismo se elegirá el máximo tiempo de vida útil para el diseño de una edificación (100 años)

- Resistencia del concreto: 50 N/mm<sup>2</sup>
- Diámetro de refuerzo: 12 mm
- Porcentaje de aire incluido en el concreto mayor a 4.5%
- Vida útil del proyecto: 100 años

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Tipo de cemento</b>	CEM I
<b>Tipo de ambiente</b>	Expuesto a la lluvia
<b>Resistencia del concreto (N/mm<sup>2</sup>)</b>	50
<b>Diámetro del refuerzo (mm)</b>	12
<b>Porcentaje de aire incluido en el concreto</b>	<4.5%
<b>Vida útil del proyecto (años)</b>	100 años

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Espesor del recubrimiento (mm)</b>	20
<b>td Valor de cálculo de la vida útil (años)</b>	110
<b>tL tiempo para la degradación de la estructura (años)</b>	294

Con estos datos obtenemos el tL tiempo para la degradación de la estructura en años = 294 años, este valor es mayor al valor de td Valor de cálculo de la vida útil

= 110 años, por lo que podríamos decir que la estructura es durable y cumple con el parámetro requerido.

**b. Cálculo de la Condensación en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Tipo de edificio</b>	Oficinas. salas de conferencias. auditorios
<b>Clasificación</b>	Oficinas, tiendas
<b>Materiales</b>	Mármol (densidad = 2500 - 2850 kg/m <sup>3</sup> ) 3 cm Mortero de cemento 3.5 cm Hormigón armado (normal) 20 cm
<b>Área del muro</b>	10,224 m <sup>2</sup>

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Temperatura interior (°C)</b>	20
<b>Variación de la presión interior (Pa)</b>	270
<b>Transmitancia en muros (W/m<sup>2</sup> K)</b>	3.01
<b>Factor de temperatura de la superficie interior fR<sub>si</sub></b>	0.18
<b>Factor de temperatura de la superficie interior mínimo fR<sub>si, max</sub></b>	0.25

Con estos datos obtenemos que el Factor de temperatura de la superficie interior (0.18) es mayor que el Factor de temperatura de la superficie interior mínimo fR<sub>si</sub>,

max (0.25) por lo que no existe riesgo de condensación no siendo este un factor que genera la obsolescencia del edificio.

**c. Cálculo de la Temperatura en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Tipo de uso</b>	Escuelas, aulas
<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	32,000
<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	96,000
<b>Número de personas</b>	100
<b>Periodo</b>	Verano
<b>Área de la ventana (m<sup>2</sup>)</b>	48,000
<b>Temperatura de diseño (°C)</b>	21

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Tasa de renovación de aire (vol/hr):</b>	3
<b>Temperatura exterior (°C)</b>	25
<b>Ganancia por elementos vidriados (W/m<sup>2</sup>)</b>	500
<b>G<sub>p</sub> = Ganancias por personas (W)</b>	10,000
<b>G<sub>s</sub> = Ganancias solares (W)</b>	24,000,000
<b>G<sub>i</sub> = Ganancias por iluminación (W)</b>	160,000
<b>Q<sub>c</sub> = Pérdidas de calor por construcción (W)</b>	-153,652
<b>Q<sub>v</sub> = Pérdidas de calor por ventilación (W)</b>	-480,000
<b>BALANCE ENERGÉTICO [W]</b>	24,803,652

El modelo calcula una demanda de energía de 24,803,652 W para climatización del edificio, siendo este un factor que genera la obsolescencia del edificio.

**d. Cálculo de la Ventilación en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Área del piso (m<sup>2</sup>)</b>	32000
<b>Número de dormitorios</b>	28

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Flujo de aire requerido</b>	2093.40
<b>Tasa de renovación de diseño (vol/hr)</b>	3
<b>Tasa de renovación real (vol/hr)</b>	0.1

El modelo calcula la tasa de renovación de diseño en 3 vol/hr y la tasa de renovación real en 0.1 vol/hr con lo que se comprueba que la ventilación es un factor que causa la obsolescencia del edificio.

