



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería - Ingeniería Civil Informática

DESARROLLO DE HERRAMIENTA PARA EL APOYO AL DISEÑO  
BIOCLIMÁTICO DE VIVIENDAS

Memoria para optar al grado de  
INGENIERO CIVIL INFORMÁTICO

POR  
DIEGO VICENTE RODRÍGUEZ MANCINI  
CONCEPCIÓN, CHILE

Enero, 2019

Profesor guía: GONZALO ROJAS DURÁN  
Departamento de Ingeniería Informática y Ciencias de la Computación  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de Concepción

©

b) Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.



## Resumen

El diseño de viviendas que considera variables climáticas y del entorno se conoce como diseño bioclimático, el cual apunta a mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental y económico de un recinto habitacional. Existen herramientas computacionales para abordar este problema pero en su mayoría demandan un alto conocimiento técnico del usuario, ofrecen simulaciones de consumo para etapas tardías del diseño o no consideran variables del territorio nacional. En este trabajo se desarrolló el prototipo de una herramienta que aporta al diseño bioclimático mediante un sistema web con una interfaz accesible para diferentes tipos de usuarios. El sistema comprende variables morfológicas, climáticas y de emplazamiento, para obtener la calificación energética de una vivienda en su etapa de pre-diseño. En este informe se definen las bases teóricas que respaldan el cálculo de la calificación energética, además, se describen las funcionalidades del sistema que están relacionadas con las variables climáticas y de emplazamiento, así como también el proceso de diseño y desarrollo de la herramienta.

## Índice general

Resumen	III
Índice de tablas	VI
Índice de figuras	VII
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo General	2
1.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Metodología de trabajo	2
Capítulo 2. Marco Teórico	4
2.1. Diseño Bioclimático	4
2.2. Cálculos involucrados en el balance energético	5
2.2.1. Aporte solar	5
2.2.2. Calificación energética	8
2.3. Alternativas a la herramienta propuesta	9
Capítulo 3. Descripción del Sistema	14
3.1. Arquitectura del software	15
3.2. Requerimientos desarrollados	17
3.3. Casos de Uso	18
Capítulo 4. Diseño del Sistema	20
4.1. Módulo de Emplazamiento	20
4.2. Módulo de Morfología	22
4.3. Módulo de Resultados	24
4.4. Diseño de Interfaz	24
Capítulo 5. Implementación de la solución	27
5.1. Herramientas utilizadas	27
5.2. Modelo de datos	28

5.3. Vistas principales de la implementación . . . . .	30
Capítulo 6. Testeo de usuario	39
6.1. Resultados . . . . .	40
Capítulo 7. Conclusiones	44
Bibliografía	47
Capítulo 8. Anexo	48
8.1. Lista de tareas del testeo de usuario . . . . .	48
8.2. Diagramas de la base de datos de ventanas y marcos . . . . .	49



## Índice de tablas

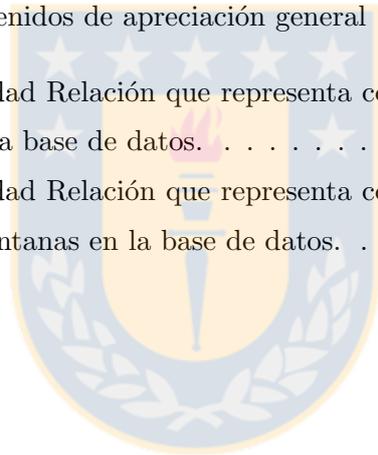
Tabla 2.1.	Rangos de calificación energética . . . . .	9
Tabla 2.2.	Herramientas gratuitas de diseño de viviendas . . . . .	10
2.3.	Herramientas de pre diseño . . . . .	11
2.3.	Herramientas de pre diseño . . . . .	12



## Índice de figuras

Figura 2.1. Horas de asoleamiento de muros. Por ejemplo, en un día determinado de primavera, en Concepción, un muro que se orienta directamente hacia el Este recibe sol desde el amanecer hasta el medio día solar, es decir cuando el sol se encuentra directamente hacia el Norte. . . . .	6
Figura 2.3. Ejemplo de las variables del FAR. A la izquierda se da un ejemplo de las distancias A y B mientras que a la derecha se da un ejemplo de la representación de dos obstrucciones, con sus respectivos ángulos $\beta$ y la línea roja que sirve para representar la estructura de las obstrucciones que se encuentren dentro de un ángulo de $90^\circ$ y a menos de 50 metros de distancia. . . . .	8
Figura 3.1. Interacción de módulos en front-end. El diagrama muestra cómo se relacionan los módulos de morfología y emplazamiento al modificarse algún parámetro. . . . .	16
Figura 3.2. Arquitectura de la interacción cliente-servidor. Los numeros representan el flujo de una petición hecha por parte del cliente. . . . .	17
Figura 3.3. Diagrama de casos de uso . . . . .	19
Figura 4.1. Diseño del entorno de la vivienda en la etapa de planteamiento del proyecto [18]. . . . .	21
Figura 4.2. Diseño de la selección de localidad del módulo emplazamiento en la etapa de planteamiento del proyecto [18]. . . . .	22
Figura 4.3. Ejemplo de camino solar en solsticio de invierno y verano. [14] . . . . .	23
Figura 4.4. Versión prematura de interfaz con pestañas (Junio 2018) . . . . .	25
Figura 4.6. Segundo prototipo de interfaz con elementos agrupados. A la izquierda se ve el mockup del prototipo y a la derecha su implementación. . . . .	25
Figura 4.8. Mockup del tercer prototipo de interfaz (izquierda) y su implementación (derecha). . . . .	26
Figura 5.2. Parte del modelo Entidad-Relación de la base de datos del sistema. El resto del diagrama se encuentra en el anexo de este informe. . . . .	29

Figura 5.3. Vista inicial del sistema . . . . .	30
Figura 5.4. Vista del emplazamiento agregando obstrucciones y visualizando información térmica de la localidad seleccionada (por defecto Concepción). . . . .	31
Figura 5.5. Vista del emplazamiento con obstrucción norte produciendo efecto sobre ventanas. . . . .	32
Figura 5.6. Vista del panel de localidad después de seleccionar la comuna de Concepción.	33
Figura 5.7. Vista de morfología al seleccionar una ventana . . . . .	34
Figura 5.8. Vista del panel de resultados. . . . .	35
Figura 5.9. Vista del panel de configuración de ventanas. . . . .	36
Figura 5.11. Ejemplo de rotación del sistema de referencia. A la izquierda se ve el plano por defecto y a la derecha después de rotar 90° . . . . .	37
Figura 5.12. Cambio de fecha y hora que muestra el camino solar. . . . .	38
Figura 6.1. Puntaje promedio obtenido en cada tarea . . . . .	41
Figura 6.2. Puntajes obtenidos de apreciación general . . . . .	43
Figura 8.1. Modelo Entidad Relación que representa cómo se almacenan los tipos de ventanas en la base de datos. . . . .	49
Figura 8.2. Modelo Entidad Relación que representa cómo se almacenan los tipos de marcos de ventanas en la base de datos. . . . .	50



## Capítulo 1

### INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética de una vivienda es un aspecto de gran importancia en la calidad de vida de las personas. Factores como el impacto medioambiental y costos económicos de las familias se ven afectados por el uso de la energía.

El diseño arquitectónico, etapa inicial del diseño de una vivienda, tiene una alta incidencia en la demanda energética de la vivienda proyectada, en términos de calefacción e iluminación. En esta etapa, el arquitecto proyectista dibuja y propone las características principales de la vivienda, tales como superficie a construir, número y altura de pisos, dimensiones y ubicación de ventanas, o materiales principales del envolvente de la vivienda.

Para adoptar criterios de eficiencia energética desde el diseño de la vivienda, en esta etapa el proyectista debe armonizar la vivienda con su entorno natural, lo que llamamos diseño bioclimático. Esto requiere de un análisis climático del lugar de emplazamiento de la vivienda, procesando datos meteorológicos como temperatura y radiación solar y de características del entorno, como estructuras aledañas que podrían provocar sombra.

Actualmente, el diseño bioclimático se aborda de manera manual por parte del proyectista, pero la gran cantidad de variables a considerar y las normas y ordenanzas que regulan las construcciones urbanísticas dificultan gravemente la implementación del diseño bioclimático de viviendas.

Las herramientas computacionales que apoyan este proceso adolecen de varias carencias:

- Demandan un alto grado de especialización por parte del usuario, con conocimiento técnico previo poco adecuado al uso descrito
- Ofrecen una interacción compleja para la introducción y modificación de parámetros de simulación

- Consideran aisladamente sólo algunos aspectos relevantes para el diseño bioclimático, principalmente factores meteorológicos
- No priorizan factores relevantes de la realidad nacional, como los distintos climas que existen
- Ofrecen una simulación de consumo energético en etapas tardías, cuando la vivienda está construida.

Es importante destacar que el desarrollo de esta herramienta se llevó a cabo en dos memorias de título, las cuales consideran elementos distintos del software, que se integran contribuyendo a un abordaje global del problema. Este trabajo aborda el diseño bioclimático de viviendas con énfasis en el aspecto de localización y emplazamiento. Esto considera variables de orientación, luz solar recibida y sombras producidas por elementos del entorno.

### 1.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema software que permita al usuario diseñar una vivienda en relación a su entorno, incorporando tanto variables climáticas y de emplazamiento como de materiales y perfiles de uso, para obtener una estimación de la eficiencia energética de la vivienda y mejorar el diseño de la misma, mediante una interacción rápida y usable por los distintos grados de conocimiento que pueda tener el usuario.

### 1.2. Objetivos Específicos

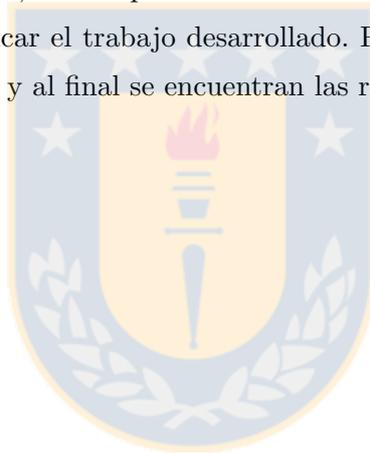
- Obtener las variaciones de balance energético según la localidad donde será construida la vivienda
- Permitir medir la incidencia de obstrucciones de sol en el entorno de la vivienda
- Visualizar resultados en tiempo real al modificar parámetros

### 1.3. Metodología de trabajo

Se adoptó un enfoque iterativo incremental, en base a prototipos, contando con retroalimentación periódica de clientes.

Esta memoria se realizó en el marco del proyecto FIPI de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción, que involucra a los departamentos de Ingeniería Informática y Ciencias de la Computación e Ingeniería Civil.

A continuación en el capítulo 2 se definen los conceptos de diseño bioclimático, las fórmulas del cálculo de balance energético y se describen alternativas a la herramienta propuesta. Posteriormente, en el capítulo 3 se realiza una descripción del sistema, explicando la arquitectura de éste, los requerimientos desarrollados y cómo éstos interactúan con el usuario mediante los casos de uso. El capítulo 4 presenta las funciones principales de cada módulo del software y los diferentes diseños de interfaz abordados a lo largo del proyecto. En el capítulo 5 se describen las herramientas utilizadas para el desarrollo de la solución, el modelo de datos y el diseño de interfaz que se usaron. El capítulo 5.3 hace una demostración del sistema en funcionamiento, con capturas de pantalla que muestran los casos de uso principales y la interfaz gráfica asociada a estos. Hacia el final del informe, en el capítulo 6 se muestran los resultados del testeo de usuario realizado para validar y verificar el trabajo desarrollado. Por último, el capítulo 7 contiene las conclusiones de esta memoria y al final se encuentran las referencias bibliográficas y el anexo.



## Capítulo 2

### Marco Teórico

En este capítulo se definen los conceptos de diseño bioclimático que fueron abordados en este trabajo, los cálculos utilizados para el cálculo del balance energético y las alternativas existentes al software desarrollado.

#### 2.1. Diseño Bioclimático

El diseño bioclimático consiste en el diseño de casas y/o edificios considerando las variables del entorno en donde será construida la vivienda, ya sea el clima, lluvias, viento, orientación, sombra, entre otros, con el objetivo de reducir el impacto medioambiental y el consumo de energía de los habitantes. El diseño bioclimático bien implementado puede mejorar el bienestar de las personas tanto en aspectos económicos como en el confort general del día a día.

En particular, en este trabajo se abordó el diseño bioclimático desde dos grandes ejes: factores estructurales de la vivienda y los factores del emplazamiento, siendo estos últimos aquellos factores priorizados en esta memoria de título. Sin embargo, existen también factores internos que afectan el balance energético de la vivienda y se relacionan directamente con los factores estructurales y de emplazamiento. En la lista a continuación se observan los factores considerados en esta herramienta.

- Factores estructurales:
  - Diseño morfológico de la vivienda: forma, dimensiones, tipología
  - Materiales de construcción
- Factores de emplazamiento:
  - Localización geográfica: temperaturas, radiación solar, reglamentación
  - Orientación
  - Obstrucciones remotas que producen sombra (Factor de accesibilidad de la ventana)
  - Orientación de las ventanas

- Factores Internos:
  - Cantidad de habitantes
  - Horas de iluminación
  - Volumen de aire ventilado
  - Temperatura de confort

Si bien es cierto que el diseño bioclimático incorpora muchos otros factores, los presentados en esta aplicación han sido identificados como los esenciales y sirven como una primera aproximación al diseño bioclimático y el cálculo del balance energético, sin embargo no excluye la incorporación de nuevos parámetros en el futuro.

## 2.2. Cálculos involucrados en el balance energético

En la sección 2.1 se han mencionado algunos conceptos del diseño bioclimático y parámetros del balance energético. En esta sección se describirán en detalle las definiciones y fórmulas de los componentes del balance y algunos algoritmos utilizados para su cálculo.

En primer lugar se define el balance de energía BE como:

$$BE = \frac{(PC + PV) - (AS + AI)}{1000 \cdot sup} \left[ \frac{kWh}{m^2} \right] \quad (2.1)$$

Donde  $PC$  es pérdidas por conducción,  $PV$  es pérdidas por ventilación,  $AS$  es aportes solares,  $AI$  es aportes internos y  $sup$  es la superficie de la vivienda. El valor obtenido equivale al balance energético de un mes, es decir, se debe calcular el BE mensualmente [4], específicamente en aquellos meses cuya temperatura promedio sea inferior a la temperatura de confort definida por el usuario (por defecto 14°C).

### 2.2.1. Aporte solar

El aporte solar es el aporte energético que se obtiene del sol y entra a la vivienda. En este apartado afectan los factores de sombra del entorno ya que al reducir la accesibilidad del sol se reduce el aporte energético al interior de la casa. El aporte solar se calcula como sigue [15]:

$$AS = I_{G,B} * A_v * F \quad (2.2)$$

Donde  $I_{G,B}$  es la radiación solar inclinada,  $A_v$  es el área total de ventanas y  $F$  es el factor de accesibilidad.

$$I_{G,B} = I_{difusa} * \frac{1 + \cos\cos(\frac{\pi}{2})}{2} + I_{directa} * R_b \quad (2.3)$$

Donde  $I_{difusa}$  es la radiación difusa del mes e  $I_{directa}$  es la radiación directa del mes cuyos valores se obtienen mediante mediciones con instrumentos especializados. Por último,  $R_b$  es la razón entre la radiación directa sobre una superficie horizontal y una superficie inclinada.