**e. Cálculo del Ruido exterior en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Distancia de la fuente al receptor (m)</b>	Autopistas = 150 m Avenidas principales = 45 m Calles de la ciudad = 8 m

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Atenuación</b>	Autopistas = 54.52 Avenidas principales = 44.06 Calles de la ciudad = 29.06
<b>Nivel de potencia sonora (Lw)</b>	Autopistas = 101 Avenidas principales = 91 Calles de la ciudad = 91
<b>Corrección por directividad (Dc)</b>	Autopistas = 0 Avenidas principales = 0 Calles de la ciudad = 0
<b>Nivel de presión</b>	Autopistas = 70 Avenidas principales = 60 Calles de la ciudad = 60
<b>Estándar permitido de ruido (Db)</b>	65
<b>Nivel de ruido (Db)</b>	62

El modelo calcula que el estándar permitido de ruido (65db) es igual al Nivel de ruido recibido (62 db) por lo que el ruido no es un factor que genera la obsolescencia del edificio.

**f. Cálculo de la Constructibilidad y ocupación de suelo en el modelo**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Comuna</b>	Providencia
<b>Tipo de uso</b>	Otro uso

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Coefficiente de constructibilidad max.</b>	1.8
<b>Ocupación del suelo (%)</b>	0.4
<b>Superficie útil</b>	0.72
<b>Costo de construcción bajo NPT</b>	80,640.00
<b>Costo de construcción sobre NPT</b>	691,200.00
<b>Costos de construcción</b>	771,840.00
<b>Costo total</b>	1,080,667.60
<b>Precio de venta (UF)</b>	81.5
<b>Precio del terreno (UF)</b>	91.6

El modelo calcula el precio del terreno = 91.6 UF, este valor es mayor que el Precio de venta = 81.5 UF, por lo que no se justificaría la demolición para la construcción de un nuevo proyecto siendo este un factor que no influye en la obsolescencia del edificio.

**g. Cálculo de la Rentabilidad en el modelo.**

Ingresamos en el modelo los siguientes datos:

<b>Datos de entrada</b>	
<b>Superficie del terreno (m2)</b>	32,000
<b>Tasa de interés bancaria (%)</b>	5

El modelo calcula y muestra los siguientes datos:

<b>Datos de salida</b>	
<b>Número de pisos</b>	5
<b>Número de departamentos por piso</b>	154
<b>Altura máxima permitida</b>	No se indica
<b>Número de departamentos promedio</b>	691
<b>Valor actual neto (VAN)</b>	1,291,732 pesos
<b>Tasa interna de retorno (TIR) mensual</b>	2,81 %
<b>Tasa interna de retorno (TIR) anual</b>	39,45 %
<b>Inversión inicial</b>	2,931,200.00
<b>Flujo de efectivo acumulado (año anterior)</b>	-642.725
<b>Flujo de efectivo (año que se recupera la inversión)</b>	5,144,269
<b>Rentabilidad (%)</b>	24.5 %

El modelo muestra que la Tasa de interés bancaria (5%) es mayor que la Tasa de interés de retorno (2.81%) con lo que se comprueba que el proyecto no sería rentable para los inversionistas por lo que este factor no generaría la obsolescencia del edificio.

#### **h. Cálculo de la Obsolescencia.**

En este caso al ser un proyecto construido no se considerará en el resultado los factores Constructibilidad y Rentabilidad, ya que se quiere conocer solo el comportamiento de los factores dependientes de la estructura, como en el caso real. Luego de haber realizado el cálculo y análisis de los distintos factores, observamos que el modelo ha calculado un tiempo de obsolescencia igual a 85 años ocasionado por lo siguiente:

- Necesidad de enfriamiento

- Necesidad de Ventilación

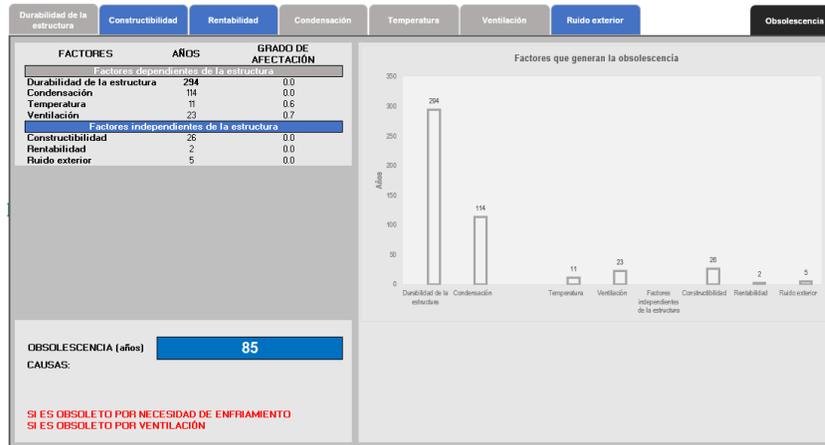


Figura 37: Cálculo de la obsolescencia Proyecto Vicuña Mackenna 20. Fuente: Elaboración propia usando Modelo de gestión de la obsolescencia.

**Se obtiene un valor de obsolescencia en el modelo igual a 85 años.**

## DISCUSIONES

### Generales

- Para mostrar la elasticidad de la herramienta se analizaron 4 edificios obsoletos cuya obsolescencia refleje las estudiadas en el estado del arte, por lo tanto, se muestran casos de obsolescencia por factores económicos, físicos, entre otros, con la finalidad de visualizar los fenómenos de obsolescencia para cada caso y validar la funcionalidad de la herramienta.
- En los 4 casos obsoletos analizados, se puede observar un desfase en el tiempo de obsolescencia real, lo cual puede deberse a la falta de información precisa, por ejemplo, la materialidad, área de muros, ventanas, número de recintos y distancia de las fuentes de ruido, por lo que para probar la funcionalidad del modelo se tuvieron que aproximar los datos faltantes.
- El modelo tiene el potencial de permitir al diseñador realizar ajustes en el tipo de material, cantidad, etc. para que, según la vida útil del edificio, al construir la edificación se utilice solo los recursos necesarios logrando, además de una reducción de los residuos de demolición, una reducción en el consumo de recursos vírgenes de construcción lo cual tiene un gran impacto sobre el medio ambiente y la sostenibilidad.
- El modelo propuesto elaborado con el programa Excel (XLS) puede ser considerado como un punto de partida o prototipo a ser incorporado dentro de herramientas más sofisticadas como Rhinoceros, Energy plus, Matlab, entre otros utilizadas por arquitectos y constructores en el diseño de edificaciones sustentables, la herramienta permite al diseñador realizar ajustes en las variables tanto internas como externas a la edificación.

### Caso 1: Ex Fundición METALCO

- El fenómeno de obsolescencia en este caso ocurrió principalmente por cambios en el uso de suelo lo que puede verse reflejado en el modelo, por lo que para mantener el tiempo de obsolescencia de la edificación podría ser necesario desarrollar algún programa de

restauración, rehabilitación etc. de acuerdo al uso permitido, logrando la reutilización y perdurabilidad del edificio.

- Para conocer como sucedió exactamente el fenómeno de obsolescencia se tendría que hacer una regresión e incorporar la información de los planes reguladores correspondientes a todos los años desde que se inició el proceso de transformación socio espacial en la ciudad de Santiago, lo que desencadenó la obsolescencia de esta edificación en ese entonces, una de las limitaciones del modelo es que tiene el potencial de utilizarse solo para evaluar obsolescencia en proyectos a ejecutarse en el futuro.

### **Caso 2: Centro de justicia de Santiago**

- El modelo es capaz de reflejar los fenómenos de obsolescencia reales que se dieron en la edificación, como son la demanda de energía para enfriamiento y la ventilación, una buena estrategia para corregir esta situación sería incorporar estrategias de eficiencia energética como orientación del edificio, incorporar dispositivos de control solar en la envolvente como celosías, asimismo favorecer el empleo de ventilación natural como mecanismo de enfriamiento.