Para calcular el  $R_b$  total se debe obtener el  $R_b$  para cada muro el día 15 de cada mes al cual se le desea calcular su balance energético, esto requiere en primer lugar obtener el rango horario en que cada muro recibe luz solar (ver Figura 2.1).

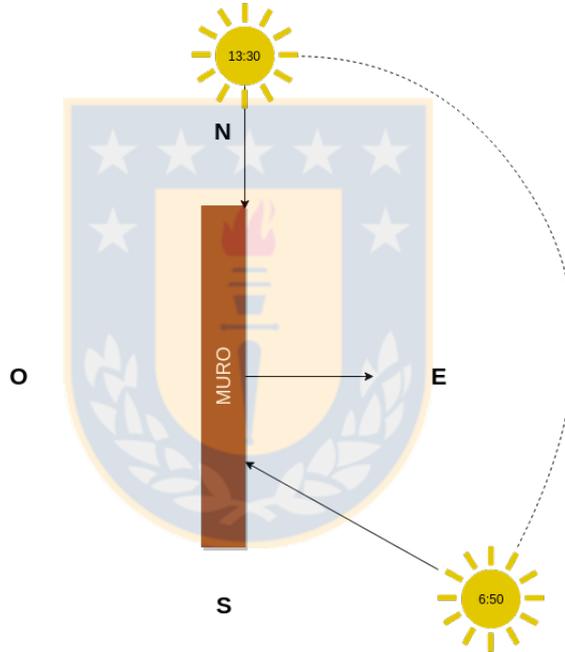


Figura 2.1: Horas de asoleamiento de muros. Por ejemplo, en un día determinado de primavera, en Concepción, un muro que se orienta directamente hacia el Este recibe sol desde el amanecer hasta el medio día solar, es decir cuando el sol se encuentra directamente hacia el Norte.

Luego, aplica la siguiente fórmula [15]

$$R_b = \begin{cases} \frac{R_{ba}}{R_{bb}}, & \text{si } R_{bb} \neq 0 \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned}
R_{b_a} = & (\sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma)(w_2 - w_1) \frac{\pi}{180} \\
& + (\cos \delta \cos \phi \cos \beta + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma)(\sin w_2 - \sin w_1) \\
& - \cos \delta \sin \beta \sin \gamma (\cos w_2 - \cos w_1) \quad (2.5)
\end{aligned}$$

$$R_{b_b} = \cos \phi \cos \delta (\sin w_2 - \sin w_1) + \sin \delta \sin \phi (w_2 - w_1) \frac{\pi}{180} \quad (2.6)$$

Donde

- $\phi$ : latitud
- $\delta$ : inclinación de la tierra
- $\beta$ : inclinación de la superficie que recibe el sol (para muros es  $90^\circ$ )
- $\gamma$ : orientación del muro
- $w_1$ : ángulo horario en que el sol incide en la superficie
- $w_2$ : ángulo horario en que el sol deja de incidir en la superficie

Volviendo a la fórmula 2.2, el último factor es el factor de accesibilidad de las ventanas F.

$$F = FAR[(1 - FM) \cdot FS + (0.4FM \cdot U_m \cdot 0.35)] \quad (2.7)$$

Donde  $FAR$  es el factor de accesibilidad por objetos remotos,  $FM$  es el factor solar del marco de la ventana,  $FS$  es el factor solar del tipo de ventana y  $U_m$  es la transmitancia térmica del marco [4].

El FAR hace referencia a la accesibilidad de las ventanas respecto aquellos elementos remotos, identificados como obstrucciones, que generan sombras sobre las superficies vidriadas de la vivienda en análisis. Este factor tiene dos componentes: el FAR inicial que hace referencia a las distancias verticales y horizontales a la obstrucción y el FAR final que involucra el ángulo de incidencia de la obstrucción sobre la ventana [4].

$$FAR_{inicial} = 0.2996 \frac{A}{B} \quad (2.8)$$

$$FAR_{final} = \frac{90^\circ - \beta_1 - \dots - \beta_n}{90^\circ} + FAR_1\left(\frac{\beta_1}{90^\circ}\right) + \dots + FAR_n\left(\frac{\beta_n}{90^\circ}\right) \quad (2.9)$$

Donde  $A$  es la distancia vertical desde el centro de la ventana hasta el límite superior de la obstrucción,  $B$  es la distancia horizontal desde el centro de la ventana a la obstrucción en el sentido de la orientación de la ventana,  $FAR_i$  es el FAR inicial de la obstrucción  $i$  y  $\beta_i$  es el ángulo que obstruye la obstrucción  $i$ . En la Figura 2.3 se muestran los parámetros del FAR. A la izquierda se da un ejemplo de las distancias  $A$  y  $B$  mientras que a la derecha se da un ejemplo de la representación de dos obstrucciones, con sus respectivos ángulos  $\beta$  y la línea roja que sirve para representar la estructura de la obstrucción. Cabe destacar que se consideran aquellas obstrucciones dentro de un radio de 50 metros y en un ángulo de  $90^\circ$  desde el centro de la ventana [4].

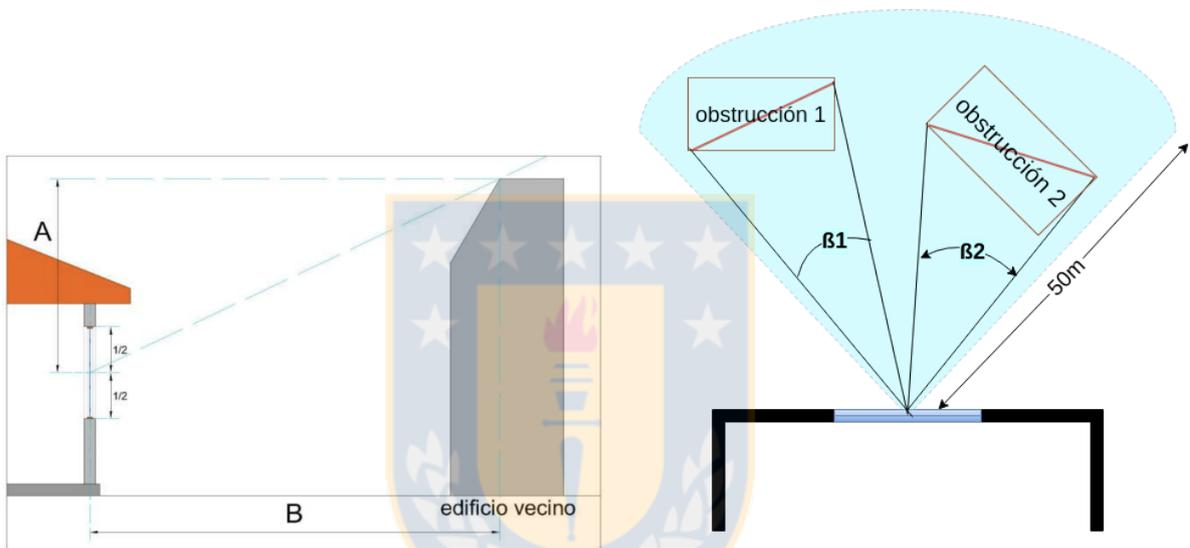


Figura 2.3: Ejemplo de las variables del FAR. A la izquierda se da un ejemplo de las distancias  $A$  y  $B$  mientras que a la derecha se da un ejemplo de la representación de dos obstrucciones, con sus respectivos ángulos  $\beta$  y la línea roja que sirve para representar la estructura de las obstrucciones que se encuentran dentro de un ángulo de  $90^\circ$  y a menos de 50 metros de distancia.

### 2.2.2. Calificación energética

Una vez calculado el balance energético total, se debe comparar el balance obtenido por la vivienda con el balance energético de una vivienda de referencia, que mantiene la misma configuración estructural y de emplazamiento que la vivienda personalizada pero toma aquellos valores mínimos de los parámetros según las normas de construcción, los cuales dependen de la zona térmica en la que se diseña la casa. En particular, la vivienda de referencia comparte las mismas obstrucciones, muros, ventanas, puertas y techos que la vivienda diseñada, pero toma los

valores límites de conductividad térmica de esos elementos. Así mismo, la vivienda de referencia puede diferir en las variables internas como la temperatura de confort, cantidad de iluminación, número de personas y aire ventilado.

Posteriormente se realiza la diferencia entre el balance obtenido y el balance de referencia, a lo que se le llama ahorro. Luego al ahorro se le asigna una letra que representa la calificación energética de la vivienda. Los rangos de ahorro por letra se muestran en la tabla 2.1.

Calificación	$\leq$	$>$
A+	$\infty$	85 %
A	85 %	70 %
B	70 %	55 %
C	55 %	40 %
D	40 %	20 %
E	20 %	10 %
F	-10 %	-35 %
G	-35 %	$-\infty$

Tabla 2.1: Rangos de calificación energética

### 2.3. Alternativas a la herramienta propuesta

La mayoría de los software utilizados para el diseño de viviendas y el cálculo de balance energético usados por los profesionales del sector tienen el inconveniente de su elevado coste. Sin embargo existen herramientas de libre acceso orientadas a proporcionar ayuda en todas las etapas del proyecto inmobiliario, las cuales se muestran junto a sus principales características en la tabla 2.2.

Nombre Herramienta	Plataformas disponibles	Ingreso de Parámetros	Incluye diseño del entorno	Otras características
Energy Plus	Disponible en Linux y Windows	Recibe archivo de entrada y entrega archivo de salida	No	Integrable con otros software
Open Studio	Disponible en Linux y Windows	Ingreso de parámetros poco eficiente	-	Cálculo de consumo de agua, calefacción y refrigeración
Synergy	Solo en Windows	Parámetros automáticos y edición 3D	Sí	Calculo de consumo de agua, calefacción y refrigeración
E-Quest	Solo en Windows	Ingreso de parámetros poco eficiente	No	Consumo eléctrico, agua y gas
Heed	Disponible en Windows y Mac	Parámetros con edición 3D	Sí	Consumo de calefacción y refrigeración
Building Design Advisor	Solo en Windows	Ingreso de parámetros poco eficiente con visualización 3D	No	Detalle de consumos y cálculo de distintos escenarios

Tabla 2.2: Herramientas gratuitas de diseño de viviendas

Si bien las herramientas de la Tabla 2.2 poseen funcionalidades muy poderosas para el cálculo de eficiencia y gastos de energía, poseen algunas falencias:

- Están centradas en el cálculo de costos de calefacción, refrigeración, electricidad, agua y otros servicios básicos
- Dejan de lado aspectos climáticos y de emplazamiento de la vivienda
- La mayoría involucra información de Estados Unidos solamente
- Ingreso de parámetros mediante archivo csv o similar resulta tedioso
- Poseen poca interacción que permita modificar variables en tiempo real
- Están orientadas a usuarios con conocimiento en temáticas de construcción y eficiencia energética

A pesar de las falencias identificadas en los softwares descritos anteriormente, estos programas suponen una herramienta muy completa que permite a diseñadores abarcar en gran detalle la

mayoría de los aspectos de las distintas etapas del proyecto, pudiendo tomar decisiones que mejoren la calidad de la vivienda en cualquiera de estas. Sin embargo, existen herramientas para un diseño conceptual, que permite obtener diseños en tiempos rápidos con aproximaciones útiles de la demanda de energía. Algunas de estas herramientas se presentan en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Herramientas de pre diseño

Herramienta	Datos de entrada	Datos de salida	Descripción
MIT Desing Advisor	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ubicación</li> <li>▪ Perfil de uso</li> <li>▪ Orientación</li> <li>▪ Superficie</li> <li>▪ Tipo de aislación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Demanda calefacción y refrigeración</li> <li>▪ Iluminación natural</li> <li>▪ Comparación de escenarios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Creada en 2009 por el Instituto de Tecnología de Massachusetts</li> <li>▪ Simulación a escala de una habitación</li> </ul>

KIPUS	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ubicación</li> <li>▪ Forma y superficie de la vivienda</li> <li>▪ Perfil de uso</li> <li>▪ Tipo de materiales de la envolvente</li> <li>▪ Tipo de combustible para calefaccionar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Demanda energética</li> <li>▪ Energía solar fotovoltaica</li> <li>▪ Evaluación de recambio de iluminación</li> <li>▪ Lista de proveedores</li> <li>▪ Mejoramiento de la eficiencia energética</li> <li>▪ Costo de mejoramiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Desarrollado en la facultad de ingeniería de la Universidad de Talca</li> <li>▪ Simulación a escala de casa aislada</li> </ul>
Home Energy Saver	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ubicación</li> <li>▪ Año de construcción</li> <li>▪ Superficie</li> <li>▪ Tipo de aislación</li> <li>▪ Tipo de combustible para calefaccionar</li> <li>▪ Costo del combustible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Costo de calefacción, refrigeración e iluminación</li> <li>▪ Costo de mejoras en la envolvente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Desarrollado por el departamento de energía de Estados Unidos</li> </ul>

Tabla 2.3: Herramientas de pre diseño

La principal falencia de las herraminetas existentes y la diferencia entre ellas y la propuesta en este trabajo, es que no se centran en el diseño bioclimático considerando variables del entorno, si no que más bien, se enfocan en obtener un cálculo de los costos de servicios básicos considerando otras variables. Además, el ingreso de parámetros en estas herramientas dificultan la visualización de los efectos en tiempo real de las distintas alternativas de diseño en la eficiencia energética de la vivienda.

Por otro lado, la información térmica considerada para el desarrollo de este software, abarca exclusivamente territorio de Chile Continental, característica que no se encuentra en otras alternativas.



## Capítulo 3

### Descripción del Sistema

A continuación se explican las características principales del software, la arquitectura que describe su funcionamiento y cómo se representan las interacciones del usuario con éste mediante un diagrama de casos de uso.

La herramienta desarrollada es un sistema web que consta de tres módulos. El primero se refiere al diseño de la morfología de la vivienda, es decir, todos aquellos parámetros de la construcción misma de la edificación, sean algunos: dimensiones de muros y ventanas, materiales de construcción utilizados en los distintos elementos, disposición de los materiales en elementos, entre otros. El segundo módulo está relacionado con el diseño del entorno de la vivienda, es decir, dónde está ubicada y qué elementos de obstrucción pueden existir alrededor de la edificación. Por último, en el módulo de visualización de resultados, se pueden obtener los valores calculados para pérdidas y aportes energéticos considerando todas las variables de ambos módulos anteriores y otras variables internas.

Tanto el módulo de morfología como el de emplazamiento incorporan una interfaz con un motor gráfico 3D y 2D respectivamente para representar la vivienda y su entorno. Una de las ventajas principales de la propuesta es la capacidad de modificar cualquier parámetro y ver en tiempo real el efecto de éste en la calificación energética.

Esta memoria de título se centra en el desarrollo del módulo de emplazamiento en el cual el usuario modela obstrucciones y la localización geográfica de la vivienda. Sin embargo ambos módulos deben interactuar, es por esto, que todas las variables, parámetros y cálculos relacionados con el diseño bioclimático no podrían ser aislados en cada módulo separadamente. Por ello, se requiere una arquitectura que permita dicha interacción, la cual es descrita en la siguiente sección.

### 3.1. Arquitectura del software

La arquitectura del software se basa en el paradigma cliente-servidor, donde existen datos persistentes almacenados en una base de datos en el servidor y son consultados por el cliente. En particular, el diseño de la arquitectura está centrado en la realización de cálculos en el cliente, consultando los datos persistentes al iniciar la aplicación, evitando enviar peticiones constantemente al servidor. Esto supone mayores requerimientos de hardware (CPU y RAM principalmente) para el usuario pero a la vez reduce el tráfico de internet y permite la ejecución de la herramienta en dispositivos con conexiones lentas y/o inestables.