### **Caso 3: Ex Instituto Sanitas**

- Se puede observar que el modelo no es capaz de reflejar el fenómeno de obsolescencia real ya que este sucedió por un proceso particular de necesidad de expansión de la industria lo que no corresponde a las causas que es capaz de reflejar el modelo, esto sería una limitación, ya que el modelo no es capaz de predecir todas las causales de obsolescencia y se necesita mayor investigación para encontrar metodologías que permitan medir la influencia de estos y más factores ya que la obsolescencia es un proceso que tiene aristas muy complejas que deben seguir estudiándose a profundidad.
- Sin embargo, para las demás causas identificadas como la necesidad de enfriamiento y ventilación se podría incorporar dispositivos de control solar en la envolvente como aleros

o balcones, celosías, entre otros y para la ventilación combinar estrategias de ventilación natural con ventilación forzada para garantizar el confort dentro de la estructura.

#### **Caso 4: Casa Ecléctica Beauchef**

- El modelo permite observar que el fenómeno de obsolescencia pudo deberse a cambios en el uso de suelo, en este caso observamos como en el caso 1 Ex Fundición METALCO, que es necesario conocer los planes normativos de los años en que sucedió la obsolescencia de esta edificación para analizar como se refleja en el modelo.
- Igual que en el caso 1, para mantener el tiempo de obsolescencia de la edificación se podría desarrollar algún programa de restauración, rehabilitación etc. de acuerdo al uso permitido, logrando la reutilización y perdurabilidad del edificio.

#### **Caso 5: Proyecto Vicuña Mackenna 20 (VM20)**

- Para aumentar el tiempo de obsolescencia calculado por el modelo, como en el caso 2 sería necesario incorporar estrategias de eficiencia energética como orientación del edificio, incorporar dispositivos de control solar en la envolvente como celosías en fachadas oriente y poniente asimismo favorecer el empleo de ventilación natural como mecanismo de enfriamiento, pero limitándola a lo estrictamente necesario para evitar exceso de pérdidas de calor.

## CONCLUSIONES

- La presente investigación nos permite hacer una distinción entre los conceptos de “vida útil” y “obsolescencia”. Tenemos que el final de la “vida útil” de una edificación se produce cuando los materiales o componentes de construcción, una vez instalados y construidos, usados y aplicados a una parte del inmueble, ya no responden a los requerimientos de rendimiento; y cuando por sus fallos físicos ya no es conveniente económicamente seguir con un mantenimiento correctivo para dichos componentes; por el contrario la “obsolescencia” puede ocurrir tanto por causas relacionadas a los materiales o componentes de construcción como por otras causas, entre estas la que más influencia tienen según los casos estudiados es la constructibilidad y los cambios de uso de suelo, ya que estas obedecen a regulaciones normativas sobre las que los diseñadores no tienen influencia, sin embargo si es posible influir sobre este factor en las etapas de proyecto cuando recién se están tomando las decisiones de donde construir.
- Podemos concluir que la obsolescencia obedece a un fenómeno muy complejo y difícil de determinar. En la presente investigación iniciamos haciendo una clasificación de los distintos factores que podrían generar la obsolescencia en las edificaciones, a partir de la revisión de los distintos autores vistos en la revisión bibliográfica, quienes coinciden en clasificar a la obsolescencia en funcional, física y económica, asimismo conociendo los fenómenos que se dan en la realidad fue necesario determinar cuáles son los factores que tenían mayor relevancia o peso en la obsolescencia y con esto darles una valoración, lo cual representó un reto y una dificultad en la construcción del modelo ya que sobre los factores que tienen mayor relevancia o peso para la obsolescencia se tiene muy poca investigación al respecto.
- La presente investigación nos demuestra que si es posible reducir la generación de los residuos de construcción y demolición desde las etapas de diseño mediante la gestión de la obsolescencia de los edificios, por ejemplo mediante el uso de herramientas informáticas o

algoritmos numéricos que permitan simular la interacción entre los factores que generan los diversos tipos de obsolescencia, sin embargo es necesario conocer a priori cuales son los factores que están relacionados a la obsolescencia y como se interrelacionan entre sí para poder reflejarlos en un sistema informático y de este modo obtener una herramienta de diseño arquitectónico que permita prolongar la vida útil de los edificios y por ende reducir la cantidad de residuos de demolición y su impacto al medio ambiente.

- Para la construcción del modelo fue necesario elegir un programa que presente facilidad de uso y funciones poco complejas, que sea fácil de operar y entendible por el usuario, asimismo fue necesario encontrar metodologías que permitan cuantificar cada uno de los factores elegidos en la presente investigación, para lo cual se utilizó las metodologías brindadas por la normativa chilena y en los casos que no fue posible utilizar normativa propia se utilizaron referencias de otros países. El objetivo de incorporar alguna metodología en el modelo fue poder cuantificar cada factor y evaluar el estado del edificio, finalmente lograr que estos factores interactúen en el modelo mediante una ecuación global que permita obtener el valor de la obsolescencia del edificio en años.
- Los factores independientes de la Durabilidad de la estructura como son La constructibilidad, la ocupación de suelo, la Rentabilidad y el Ruido exterior, son determinantes en la generación de la obsolescencia de una edificación ya que responden a las condiciones de un mercado en constante cambio, el modelo tiene la capacidad de permitir al diseñador visualizar este fenómeno en el tiempo de obsolescencia, por ejemplo si alguno o todos los factores independientes de la Durabilidad de la estructura condicionan la obsolescencia, el modelo permitirá que la ecuación que predomine sea la que integra estos factores sobre la ecuación que integra los factores dependientes de la misma como son la condensación, la temperatura, la ventilación, etc.
- El modelo de gestión de la obsolescencia propuesto además de ser una herramienta de estimación del tiempo de obsolescencia de una edificación que permite retardar la demolición y por ende la generación de residuos sólidos, busca además ser una herramienta

que ayude en el diseño de edificios sustentables brindando estrategias para alcanzar la optimización de los distintos factores como la durabilidad de la estructura, la Condensación, así como en el cumplimiento de estándares de tipo regulatorio como son la constructibilidad, la ocupación del suelo, entre otros factores de relevancia que sean incorporados en adelante, en los casos analizados se puede evidenciar como mediante el conocimiento de las causas que generan la obsolescencia se puede gestionar cada una de estas variables y con esto lograr que el edificio se mantenga y no sea demolido.

- El modelo propuesto de gestión de la obsolescencia tiene la capacidad de ser una herramienta capaz de predecir y gestionar la obsolescencia, permitiendo al diseñador, de acuerdo a la necesidad del proyecto, poder modificar diversos parámetros internos o externos a la edificación e implementar estrategias que permitan prolongar el tiempo de obsolescencia de una edificación, la herramienta además tiene el potencial de permitir al proyectista, de acuerdo al uso que tenga la edificación, poder elegir la cantidad o composición de materiales a usar, permitiendo utilizar solo los materiales necesarios de acuerdo al uso previsto, posibilitando un menor uso de recursos y un menor impacto ambiental en términos de ciclo de vida de los materiales.
- Cuando el usuario utiliza el modelo e incorpora los datos de entrada la herramienta es capaz de indicarle si el factor sobre el que está trabajando condiciona la obsolescencia en la edificación, a través de esto el diseñador puede conocer cuáles son las variables que generan la obsolescencia de un determinado proyecto y por lo tanto conocer sobre que parámetros influir para prolongar o disminuir la obsolescencia incorporando estrategias de diseño respecto a la condensación, ventilación, temperatura, etc., y sobre las que no obedecen al diseño como son la constructibilidad, la rentabilidad, etc. poder decidir donde construir o el tipo de uso que se le aplicará a la edificación con la finalidad de aumentar el tiempo de obsolescencia de la edificación.
- Una de las principales limitaciones del modelo es que este es aplicable por el momento a proyectos localizados en Chile, aún falta mayor investigación acerca de cómo incorporar

métodos de geolocalización y metodologías para usarse en proyectos ubicados en otros países, dado que las opciones de ciudades y localidades que se han utilizado en el modelo corresponden en su totalidad a ciudades ubicadas en Chile.