Dicho lo anterior, la mayor parte del trabajo se realiza en el cliente. La arquitectura que permite la interacción entre los distintos módulos consiste en una “conversación” constante entre ellos, de manera que, al modificar un parámetro en el módulo de morfología, éste debe ser reconocido por el módulo de emplazamiento y viceversa.

Además, cada variable modificada debe gatillar un nuevo cálculo del balance energético, actualizando los resultados conforme el usuario cambie el diseño de la vivienda. En la Figura 3.1 se muestra un diagrama que explica la interacción entre los módulos y cómo se realiza el cálculo de balance energético.

En el diagrama vemos cómo al crear o borrar paredes y/o ventanas en el módulo de morfología, se debe actualizar la información correspondiente a dichos elementos encontrada en el módulo de emplazamiento porque es en éste módulo donde se encuentran las obstrucciones que tienen efecto sobre las ventanas. De la misma forma, si se han creado obstrucciones, la información de ellas debe ser actualizada en el módulo de morfología, manteniendo así, los datos comunes a ambos módulos, actualizados en todo momento. Lo mismo ocurre con el cambio de orientación de la vivienda.

Por otra parte, cualquier modificación de parámetros debe actualizar tanto la radiación solar recibida por los muros como el factor de asoleamiento de las ventanas, calculando nuevamente el balance energético y actualizando el panel de resultados.

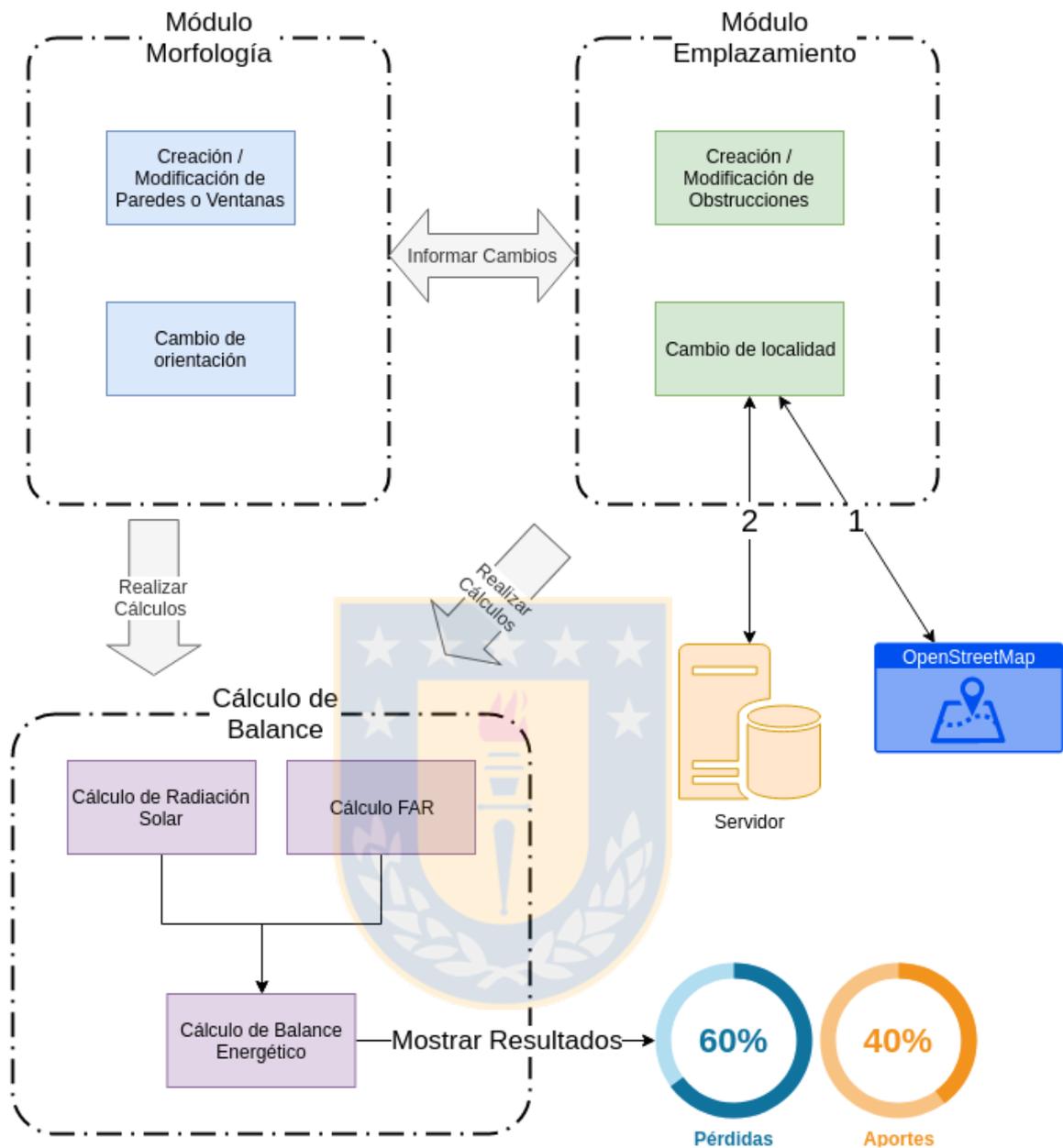


Figura 3.1: Interacción de módulos en front-end. El diagrama muestra cómo se relacionan los módulos de morfología y emplazamiento al modificarse algún parámetro.

En el diagrama de la Figura anterior, se muestra además la interacción entre el front-end y el back-end, dado que al cambiar la localidad donde se ubica la vivienda, es necesario identificar las coordenadas seleccionadas con la comuna asociada, enviando una petición al servidor como se muestra en la Figura 3.2.

En la Figura podemos ver con números del 1 al 6, la secuencia del flujo de una petición http realizada por el cliente hacia el servidor. La petición se realiza a una API que recibe dicha petición (1) y sirve de enlace con el controlador correspondiente a la consulta que se desea hacer (2). En el controlador se realiza la consulta a la base de datos instanciando los modelos que corresponda (3), los cuales están conectados con las tablas de la base de datos (4) y son devueltos hacia el controlador (5) para ser retornados en formato JSON de vuelta hacia el cliente (6).

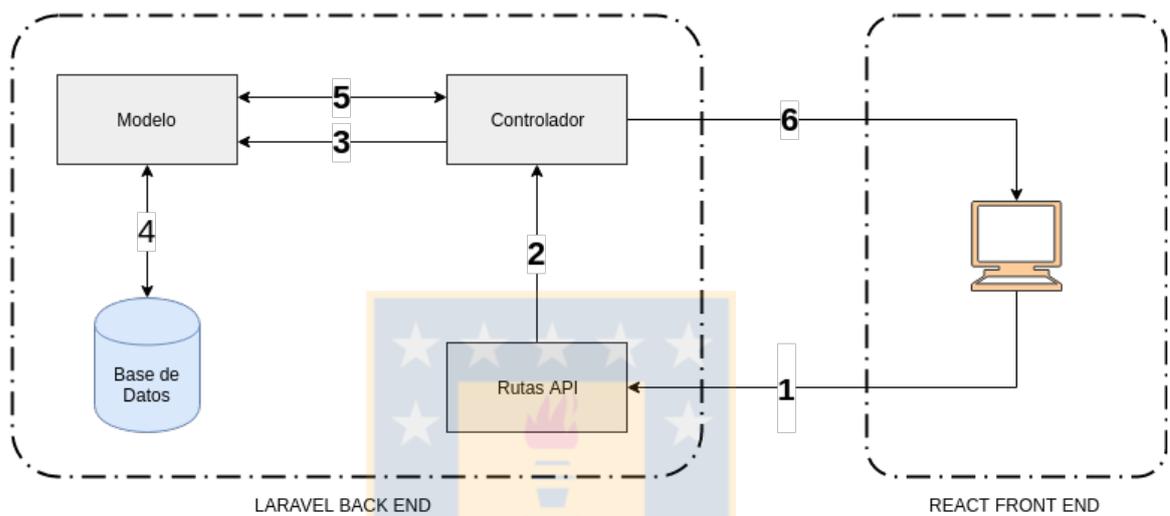


Figura 3.2: Arquitectura de la interacción cliente-servidor. Los numeros representan el flujo de una petición hecha por parte del cliente.

### 3.2. Requerimientos desarrollados

En primera instancia se realizó una captura de requerimientos iniciales, a los cuales posteriormente se le agregaron nuevos requerimientos, se modificaron algunos y se eliminaron otros. Los requerimientos finalmente desarrollados se encuentran en la siguiente lista.

- Módulo Emplazamiento
  1. Seleccionar localidad
  2. Mostrar información climática y geográfica
  3. Diseño del emplazamiento
    - a) Agregar, editar y eliminar obstrucciones

b) Obtener factor de accesibilidad de las ventanas

- Módulo Morfología

1. Mostrar información solar (camino solar y horas de sol recibidas)
2. Editar la configuración de tipo de ventanas y marcos
3. Rotar orientación de la vivienda

- Módulo Resultados

1. Visualizar balance energético
  - a) Ver gráficos de pérdidas y ganancias
  - b) Ver balance energético
  - c) Ver calificación energética con respecto a vivienda de referencia

- Otros

1. Modificar variables internas (cantidad de personas, horas de iluminación, temperatura de confort y volumen de aire ventilado)

### 3.3. Casos de Uso

La manera en que los requerimientos son satisfechos y cómo el usuario interactúa con las posibles funcionalidades del sistema se representa en el diagrama de casos de uso de la Figura 3.3. Allí se puede ver con colores los casos de uso asociados a los distintos módulos de la aplicación. En azul se ven las funcionalidades asociadas a la construcción, edición y configuración de morfología, en verde aquellos requerimientos asociados al diseño del emplazamiento, en rojo la configuración de variables internas y por último en amarillo la visualización de los cálculos del balance energético.

Cabe destacar la utilización de OpenStreetMap (OSM) como sistema externo que provee información geográfica permitiendo al usuario seleccionar una localidad en el mapa. Sin embargo, aunque OSM ofrece información de todo el mundo, las localidades que son consideradas en esta aplicación corresponden exclusivamente al territorio chileno.

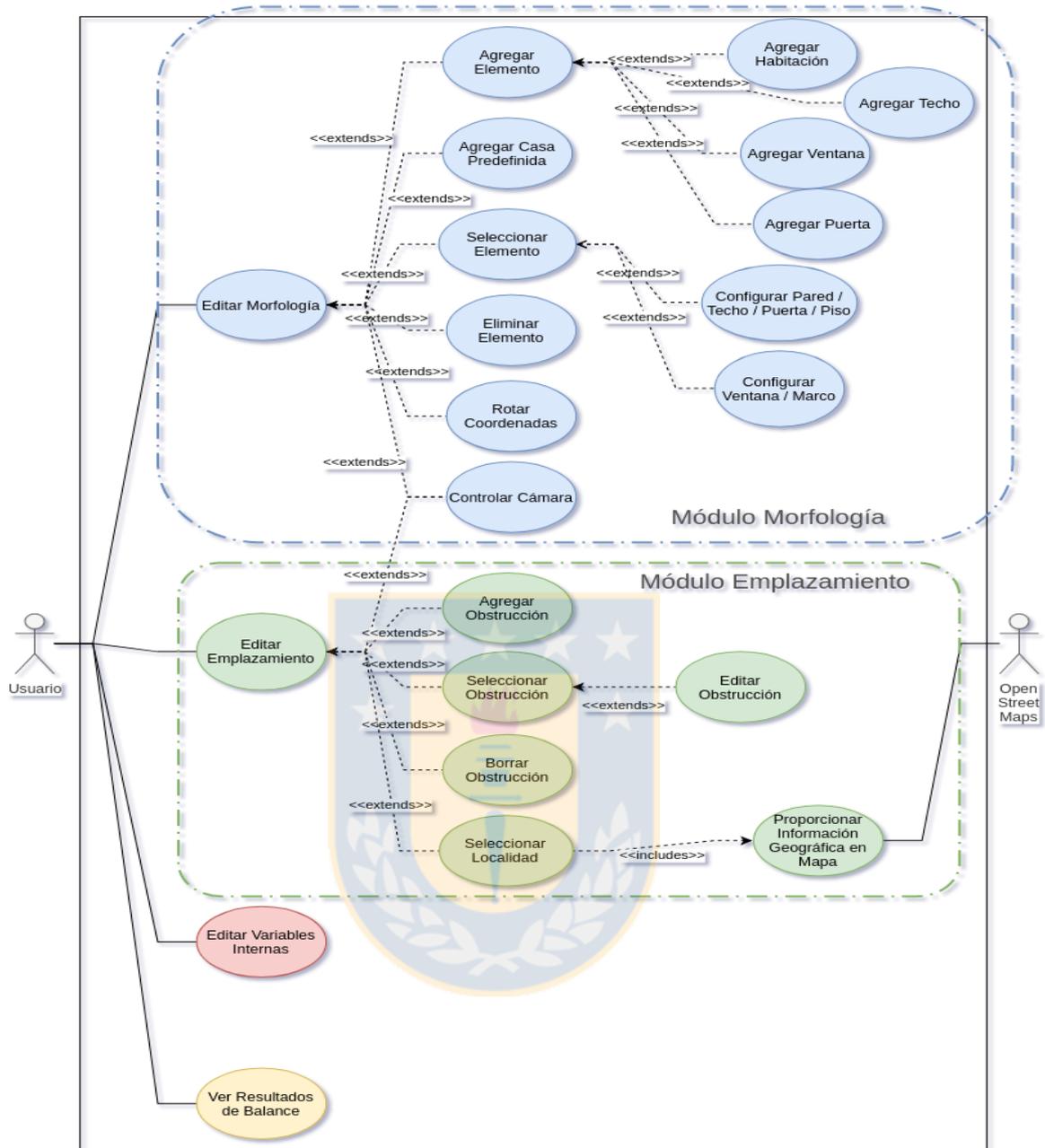


Figura 3.3: Diagrama de casos de uso

## Capítulo 4

### Diseño del Sistema

En este capítulo se describe la representación de los conceptos de diseño bioclimático implementados en el sistema. Se definen los componentes que fueron desarrollados en esta memoria en los tres módulos principales (emplazamiento, morfología y resultados). Por último se detallan algunos aspectos del diseño de interfaz y cómo ésta cambió durante el proceso de desarrollo hasta llegar al prototipo final.

#### 4.1. Módulo de Emplazamiento

El módulo de emplazamiento cumple dos funciones principales:

1. Diseñar el entorno de la vivienda, dibujando la posición y altura de las obstrucciones (edificios, cerros, casas)
2. Seleccionar la comuna en la que se construirá la vivienda.

El diseño del entorno se realiza agregando obstrucciones alrededor de la vivienda. Para representar el entorno se utiliza una vista de planta en la que el punto central del plano representa la ubicación de la vivienda y alrededor se trazan líneas que representan las obstrucciones (ver Figura 2.3). En la Figura 4.1 se muestra el diseño de obstrucciones en la etapa de planteamiento del proyecto.