- Se puede concluir en base a los casos estudiados en la investigación y a los datos de entrada utilizados, que el modelo es aplicable por el momento solo a proyectos de un solo uso, por ejemplo viviendas o edificaciones ya que la herramienta solo permite al usuario realizar una elección de tipo de uso por proyecto, por esta razón es muy difícil hacer una predicción de la obsolescencia en Edificios de múltiples usos, faltaría más investigación que permita incluir datos múltiples en el modelo y con esto los edificios con múltiples usos puedan ser evaluados.

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Aeberhard, M. Corace, J. Transmisión de calor. 2005.
- Aguirre, C. Ramos, R. Impacto del Ruido Urbano en el Valor de los Departamentos Nuevos: un Estudio de Precio Hedónico Aplicado a Bienes Ambientales. Chile. Revista de la Construcción Vol. 4 N° 1 – 2005.
- Baixas, Juan Ignacio. Sobre el paso del tiempo en los edificios. 2005.
- Bustamante, W. Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social. Santiago de Chile. 2009.
- Cervera, J. C. (2009). El declive de la arquitectura moderna: deterioro, obsolescencia, ruina. 1, 16.
- Edwards, G. (1995). Externalidades e Instrumentos de regulación urbana. Chile. 13.
- ESAN (2017). El PRI: uno de los indicadores que más llama la atención de los inversionistas. Recuperado de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/el-pri-uno-de-los-indicadores-que-mas-llama-la-atencion-de-los-inversionistas/>
- ESAN. (2019) VAN y TIR: ¿para qué sirven y cuándo usarlos? Recuperado de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2019/08/van-y-tir-para-que-sirven-y-cuando-usarlos/>
- Fundación Basura (Eds). Rehacer lo Des(h)echo: Revalorización de materiales en arquitectura, arte y diseño. Editorial STOQ, 2016.
- Galli M. (2013). Memoria Título AIR LOFT. Memoria realizada para obtener el título profesional de arquitecto Universidad Mayor. Chile. 164.
- Garnett, D. (2006). THE THEORY AND PRACTICE OF BUILDING RENEWAL. Housing and society. Recuperado de <https://leapingfrogpublications.co.uk/housing-society/building-obsolescence/>.
- Garrido, P. Vida y obsolescencia de fachadas del siglo XX en la ciudad de Barcelona. España. 2015.

- Greene, Margarita et al. Taller de investigación: segundo semestre 2001: Santiago obsolescencias urbanas
- Instituto Nacional de Normalización (Chile) (2000). NCh 352 Of 2000 Aislación acústica. inn, Santiago, Chile.
- Instituto Nacional de Normalización (Chile) (2007). Acondicionamiento térmico – Envoltura térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. NCh 853 Of. 2007. inn, Santiago, Chile.
- Instituto Nacional de Normalización (Chile) (2013). Ventilación - Calidad aceptable de aire interior - Requisitos. NCh 3308. Inn. Santiago, Chile.
- Instituto Nacional de Normalización (Chile) (2014). Comportamiento higrotérmico de elementos y componentes de construcción - Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial - Métodos de cálculo. NCh 1973.Of2014. inn, Santiago, Chile.
- Levy, J. Reforma y rehabilitación patrimonial en el barrio Franklin. Ex Instituto Sanitas, la transformación del Inmueble higienista de conservación histórica. Barrio Franklin, Santiago de Chile. 2019
- Lynch, Kevin. Echar a perder (Wasting away): Un análisis del deterioro. Barcelona: Gustavo Gili, 2005.
- Mostafavi Mohsen. On weathering: the life of buildings in time. 1993
- Municipalidad de Santiago. Catálogo de inmuebles de conservación histórica. Modificación complementaria al plan regulador comunal de Santiago. 2014.
- Muñoz, F et al. LA DURABILIDAD EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO DESDE LA PERSPECTIVA DE LA NORMA ESPAÑOLA PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO. España. 2012.
- Muñoz, V. F. E. (s. f.). ESTADO DEL ARTE DE LOS FACTORES QUE AFECTAN A LA DURABILIDAD DE LAS EDIFICACIONES. 188.