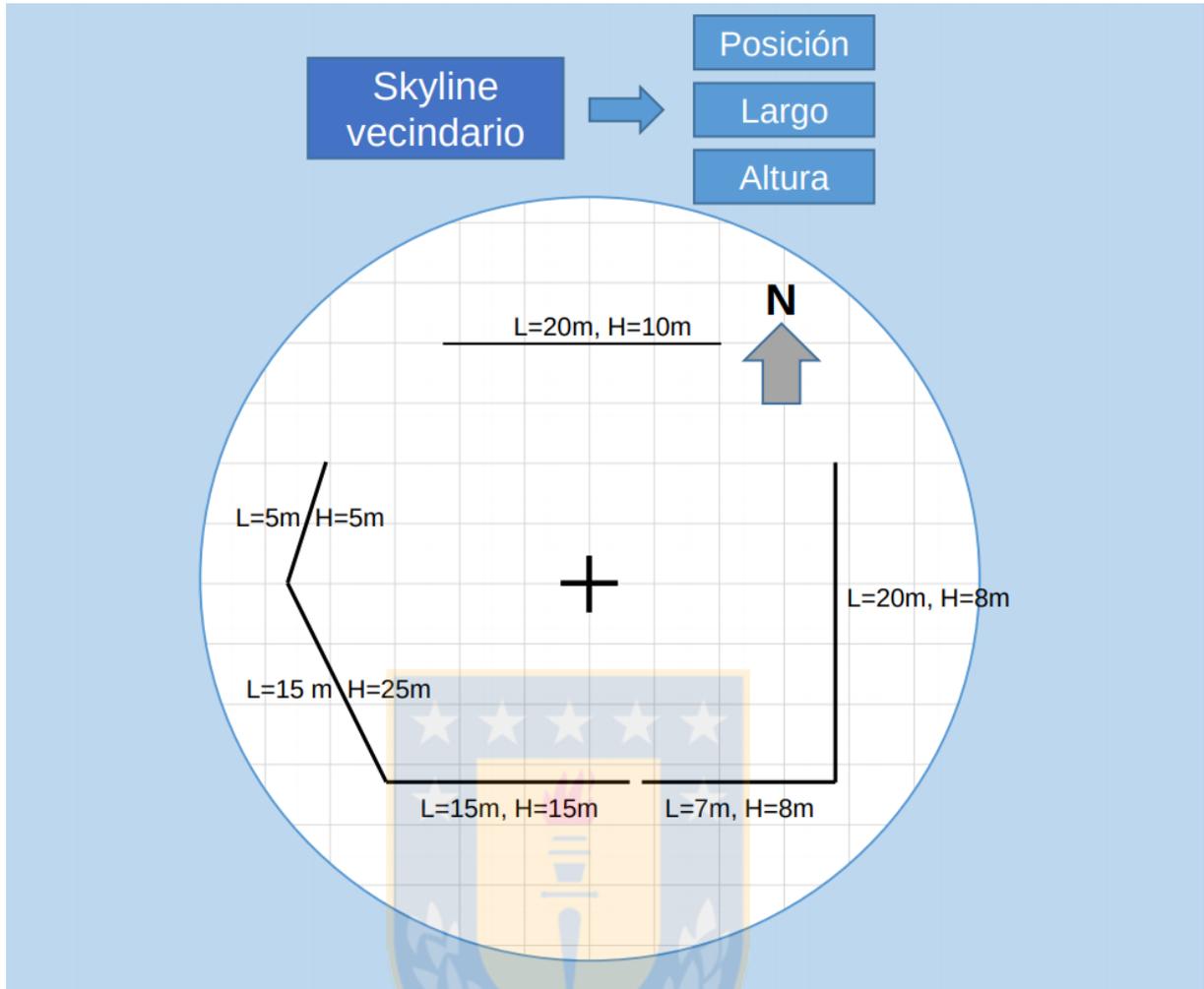


Figura 4.1: Diseño del entorno de la vivienda en la etapa de planteamiento del proyecto [18].

La selección de la comuna se lleva a cabo seleccionando un punto en el mapa de Open Street Maps. Por otra parte, la base de datos tiene almacenadas todas las comunas de Chile y sus geometrías. De esta manera, se puede comprobar si el punto seleccionado en el mapa pertenece a una comuna indexada o no. Una vez seleccionada la comuna el usuario tiene acceso a la información térmica de la zona, es decir, las temperaturas y radiaciones promedio mensuales. En la Figura 4.2 se muestra el diseño de la selección de localidad en la etapa de planteamiento del proyecto.

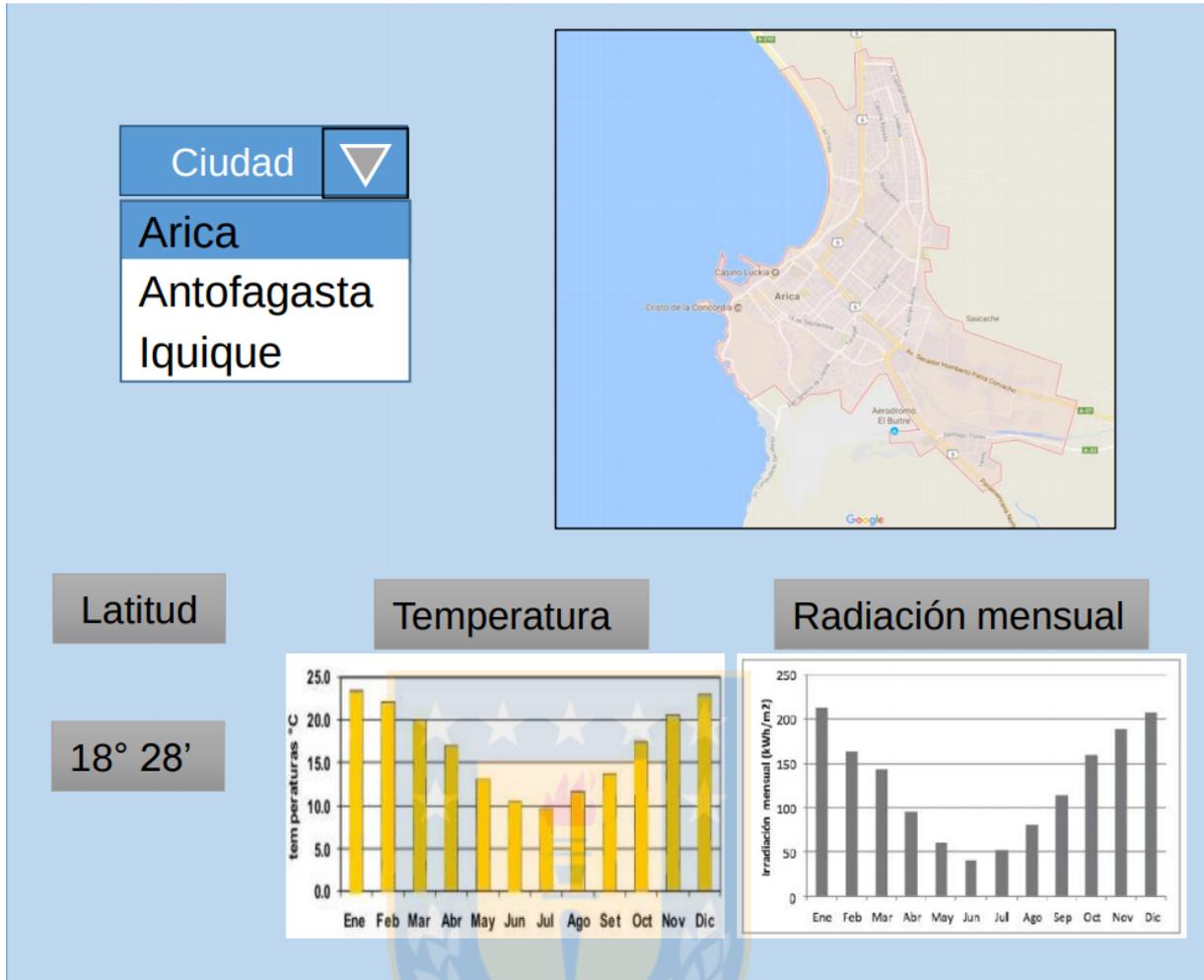


Figura 4.2: Diseño de la selección de localidad del módulo emplazamiento en la etapa de planeamiento del proyecto [18].

#### 4.2. Módulo de Morfología

El módulo de morfología tiene como funcionalidad principal, el diseño estructural de la vivienda, es decir, su tipología, cuántas habitaciones tiene, los materiales con que será construida, la orientación de las ventanas, etc. Sin embargo, estas funcionalidades escapan de este trabajo, pero aún así, las variables modificadas en el módulo emplazamiento, naturalmente influyen en la morfología.

En particular, la localidad seleccionada determina la cantidad de radiación y luz solar que reciben los muros. Es por ello que en el módulo de morfología existen elementos compartidos

con el módulo de emplazamiento y estos son:

- Información de las obstrucciones asociada a las ventanas
- Información de radiación que reciben las paredes
- Trazado de la trayectoria solar durante el año
- Rotación de la vivienda

La información de las obstrucciones que reciben las ventanas y la radiación solar que reciben las paredes se describió en la sección 2. Por otro lado, la trayectoria solar se define como el camino que recorre el sol durante el año, desde el solsticio de invierno (21 de junio) hasta el solsticio de verano (21 de diciembre). El camino solar describe la posición del sol en todo momento, es decir, el ángulo de altitud respecto al suelo y con respecto a los puntos cardinales (azimuth) [15].

Para describir la trayectoria solar se calculó la posición del sol cada una hora entre ambos solsticios y ésta fue mapeada al entorno 3D del módulo de morfología. En la Figura 4.3 se muestra el camino solar del día de ambos solsticios.

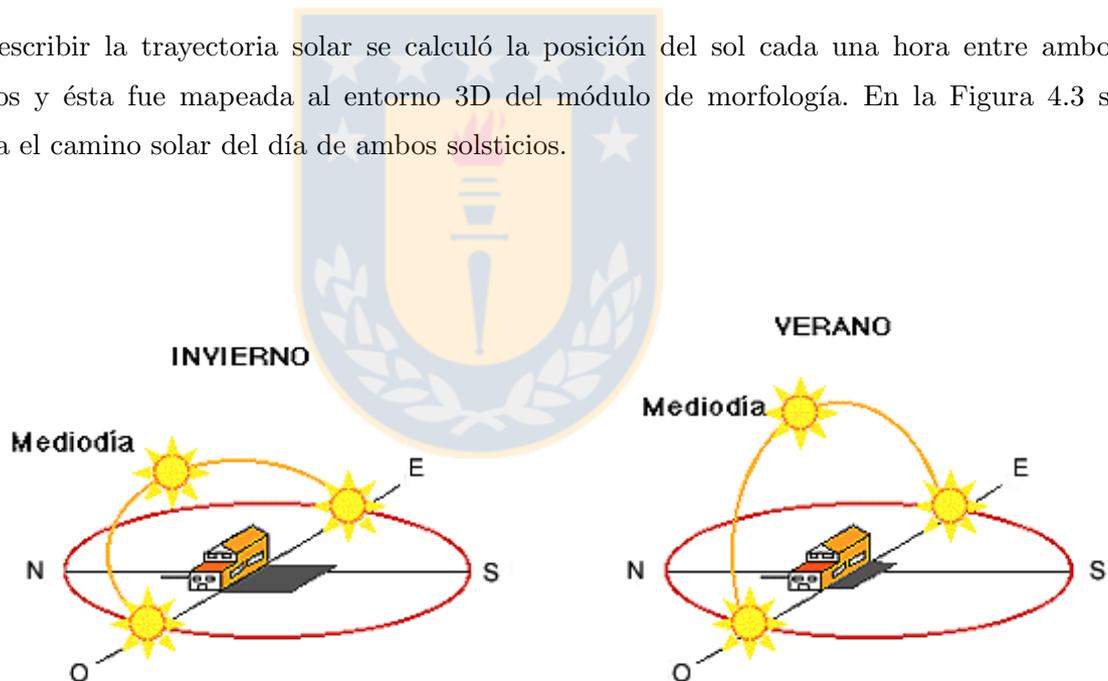


Figura 4.3: Ejemplo de camino solar en solsticio de invierno y verano. [14]

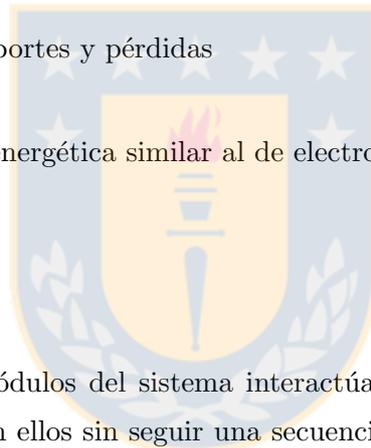
Por último, la rotación de la vivienda se llevó a cabo rotando el sistema de referencia donde se ubica la construcción. El diseño de la vivienda se realiza dentro de un círculo con los puntos cardinales (como en la Figura 4.3) y para cambiar la orientación se rota este círculo ubicado en el plano.

### 4.3. Módulo de Resultados

El objetivo del sistema es entregar al usuario un balance energético con las ganancias, pérdidas y además la calificación energética de la vivienda que está diseñando. La ventaja que ofrece el sistema es poder ver los cambios en el balance de manera instantánea al modificar las variables de diseño. Por ello, se planificó contar con un panel de resultados que estuviese disponible siempre que el usuario lo desee.

En este panel se incluye:

- Balance energético total
- Área y volumen de la vivienda
- Gráficos de torta con aportes y pérdidas
- Gráfico de calificación energética similar al de electrodomésticos

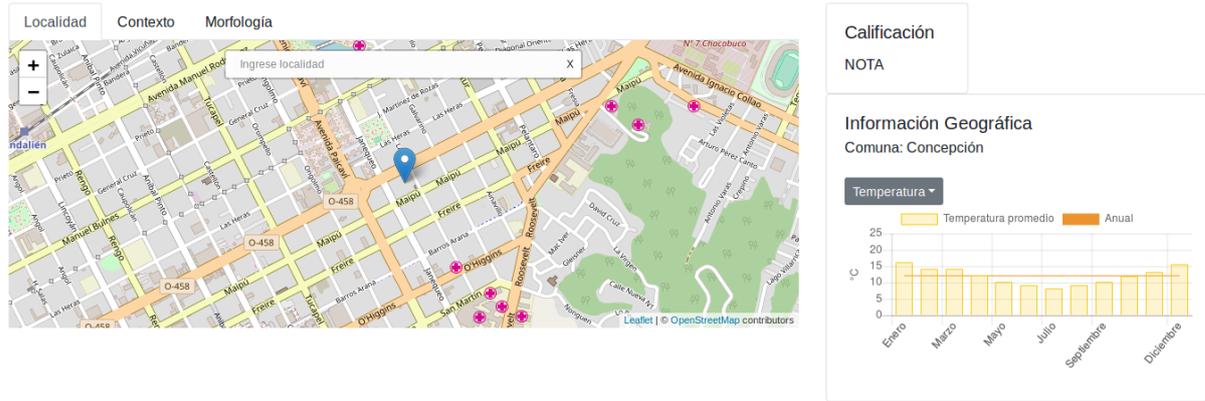


### 4.4. Diseño de Interfaz

Se ha descrito que los módulos del sistema interactúan constantemente y por su parte el usuario puede interactuar con ellos sin seguir una secuencia lineal de pasos. Es por esto que la interfaz del sistema debe proveer un acceso fácil y rápido a los diferentes módulos.

A lo largo del proceso de desarrollo la interfaz sufrió varios cambios en cuanto a la organización y distribución de los elementos, adaptándose conforme iban apareciendo nuevos requerimientos, resaltando elementos de mayor prioridad y tomando referencias de otras aplicaciones similares.

En la Figura 4.4 se muestra un diseño de interfaz de la etapa temprana del proyecto, donde se definió una distribución de módulos por pestañas, un panel inferior con herramientas de edición y paneles laterales con información relevante. En esta etapa, con fecha Junio de 2018, se tenía una interfaz que contenía las funcionalidades asociadas al cambio de localidad en una pestaña separada del módulo de emplazamiento, el cual en ese momento se llamaba “contexto”.



PANEL HERRAMIENTAS

Figura 4.4: Versión prematura de interfaz con pestañas (Junio 2018)

La idea de este diseño de interfaz era poder intercambiar entre las pestañas para acceder a los distintos módulos de manera rápida. Sin embargo, las funcionalidades no estaban correctamente agrupadas y no se priorizaba el espacio en la pantalla. Para mejorar el acceso a las funcionalidades, se realizó una re-estructuración de los elementos, agrupando la información geográfica con el diseño de emplazamiento, resultando en la interfaz mostrada en la Figura 4.6. En esta Figura vemos que la selección de localidad, la información térmica de la comuna y el entorno 3D están agrupados bajo la pestaña “Contexto” y la barra de herramientas se encuentra en la parte superior de la pantalla. La Figura muestra un mockup previo a la implementación a la izquierda, y en la imagen de la derecha el diseño implementado.

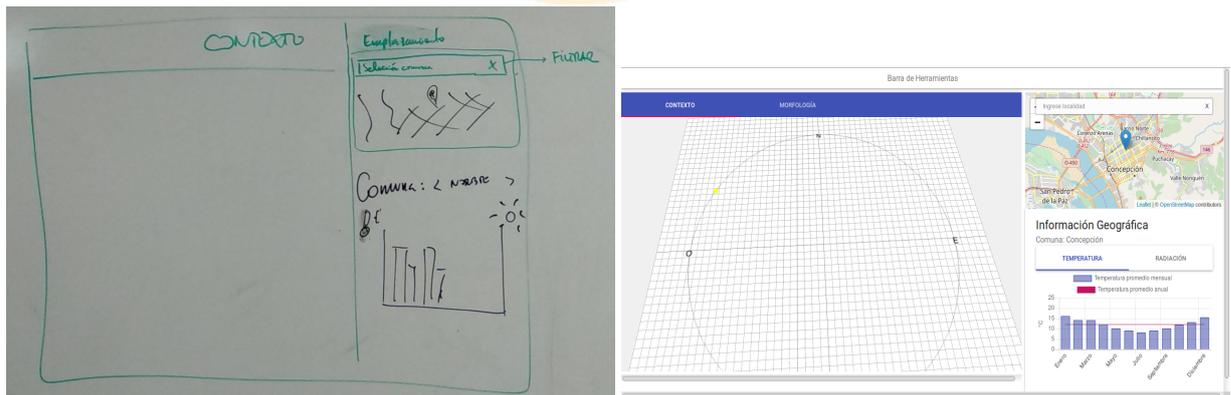


Figura 4.6: Segundo prototipo de interfaz con elementos agrupados. A la izquierda se ve el mockup del prototipo y a la derecha su implementación.

Un tercer prototipo muy similar a la propuesta final de la interfaz consistía en mantener como elemento central los entornos 3D y 2D de morfología y emplazamiento mientras que al costado derecho se encontrarían como menús desplegables la configuración de elementos y la información de localidad. Por el lado izquierdo se tendría un dashboard con los gráficos del resultado del balance energético y un panel de calificación energética similar al que se usa para la calificación de electrodomésticos.

En la Figura 4.8 se muestra a la izquierda el mockup del diseño descrito en el párrafo anterior y la imagen del lado derecho muestra el resultado de la implementación final.

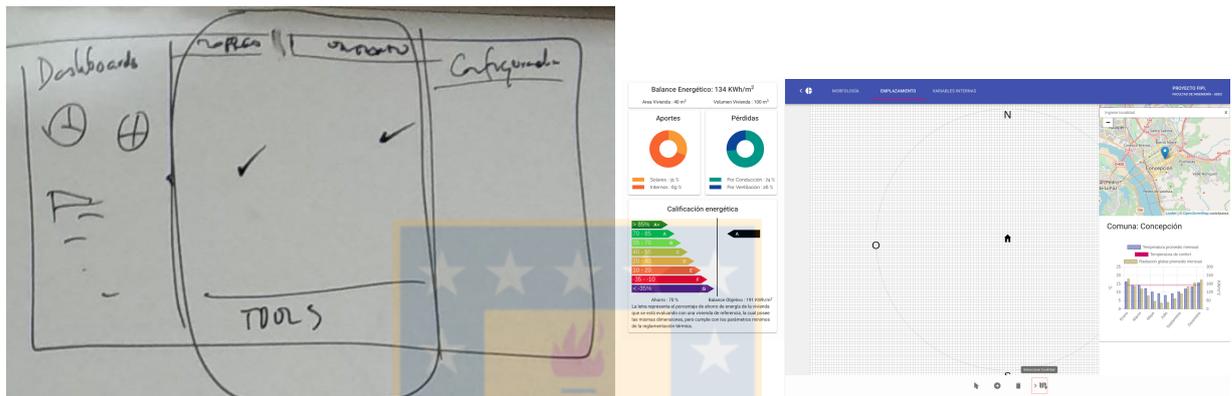


Figura 4.8: Mockup del tercer prototipo de interfaz (izquierda) y su implementación (derecha).

## Capítulo 5

### Implementación de la solución

En este capítulo se describen las herramientas utilizadas en el desarrollo del trabajo y sus principales características junto con el modelo de la base de datos utilizada.

#### 5.1. Herramientas utilizadas

Se decidió el desarrollo de una aplicación web ya que ésta podría ser ejecutada en un navegador en cualquier plataforma. Además permite el acceso instantáneo a la herramienta sin instalar ni descargar archivos.

El desarrollo de esta aplicación web fue realizado mediante la utilización de diferentes herramientas, frameworks y bibliotecas. En esta sección se discuten las principales herramientas utilizadas y su función. Cabe destacar que se realizó un recuento de herramientas similares y se escogieron las siguientes debido a las razones que a continuación se indican.

1. **Laravel Framework:** Este framework permite el desarrollo de una aplicación web considerando tanto el backend como el frontend. Permite la integración con otros framework de frontend y provee un robusto componente para el desarrollo de bases de datos SQL[19], funcionando bajo el patrón modelo vista controlador (MVC). Además posee una documentación muy detallada[9] y simple a la vez, que en conjunto con una de las comunidades más grandes en el contexto de frameworks de desarrollo web, ofrece soporte para la solución de errores y la integración con muchas otras bibliotecas externas gracias a extensiones hechas por la misma comunidad.
2. **React Framework:** Es un framework de frontend para el desarrollo de aplicaciones web. Creado y utilizado por Facebook, permite la creación de una interfaz de usuario modular y la programación de componentes complejos sin perder rendimiento[21][12]. Es utilizado por más de 1400 sitios incluyendo Netflix [3].
3. **THREEJS:** Es un motor gráfico 3D liviano y con bajo nivel de complejidad, convirtiéndose en la biblioteca con más usuarios a lo largo del mundo[1]. Además posee una detallada

documentación con demostraciones de los distintos elementos que se pueden crear y un catálogo de aplicaciones hechas con él[2].

## 5.2. Modelo de datos

El sistema cuenta con información persistente que debe ser consultada. Para almacenar dicha información se hizo uso del framework Laravel, creando una base de datos en MySQL que guarda datos de materiales utilizables en elementos estructurales de la vivienda y datos de temperatura y radiación por comuna, los cuales fueron obtenidos de parte de profesionales de ingeniería civil para posteriormente realizar un proceso de limpieza y formateo para su ingreso a la base de datos. En particular los datos proporcionados fueron:

- Materiales de piso, techo, muros y puertas junto con sus propiedades
- Tipos de ventanas y sus propiedades
- Tipos de marcos de ventanas y sus propiedades
- Temperaturas promedio mensuales por comuna
- Radiaciones promedio mensuales por comuna
- Límites de parámetros de materiales por zona térmica

El modelo utilizado está representado en el diagrama de la Figura 5.2 donde se muestran las entidades de la base de datos. Se tienen las comunas de Chile asociadas a las temperaturas y radiaciones promedio mensuales. Además se guarda la geometría de la comuna para realizar consultas espaciales, es decir, verificar a qué comuna corresponde un punto seleccionado en el mapa y por último se tienen las entidades asociadas a materiales de la vivienda y sus propiedades. Similar a las relaciones entre materiales, sus tipos y propiedades, se almacenan materiales de ventanas y marcos, sin embargo, por simplicidad no se muestran en la Figura 5.2 y se encuentran en el anexo de este informe.

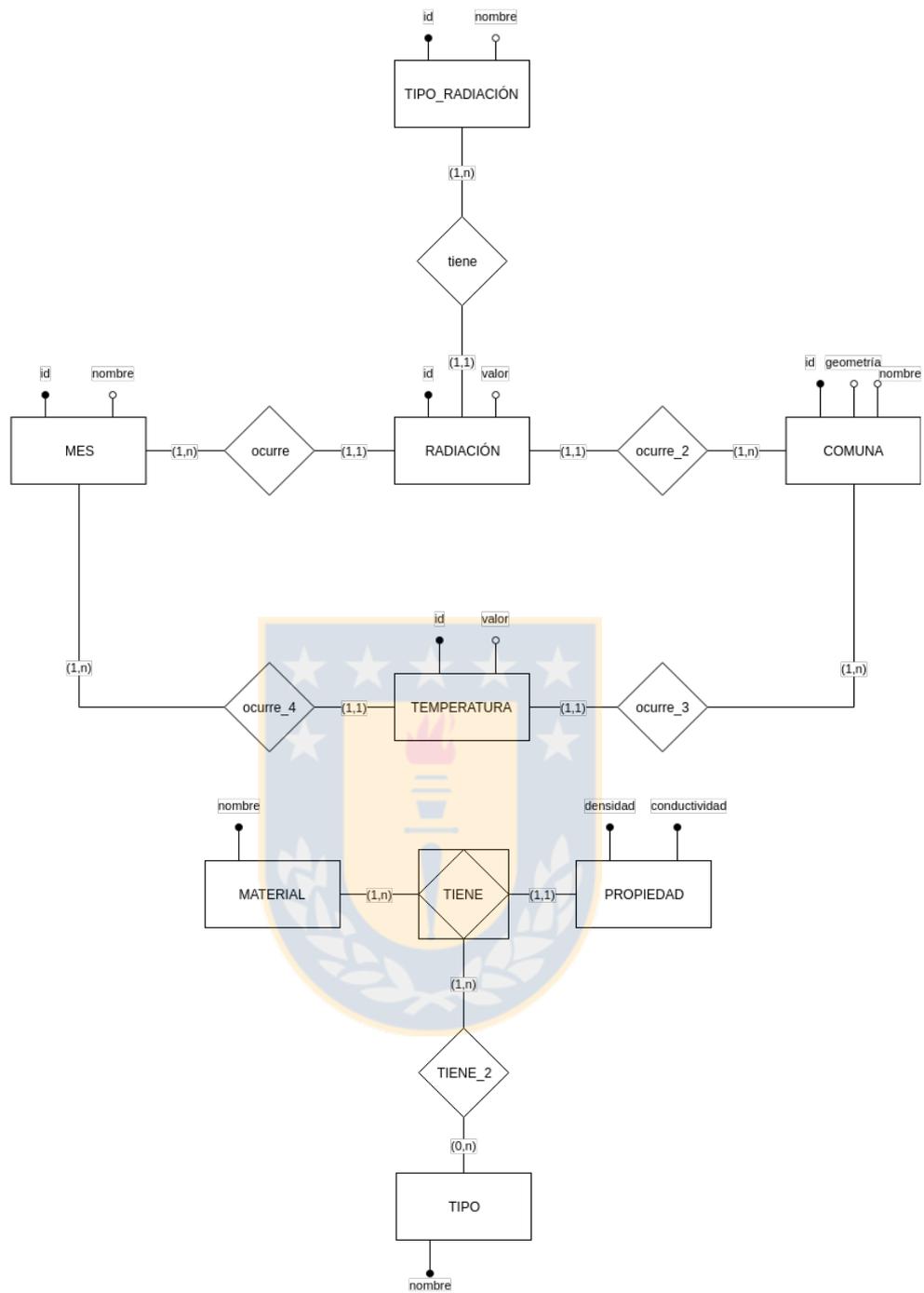


Figura 5.2: Parte del modelo Entidad-Relación de la base de datos del sistema. El resto del diagrama se encuentra en el anexo de este informe.

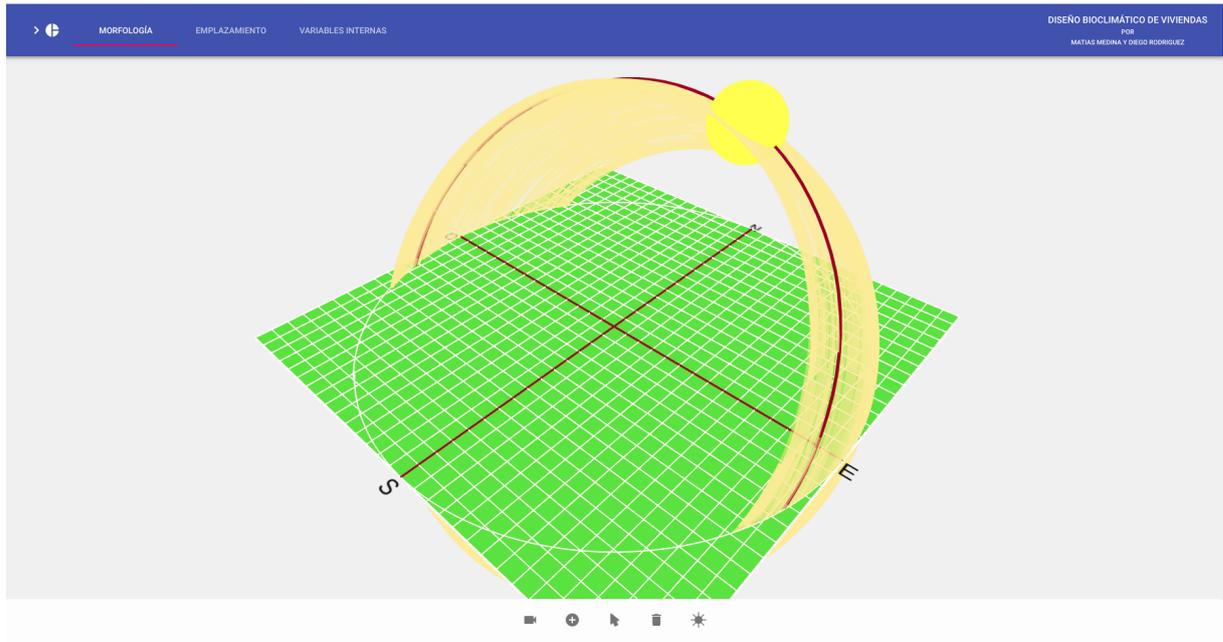


Figura 5.3: Vista inicial del sistema

### 5.3. Vistas principales de la implementación

Hasta este punto del informe se han descrito las características principales del sistema y los elementos que componen la interfaz gráfica. En esta sección se muestra, a través de capturas de pantalla, las funcionalidades desarrolladas en este trabajo en el prototipo final implementado. Cabe destacar que el sistema se encuentra disponible en el link <https://bioclimapp.host>.