- NCh 1973.Of2014 “Comportamiento higrotérmico de elementos y componentes de construcción - Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial - Métodos de cálculo”
- Navarrete, 2009. Corrosión y degradación de los metales. Escuela politécnica nacional. Ecuador.
- Norma Chilena NCh 170 2016 Hormigón Requisitos generales.
- Norma ISO 9613 -1:2019 Acústica. Atenuación del sonido durante su propagación al aire libre. Parte 1: cálculo de la absorción del sonido por la atmósfera.
- Pavez A. (2012). Proyecto Costanera Center ALTOS DESAFIOS. Chile. 12.
- Proyecto Edificio Vicuña Mackenna 20. Recuperado de <https://www.uchile.cl/proyectoVM20>
- Rojas, Eduardo. Volver al centro La recuperación de áreas urbanas centrales. 2004.
- Salcedo Aznal, Alejandro. "Las nuevas actitudes hacia el consumo y la producción: las mejores prácticas en el ámbito del consumo colaborativo y la obsolescencia planificada” (Un mundo en tránsito). 2014.
- Smoglie, C. Optimización del uso de la energía en edificios: Desarrollo de interfaz para Energyplus. Buenos Aires. 2014.
- Thomsen, A. (s. f.). (2011) OBSOLESCENCE AND THE END OF LIFE PHASE OF BUILDINGS. 14. Amsterdam, The Netherlands.
- Torres C. (2019). Reconversión patrimonio industrial | Fábrica educativa y de recreación Balmaceda Memoria proyecto de Título de Arquitecta Universidad Mayor. Chile. 137.
- Vicuña, M. Impacto de la densificación residencial intensiva en la segmentación del tejido urbano de Santiago: un enfoque cuantitativo. Chile. 2017.
- Yarke, E. Ventilación natural en edificios. Buenos aires. 2005.

## ANEXOS

### Anexo 1: Metodología de la encuesta:

#### a. Público objetivo:

La encuesta fue enviada a 27 profesionales de las especialidades de Arquitectura, Construcción, Gestión, Demolición y Servicio público seleccionados del grupo de expertos pertenecientes al equipo de Construye 2025 programa impulsado por CORFO que busca transformar al sector construcción desde la productividad y la sustentabilidad a nivel nacional.

#### b. Diseño de la encuesta:

La encuesta fue enviada por correo electrónico a través de la plataforma digital gratuita Survey Monkey ([www.surveymonkey.com](http://www.surveymonkey.com)), conteniendo la siguiente estructura:

#### Relevancia de los factores que generan la obsolescencia de edificios

La investigación tiene por objeto estudiar el concepto de obsolescencia y definir los factores críticos que intervienen en su comportamiento, como resultado deseamos obtener un software que permita al diseñador o arquitecto conocer el tiempo que tardará una edificación en convertirse en obsoleta y tener la posibilidad de establecer estrategias con el objetivo de retardar o evitar la demolición y la generación de residuos derivados de este proceso.

# Modelo de Gestión de la Obsolescencia de Edificios: Estudio de la interacción de los factores de obsolescencia mediante un modelo numérico

## 1. Profesión o ámbito de trabajo

- Arquitectura
- Construcción
- Gestión
- Demolición
- Servicio público

## \* 2. ¿Qué tan importante es la "Durabilidad de la estructura<sup>(\*)</sup>" como factor que genera la obsolescencia de las edificaciones?

<sup>(\*)</sup> Durabilidad de la estructura: Capacidad que tienen las estructuras de conservar inalteradas sus condiciones físicas y químicas durante su vida útil cuando se ven sometidas a la degradación de su material por diferentes efectos de cargas y sollicitaciones, las cuales están previstas en su diseño estructural.

- Muy importante
- Importante
- Ni muy ni poco importante
- Poco importante
- Nada importante

## \* 3. ¿Qué tan importante es la "Durabilidad de la envolvente<sup>(\*)</sup>" como factor que genera la obsolescencia de las edificaciones?

<sup>(\*)</sup> Durabilidad de la envolvente: Está relacionado a la penetración de agua, lluvia y la condensación (superficial e intersticial) que provoca daños en los sistemas constructivos, reduciendo su durabilidad y pudiendo facilitar la presencia de moho en la superficie interior.