En primer lugar, en la Figura 5.3 se muestra la vista principal de la aplicación. En ella se puede ver que por defecto, el sistema se inicia con el módulo de morfología y con la trayectoria solar como único elemento visible en el plano. La posición actual del sol se representa con una esfera amarilla y la trayectoria solar del día seleccionado (por defecto el día actual) se muestra con la línea roja, mientras que el resto del año se representa con líneas amarillas. A continuación el usuario podría comenzar a diseñar la estructura de la vivienda o pasar a diseñar el entorno, cambiando la localidad o agregando obstrucciones. La Figura 5.4 muestra el módulo de emplazamiento con el panel de cambio de localidad al lado derecho y el entorno 2D con la agregación de dos obstrucciones, al norte y al oeste de la vivienda. Las líneas que representan las obstrucciones en la Figura 5.4 se realizan primero seleccionando el botón para agregar en la barra de herramientas en la parte inferior. Luego, con el mouse se hace clic y se arrastra en la dirección que se quiere agregar la obstrucción. Además, cuando las obstrucciones provocan algún

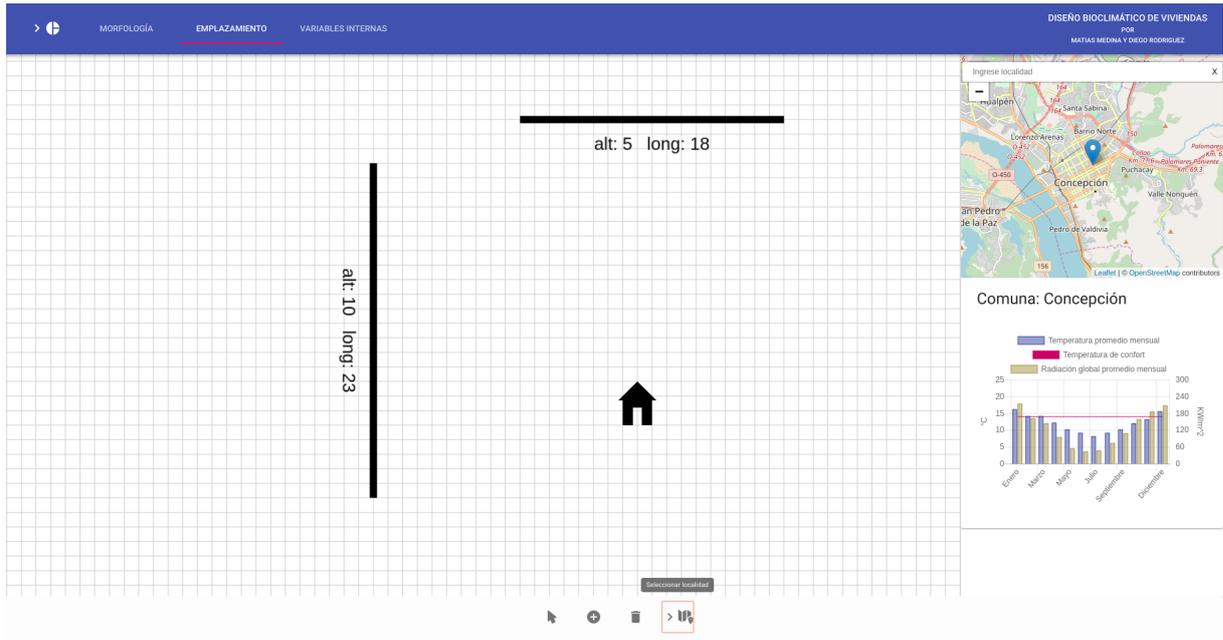


Figura 5.4: Vista del emplazamiento agregando obstrucciones y visualizando información térmica de la localidad seleccionada (por defecto Concepción).

efecto sobre una ventana existente en el módulo de morfología, éstas cambian de color a rojo como en la Figura 5.5. La Figura 5.4 muestra también el panel de selección de localidad. En este panel, se selecciona un punto en el mapa de OSM y en la parte inferior del panel se despliega la información térmica de la comuna seleccionada. En la Figura 5.6, se muestra en mayor detalle el contenido del panel de selección de localidad. Posteriormente, de vuelta en la pestaña del módulo de morfología, la Figura 5.7 muestra que se ha agregado una casa predefinida y se ha seleccionado una ventana para cambiar su configuración. Al seleccionar una ventana se abre el panel de edición de la ventana al lado derecho. En la Figura 5.7 se puede apreciar también el dashboard con los resultados del balance al lado izquierdo. En este panel se encuentra el balance energético total, el área y volumen de la vivienda, los aportes solares e internos, las pérdidas por conducción y por ventilación y por último la calificación energética, en este caso, con nota B. El detalle del dashboard se puede ver en la Figura 5.8. Por otra parte, la figura 5.7 muestra también el panel de configuración de una ventana. En este panel se muestra información de obstrucciones asociadas a esa ventana y además se pueden cambiar el tipo de vidrio y del marco que utilizará la ventana seleccionada, como se puede ver en detalle en la figura 5.9. En el módulo de morfología, además se puede rotar el sistema de referencia. Como se ha visto en las capturas de pantalla del sistema, el plano donde se diseña la vivienda cuenta con una circunferencia con

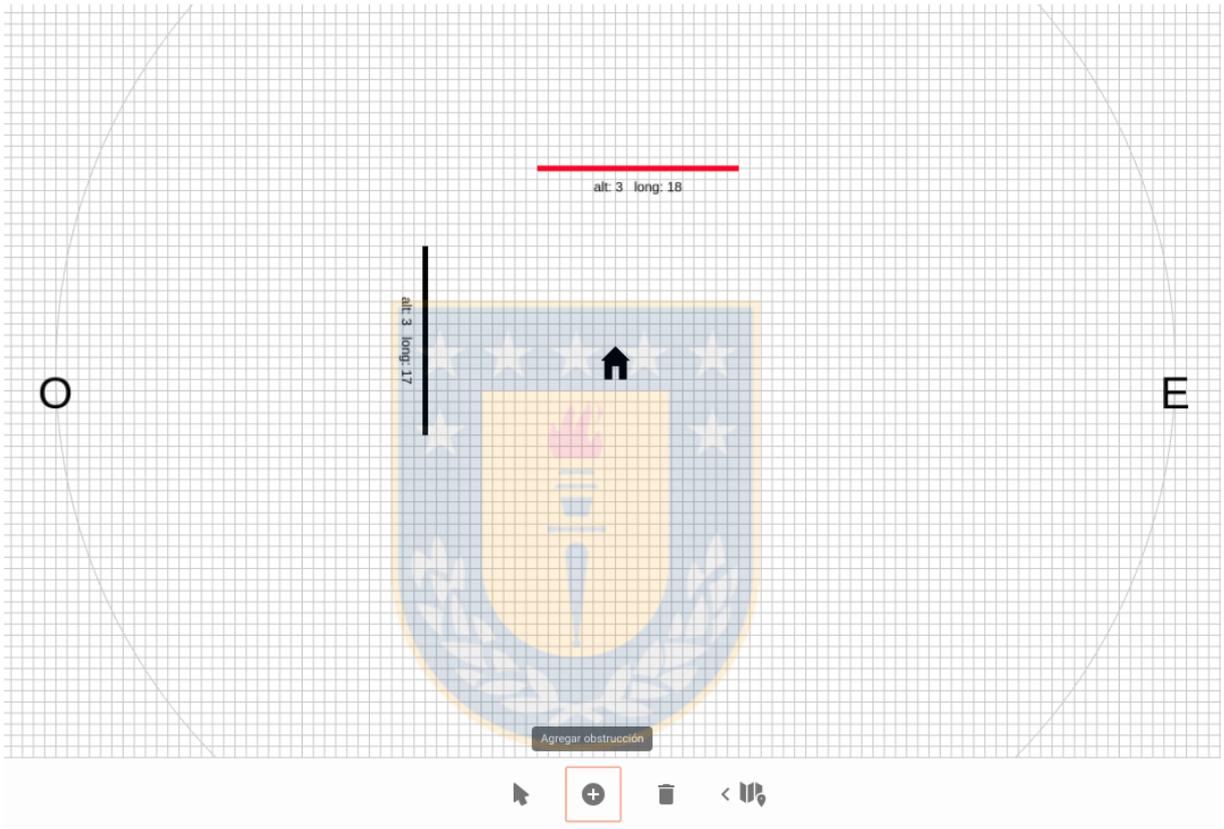


Figura 5.5: Vista del emplazamiento con obstrucción norte produciendo efecto sobre ventanas.



Figura 5.6: Vista del panel de localidad después de seleccionar la comuna de Concepción.

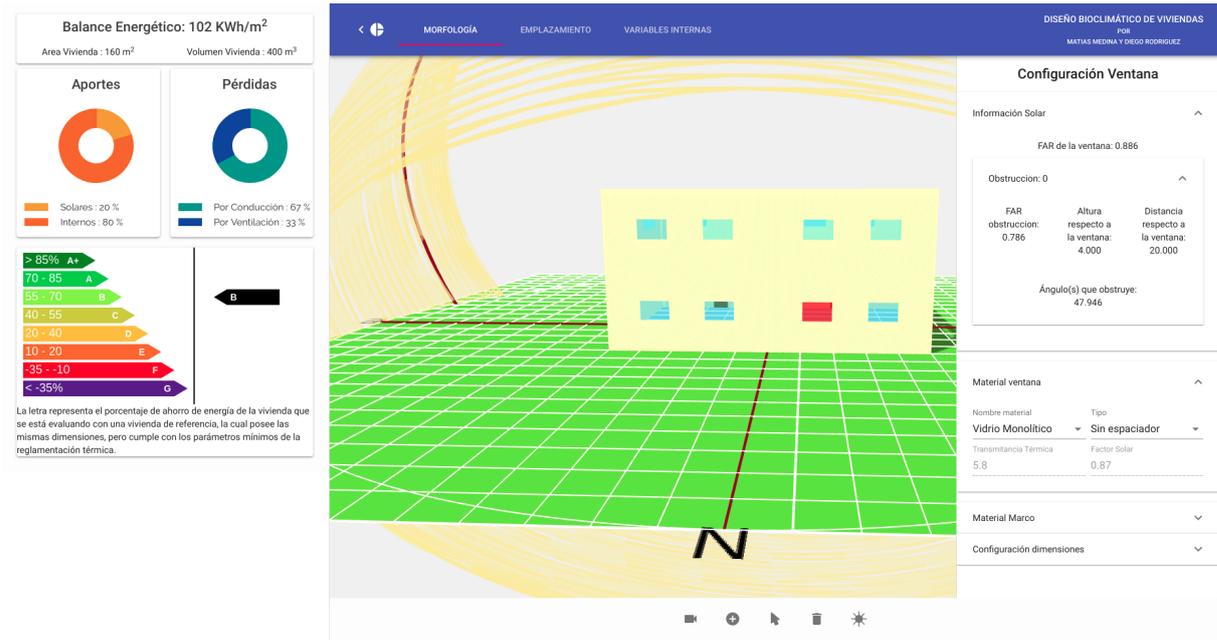


Figura 5.7: Vista de morfología al seleccionar una ventana

los puntos cardinales. En la barra de herramientas de la parte inferior, el botón con el ícono del sol posee la opción de rotación. Luego arrastrando el mouse se puede girar la circunferencia mencionada, lo cual genera un nuevo cálculo del balance energético actualizando también el panel de resultados. En la Figura 5.11 ve el ejemplo de la rotación en 90° en sentido horario. La imagen de la izquierda muestra el plano por defecto y luego a la derecha se ve el resultado de la rotación. La última funcionalidad desarrollada corresponde al cambio de hora y fecha que muestra el camino solar. En la barra de herramientas inferior se puede cambiar tanto el día resaltado en el camino solar como la hora de la posición del sol. En la Figura 5.12 se muestra el cambio de fecha al solsticio de invierno a las 12:31 horas en la localidad de Punta Arenas.

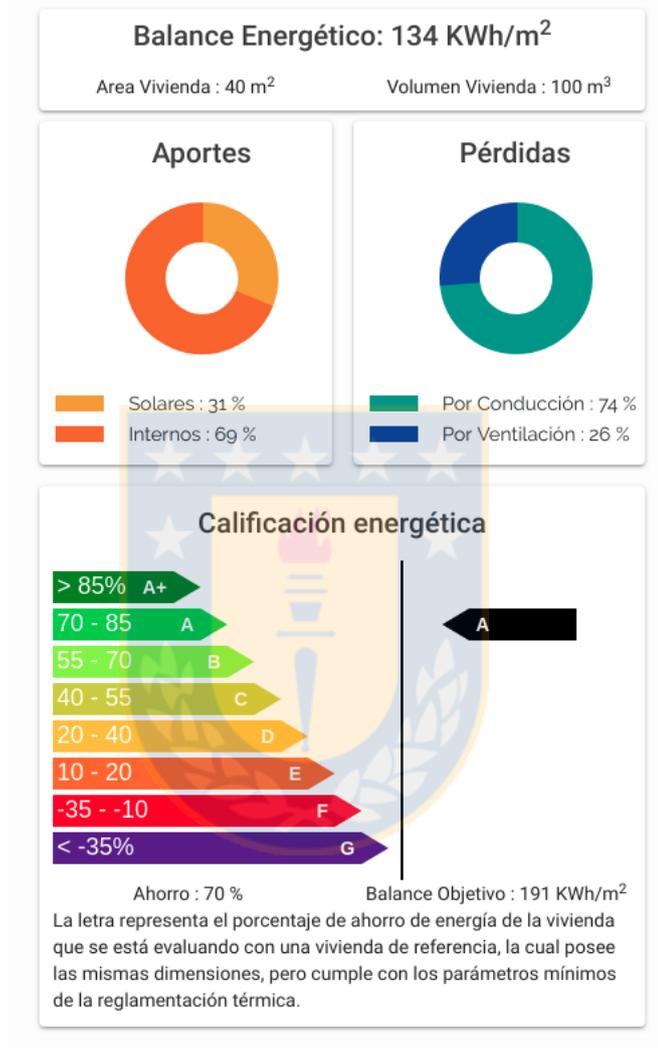


Figura 5.8: Vista del panel de resultados.

### Configuración Ventana

---

Información Solar ^

FAR de la ventana: 0.928

Obstruccion: 0 ^

FAR	Altura	Distancia
obstruccion:	respecto a	respecto a
0.875	la ventana:	la ventana:
	2.000	18.000

Ángulo(s) que obstruye:  
51.930

---

Material ventana ^

Nombre material	Tipo
Vidrio Monolítico <span style="float: right;">v</span>	Sin espaciador <span style="float: right;">v</span>
Transmitancia Térmica	Factor Solar
5.8	0.87

---

Material Marco v

---

Configuración dimensiones v

---

Figura 5.9: Vista del panel de configuración de ventanas.

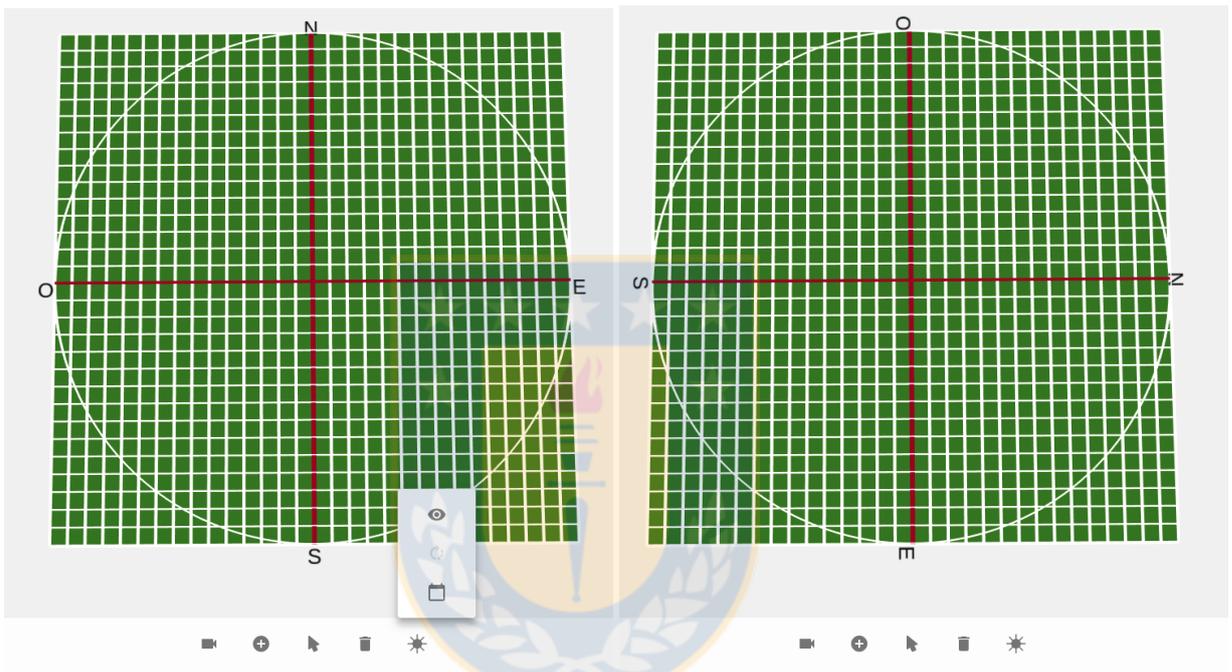


Figura 5.11: Ejemplo de rotación del sistema de referencia. A la izquierda se ve el plano por defecto y a la derecha después de rotar  $90^\circ$

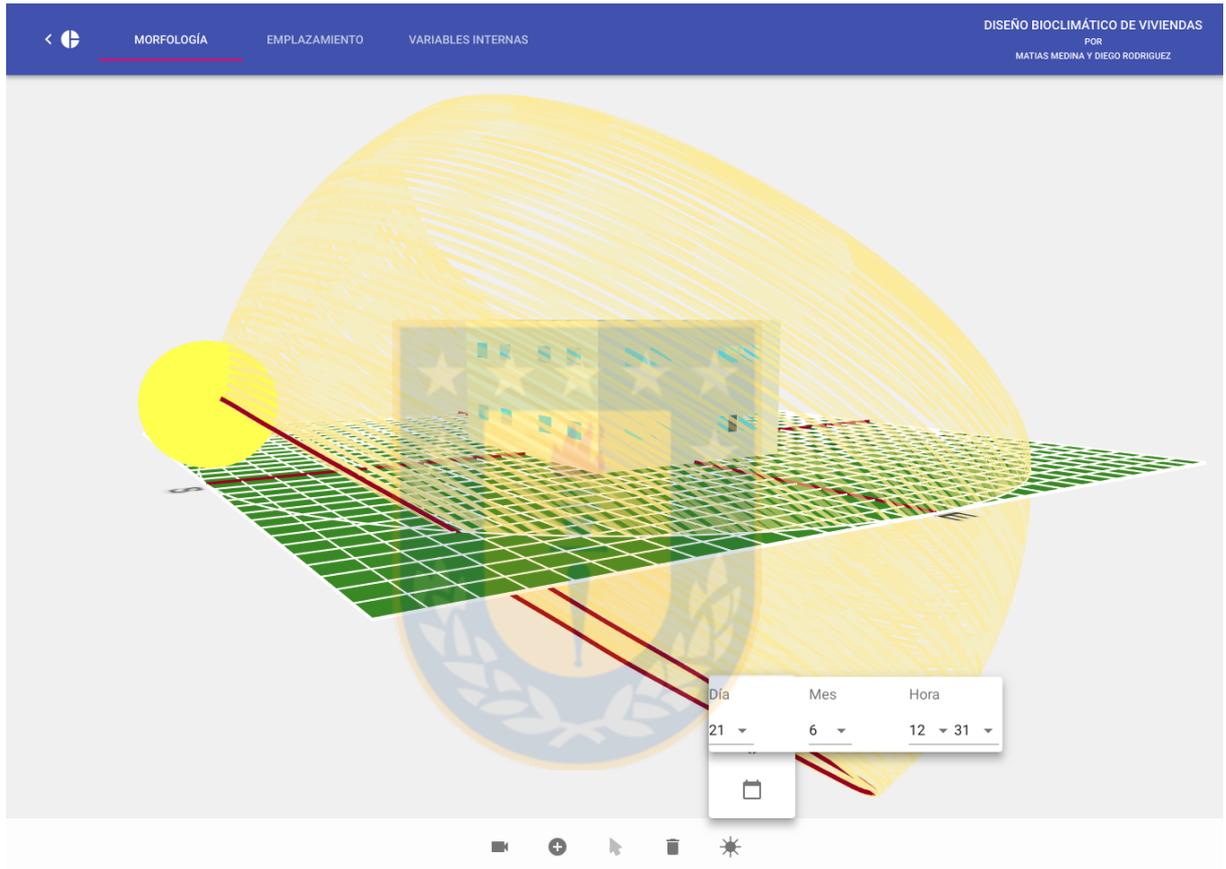


Figura 5.12: Cambio de fecha y hora que muestra el camino solar.

## Capítulo 6

### Testeo de usuario

Una manera de validar los requerimientos desarrollados es mediante la retroalimentación por parte del cliente, sin embargo existen (y son necesarias) otras formas de validación y verificación. En particular, el testeo de usuario apunta a obtener la valoración y opiniones por parte de el público objetivo del software, lo cual permite mejorar funcionalidades, identificar bugs, adaptar la interfaz gráfica e incorporar nuevos requerimientos desde un punto de vista más cercano al usuario final. Con este objetivo, se realizó un test a un total de 13 usuarios, los cuales forman parte de las carreras de ingeniería civil informática e ingeniería civil de la Universidad de Concepción. Esto permite que las opiniones vertidas en el test tengan una mayor variabilidad debido al nivel de experticia de los usuarios en diferentes áreas (computación y construcción en este caso), siendo un grupo de mayor conocimiento técnico en los temas relacionados con el objetivo mismo del software mientras que el otro grupo tiene mayor conocimiento de aspectos subyacentes en el desarrollo de éste.

El test realizado se basó en los cuestionarios de usabilidad de IBM [17], donde el usuario evalúa una serie de tareas realizables dentro de la aplicación (lista completa de tareas adjunta en el anexo), de acuerdo a distintos aspectos:

- En general, estoy satisfecho con la facilidad de completar esta tarea.
- En general, estoy satisfecho con la cantidad de tiempo que tomó realizar esta tarea.
- Estoy satisfecho con la interfaz gráfica que permite realizar esta tarea.

Para cada una de las aseveraciones anteriores, se asigna una nota de 1 a 7 que representa si el usuario esta de acuerdo (nota 7) o en desacuerdo (nota 1) con la sentencia.

Adicionalmente cada respuesta incluía la opción de escribir los comentarios que el usuario deseara. Luego, una vez que eran realizadas todas las tareas, se preguntó acerca de la apreciación general del software, mediante las siguientes aseveraciones:

- Fui capaz de completar eficientemente las tareas y escenarios usando el sistema.

- Me sentí cómodo utilizando el sistema.
- Fue fácil aprender a usar el sistema.
- La interfaz de este sistema es agradable.
- El sistema tiene todas las funcionalidades que esperaba que tuviera.
- En general estoy satisfecho con el sistema.

Una vez más, se daba la opción de escribir comentarios a cada sentencia y finalmente se consultó acerca de nuevas funcionalidades que pudiesen ser incorporadas al software.

### 6.1. Resultados

En primer lugar cabe destacar que la actividad se realizó en dos sesiones. La primera con estudiantes de informática que duró 40 minutos, habiendo transcurrido 28 minutos cuando el primer usuario terminó todo el test y la segunda con alumnos de civil, que duró aproximadamente 1 hora y 10 minutos, habiendo transcurrido 50 minutos cuando el primer usuario terminó el test.

Las tareas más relacionadas con las funcionalidades realizadas en este trabajo son:

1. Cambiar entre la vista de morfología, emplazamiento, variables internas y la visualización de resultados
2. Definir localidad con ciudad de preferencia que no sea Concepción
3. Crear dos obstrucciones alrededor de la vivienda. La primera al Norte con longitud de Oeste a Este a no menos de 10 metros de la vivienda. La segunda al Oeste con longitud de sur a Norte a no menos de 15 metros de la vivienda. Luego seleccionarlas y modificar su altura a elección.
4. Agregar dos ventanas, en el muro norte y oeste respectivamente. Visualizar cambios de balance energético y de la vista de emplazamiento (color de obstrucciones).
5. Modificar parámetros de ventana. Para una ventana a escoger, seleccionar tipo de vidrio y material del marco, luego modificar dimensiones
6. Modificar orientación de la vivienda. Rotar las coordenadas en 180°

7. Cambiar fecha y hora para ver posición del sol en distintos días del año. Seleccionar el solsticio de invierno (21 de Junio).
8. Mejorar (o empeorar) la calificación energética modificando el número de personas, temperatura de confort, horas de iluminación y renovaciones de aire diarias.

En la Figura 6.1 se muestra el puntaje promedio de cada tarea.

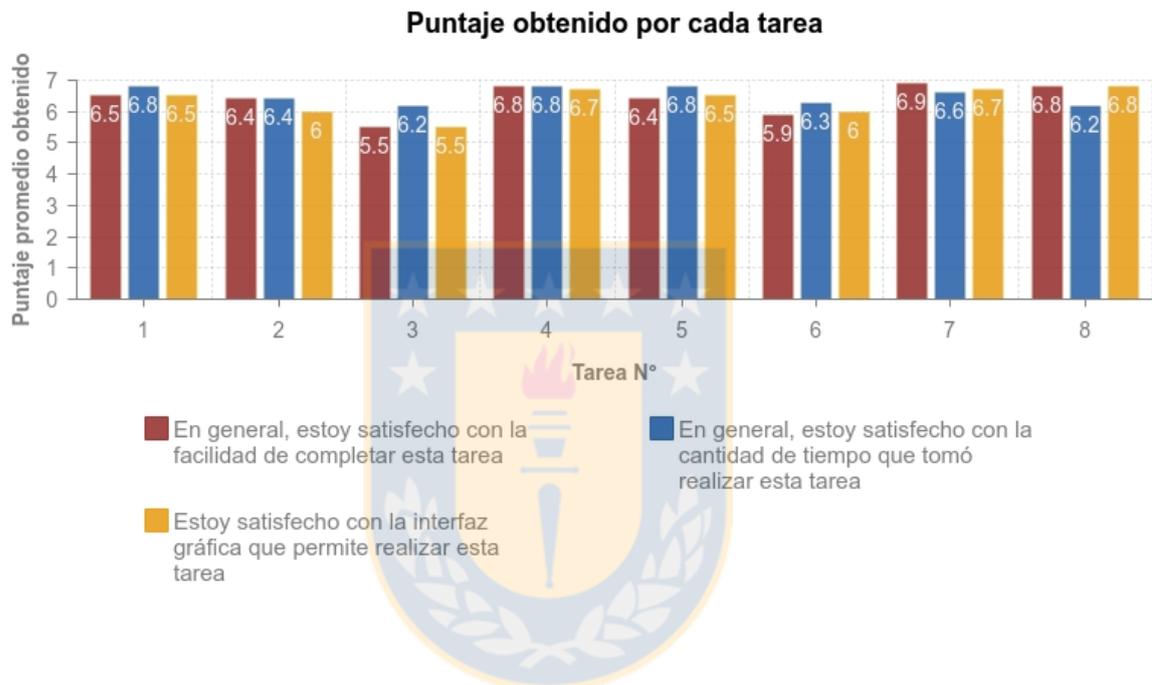


Figura 6.1: Puntaje promedio obtenido en cada tarea

En el gráfico se puede ver que en el aspecto relacionado con la facilidad de completar la tarea, se obtuvo un promedio general de 6.5, con el mayor puntaje obtenido en la tarea número 7 y el peor puntaje en la tarea número 3. El principal problema evidenciado al realizar esta tarea es que la interfaz no entrega ninguna información sobre cómo se dibuja la obstrucción, además, un usuario que no conoce la representación de obstrucciones que se utilizó, podría llegar a tener problemas adaptándose a ella.

Por otro lado, en el aspecto relacionado con el tiempo que toma realizar las tareas, se obtuvo un promedio general de 6.5, con el mayor puntaje obtenido en las tareas número 1 y 5,

mientras que el peor puntaje fue en las tareas número 3 y 8, debido a los problemas de optimización que sufren algunas operaciones. En particular al cambiar la temperatura de confort se deben realizar todos los cálculos del balance energético nuevamente, lo que produce que el sistema quede inoperable por un corto período.

Finalmente en el aspecto que evalúa la interfaz gráfica de cada tarea, el promedio general fue de 6.4, con el mejor puntaje obtenido en la número 8 y el peor en la número 3 debido a la poca claridad de la interfaz para explicar cómo funciona.

En cuanto a la apreciación general, se obtuvo como mejores aspectos evaluados por los usuarios a la comodidad y facilidad al usar el sistema, lo que indica que a pesar que la interfaz fue un punto débil en varias tareas a realizar, aún así es fácil comprender el funcionamiento del sistema. Por otro lado, la falta de funcionalidades esperadas es el punto más criticado por los usuarios obteniendo un 5.8 en promedio. Algunas de las funcionalidades esperadas por los usuarios son:

- 
- Deshacer y rehacer acciones
  - Guardar estado del proyecto
  - Modificar la posición de los elementos creados (ventanas, paredes, etc)
  - Agregar elementos en inclinación
  - Seleccionar más de un elemento a la vez

En la Figura 6.2 se muestra un gráfico con los puntajes promedio obtenidos en la fase de apreciación general.

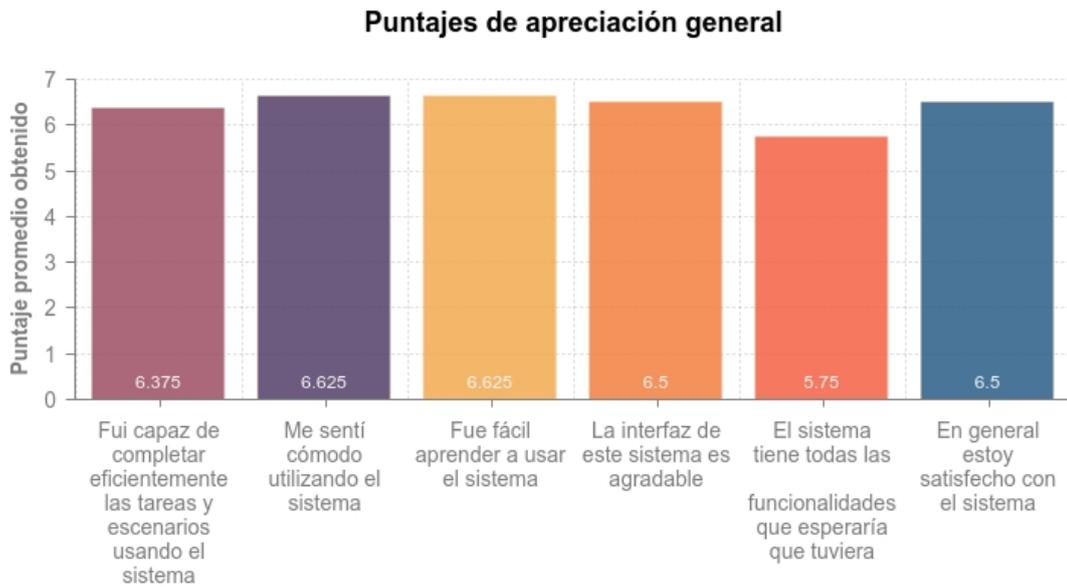


Figura 6.2: Puntajes obtenidos de apreciación general

En general los usuarios evaluaron de buena forma la aplicación, sin embargo las críticas y comentarios realizados se resumen en:

- Poca claridad en la interfaz al momento de explicar funcionalidades
- Poca claridad en la interfaz al momento de buscar funcionalidades
- Algunas operaciones toman mucho tiempo de cómputo y la interfaz no indica que se están realizando cálculos, lo cual confunde
- Preferencias de interfaz como por ejemplo cambiar el botón con que se gira la cámara, cambiar la disposición horizontal de los materiales de las capas, agregar buscador de materiales, etc

## Capítulo 7

### Conclusiones

En esta memoria de título se desarrolló un software que busca apoyar al diseño bioclimático de viviendas, entendiendo como éste al diseño que comprende variables del entorno ya sean climáticas o de emplazamiento para mejorar la eficiencia energética.