- Muy importante
- Importante
- Ni muy ni poco importante
- Poco importante
- Nada importante

## \* 4. ¿Qué tan importantes son los factores de "Constructibilidad y la ocupación de suelo<sup>(\*)</sup>" como factores que generan la obsolescencia de las edificaciones?

<sup>(\*)</sup> Constructibilidad y ocupación de suelo: Ambos indicadores inciden en los precios que la gente está dispuesta a pagar por las viviendas y los precios que las empresas constructoras están dispuestas a pagar por los terrenos.

## Modelo de Gestión de la Obsolescencia de Edificios: Estudio de la interacción de los factores de obsolescencia mediante un modelo numérico

- Muy importante
- Importante
- Ni muy ni poco importante
- Poco importante
- Nada importante

\* 5. ¿Qué tan importante es la "Rentabilidad de construir en una determinada área<sup>(\*)</sup>" como factor que genera la obsolescencia de las edificaciones?

(\*) Rentabilidad: indicador relacionado con el aumento o disminución de la demanda de viviendas en una zona determinada, los precios de los terrenos podrían elevarse si los precios de venta suben más que proporcionalmente afectando la rentabilidad de los inversionistas

- Muy importante
- Importante
- Ni muy ni poco importante
- Poco importante
- Nada importante

\* 6. ¿Qué tan importante es la "Temperatura del aire interior<sup>(\*)</sup>" como factor que genera la obsolescencia de las edificaciones?

(\*) Temperatura del aire interior: Factor directamente relacionado con el uso racional de energía pues la renovación del aire implica consumo de energía para elevar la temperatura del aire en invierno y el uso de algún sistema de ventilación mecánica o natural.

- Muy importante
- Importante
- Ni muy ni poco importante
- Poco importante
- Nada importante

\* 7. ¿Qué tan importante es la "Ventilación sanitaria<sup>(\*)</sup>" como factor que genera la obsolescencia de las edificaciones?

(\*) Ventilación sanitaria: Cambio de una porción de aire que se considera indeseable por otra de mejor calidad, que mejora su pureza, temperatura, humedad, etc. El objetivo es mantener la calidad del aire interior para asegurar tanto la salud de sus ocupantes como la conservación y el funcionamiento del edificio.

- Muy importante
- Importante
- Ni muy ni poco importante
- Poco importante
- Nada importante

\* 8. ¿Qué tan importante es el "ruido aéreo exterior y el ruido de impacto en muros y pisos<sup>(\*)</sup>" como factores que generan la obsolescencia de las edificaciones?

(\*) Ruido aéreo exterior y el ruido de impacto en muros y pisos: Los problemas acústicos en recintos de viviendas provienen del ruido aéreo exterior relacionado a la selección del aislante correcto en la solución constructiva que permita atenuar el ruido proveniente del exterior al interior de la vivienda y el ruido de impacto en muros y pisos que está relacionado a las soluciones constructivas de muros y pisos que permitan reducir el ruido de impacto y mantener el confort dentro de la edificación.

- Muy importante
- Importante
- Ni muy ni poco importante
- Poco importante
- Nada importante

9. ¿Qué factor adicional consideraría como muy importante para declarar un edificio como obsoleto?

### c. Análisis de las respuestas

Se recogieron 9 respuestas que corresponden a 3 profesionales de la Arquitectura 3 de la Construcción, 1 de la Gestión y 2 de Servicio público tal como se observa en la siguiente gráfica:



Obtenemos los resultados que se presentan en la Grafica 1, hemos ordenado los factores en función de la importancia que marcaron los expertos.



Grafica 1: Valoración de los factores que generan la obsolescencia según expertos.

Fuente: Elaboración propia.

En base a la valoración de expertos se puede concluir que los factores de relevancia que generan la obsolescencia de las edificaciones son en primer lugar la Durabilidad de la estructura y la Rentabilidad, en segundo lugar de importancia tenemos a la Constructibilidad y la Condensación, a continuación con menor importancia tenemos a la Ventilación y por último los factores con menor relevancia e importancia que generan la obsolescencia de las edificaciones son la temperatura del aire y el Ruido.