El trabajo fue realizado siguiendo un desarrollo incremental basado en hitos y prototipos, el cual tenía como contraparte a profesionales de ingeniería civil de la facultad de ingeniería de la Universidad de Concepción.

De esta manera, se cumplieron tanto el objetivo general como los específicos, obteniendo como producto final una aplicación web cuya interfaz posee motores gráficos 3D y 2D para el diseño de la morfología y entorno de la vivienda respectivamente. La aplicación considera variables climáticas de todo el territorio Chileno, disposición de materiales en los distintos componentes de la edificación, variables internas como temperatura de confort y número de personas y por último elementos remotos de obstrucción al rededor de la vivienda para calcular la calificación energética en la etapa de pre-diseño.

El producto entregado en este trabajo se considera como un prototipo o primer acercamiento a la herramienta de diseño bioclimático, el cual provee algunos beneficios y funcionalidades no encontradas hasta la fecha en herramientas similares, como por ejemplo la posibilidad de obtener en tiempo real el cálculo a medida que se modifican las variables, visualizando el diseño en un entorno 3D que representa la realidad haciéndolo más accesible para el usuario y la capacidad de contar con información climática Chilena la cual es bastante escasa, hasta el punto de ser inexistente en otras alternativas. Sin embargo el resultado está lejos de ser óptimo y posee varios defectos y elementos que faltan, que por razones de tiempo, dificultad o por ser de baja prioridad se dejaron de lado. Particularmente el mayor problema que provocó el abandono de requerimientos fue la poca claridad que existió al momento de definirlos, en conjunto con la mala priorización por parte del equipo de desarrollo. Otros requerimientos sin embargo, además de carecer de definición y/o prioridad por parte del cliente, aumentaban la dificultad del proyecto

de tal manera que sería necesario aún más tiempo para su finalización.

A futuro, problemas como éstos podrían mejorarse con una mejor organización del equipo de trabajo, planificando en mayor detalle los tiempos que tomaría cada tarea, la dificultad de éstas y realizando un diseño más profundo y detallado de los elementos que se van a desarrollar.

Si bien hay un sinnúmero de funcionalidades que se pueden agregar, incluyendo algunos requerimientos que fueron descartados a lo largo del tiempo de desarrollo, se logran identificar las siguientes funcionalidades que podrían ser integradas en un trabajo futuro a corto y largo plazo:

- Cálculo del FAV (factor de accesibilidad de la ventana): este factor involucra las sombras producidas por la misma edificación, es decir, aquellas provocadas por aleros, muros (de la casa) y lamas en las ventanas, pero no fue realizado debido a que involucraba una mayor dificultad en el entorno 3D de morfología y el cálculo de aportes solares, haciendo que el desarrollo de otros requerimientos se viera afectado por completar éste.
- Optimización: El programa sufre de tener alto impacto en el hardware, con algunos cálculos llegando a los 2 segundos aproximadamente y creciendo según el número de elementos (muros, ventanas, obstrucciones, etc) que posea el diseño. Esto baja de gran manera la sensación de satisfacción por parte del usuario.

La razón por la cual el cálculo de algunos factores es lento, se debe a que en primera instancia se desconocía que el balance energético debía realizarse mensualmente, lo que significó cambiar de manera urgente el cálculo del aporte solar para que considerara la cantidad de meses y no se tomaron en cuenta aspectos de optimización al realizar el cambio.

Algunas soluciones posibles a este problema son, realizar cálculos de manera asíncrona, ejecutar cálculos en el servidor y no en el cliente y mejorar algunos algoritmos utilizados. Específicamente el cálculo de Rb podría reducirse si se lleva la cuenta de aquellos elementos agregados recientemente a la morfología y realizar el cálculo considerando sólo estos elementos.

- Guardar proyectos creados por usuarios: La incorporación de usuarios es bastante fácil de lograr, pero se priorizó el desarrollo de las funcionalidades del cálculo del balance. Además

el código está hecho de manera que casi todas las variables están almacenadas en objetos de THREE JS los cuales son exportables a diferentes formatos, como JSON. De esta forma se puede guardar el estado actual de una determinada configuración hecha por el usuario y almacenado en la base de datos, para posteriormente leerlo y reconstruir en el motor gráfico a partir de esos datos.

- Deshacer y rehacer acciones: Similar al punto anterior, se puede guardar constantemente el estado actual de los objetos en un stack y poder deshacer acciones volviendo a estados anteriores.



## Bibliografía

- [1] Luz Caballero. An introduction to webgl.
- [2] Ricardo Cabello. Threejs documentation.
- [3] Julian Shapiro / Jesse Chase / Jason Chen. Libscore.
- [4] Gobierno de Chile. Manual de Procedimiento para la Calificación Energética de Viviendas en Chile, Noviembre 2013.
- [5] Desarrolladores de E-Quest. E-quest the quick energy simulation tool.
- [6] Desarrolladores de EnergyPlus. Energyplus documentation.
- [7] Departamento de energía de EEUU. Home energy saver.
- [8] Desarrolladores de Heed. Heed home energy efficient design.
- [9] Desarrolladores de Laravel. Laravel documentation.
- [10] Desarrolladores de OpenStudio. Openstudio documentation.
- [11] Desarrolladores de Synergy. Synergy product.
- [12] Facebook. React documentation.
- [13] Universidad de Talca Facultad de Ingeniería. Kipus productos.
- [14] Pedro J Hernandez. La trayectoria solar.
- [15] William A. Beckman John A. Duffie. Solar Engineering and Thermal Processes. Wiley, 2013.
- [16] Lawrence Berkeley National Lab. Building design advisor.
- [17] James Lewis and James R. Ibm computer usability satisfaction questionnaires: Psychometric evaluation and instructions for use. International Journal of Human-Computer Interaction, 1993.
- [18] Luis Merino. Planteamiento del proyecto herramienta computacional para el diseño bioclimático de viviendas, Diciembre 2017.
- [19] Shahroze Nawaz. Best back-end frameworks to build your next web application.
- [20] Massachusetts Institute of Technology. Mit design advisor.
- [21] Jacek Schae. A real-world comparison of front-end frameworks with benchmarks.

## Capítulo 8

### Anexo

#### 8.1. Lista de tareas del testeo de usuario

- Tareas generales

- 1 Cambiar entre la vista de morfología, emplazamiento, variables internas y la visualización de resultados.

- Tareas de emplazamiento

- 2 Definir localidad con ciudad de preferencia que no sea Concepción.
- 3 Crear dos obstrucciones alrededor de la vivienda. La primera al Norte con longitud de Oeste a Este a no menos de 10 metros de la vivienda. La segunda al Oeste con longitud de Sur a Norte a no menos de 15 metros de la vivienda. Luego seleccionarlas y modificar su altura a elección.

- Tareas de morfología

- 4 Crear habitación vacía o bloque de paredes y visualizar resultados de balance energético.
- 5 Agregar 2 ventanas, en el muro norte y oeste respectivamente. Visualizar cambios de balance energético y de la vista de emplazamiento (color de obstrucciones).
- 6 Agregar puerta y techo a vivienda.
- 7 Modificar parámetros de muro. Para un muro a escoger seleccionar un “sandwich” que considere una capa de hormigón, lana mineral y yeso (en ese orden), luego modificar dimensiones.
- 8 Modificar parámetros de ventana. Para una ventana a escoger, seleccionar tipo de vidrio y material del marco, luego modificar dimensiones.
- 9 Eliminar ventanas, puertas y luego el bloque de paredes (para borrar la vivienda completa).
- 10 Crear una casa predefinida a elección.

11 Modificar orientación de la vivienda. Rotar las coordenadas 180°.

12 Cambiar fecha y hora para ver posición del sol en distintos días del año. Seleccionar el solsticio de invierno (21 de junio).

■ Tareas de variables internas

13 Mejorar (o empeorar) la calificación energética modificando el número de personas, temperatura de confort, horas de iluminación y renovaciones de aire diarias.

8.2. Diagramas de la base de datos de ventanas y marcos

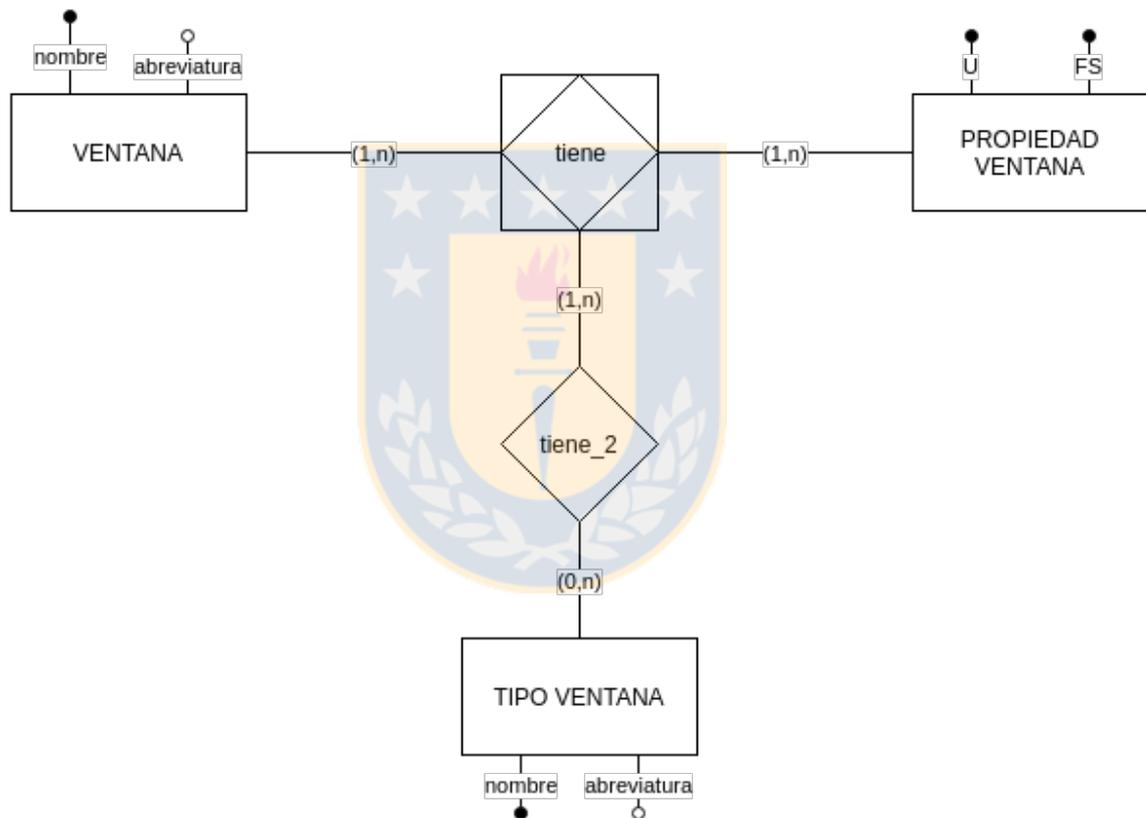


Figura 8.1: Modelo Entidad Relación que representa cómo se almacenan los tipos de ventanas en la base de datos.

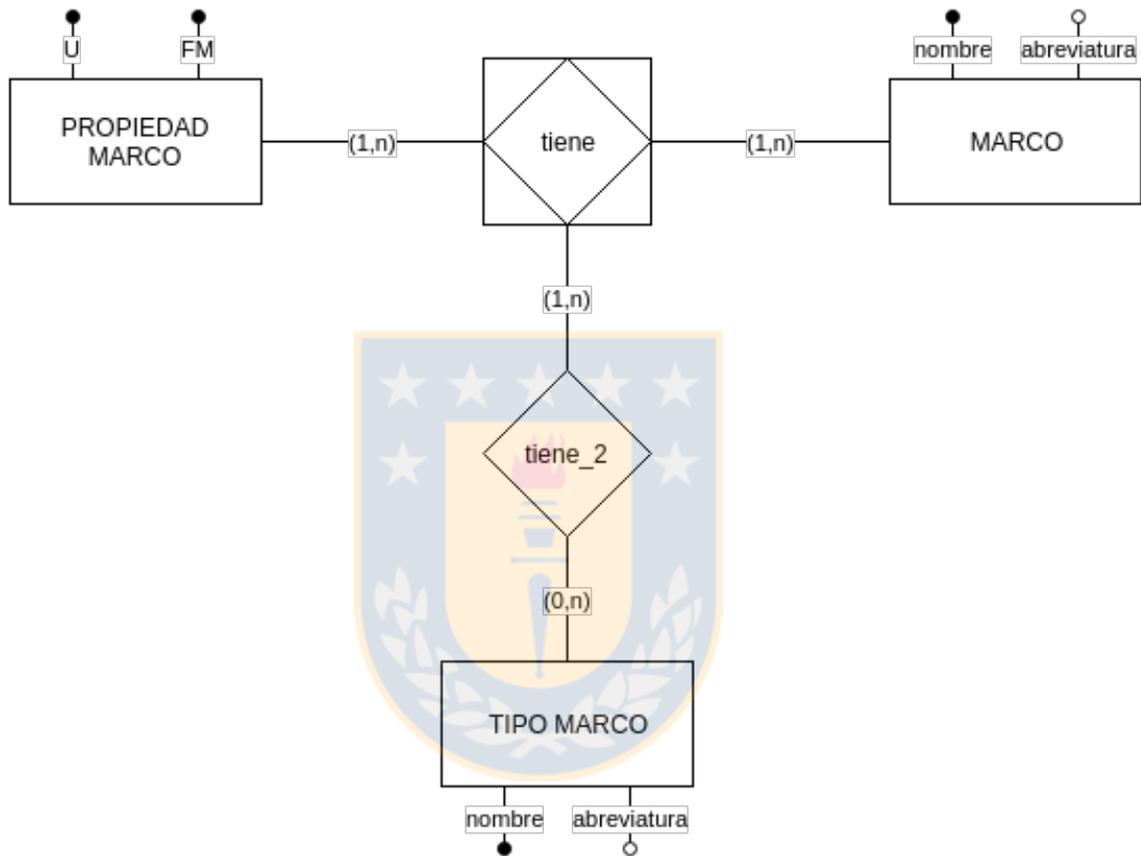


Figura 8.2: Modelo Entidad Relación que representa cómo se almacenan los tipos de marcos de ventanas en la base de datos.